

Dr. H. Sommer

www.libtool.com.cn

Der Dampf in der Zuckerfabrik.

Magdeburg
Verlag von Albert Salfer

www.libtool.com.cn

GIFT OF
Ernst E. Behr.



EX LIBRIS

AGRIC.
LIBRARY

www.libtool.com.cn

Hand of
GAMMEL

Der

Dampf in der Zuckersabrik.

Unter Mitwirkung von Fachmännern

herausgegeben

von

Dr. K. Stammer

(Braunschweig).

1891.

Verlag von Albert Rathke, Magdeburg.

www.libtool.com.cn

GIFT OF
Ernst E. Behr.



EX LIBRIS

AGRIC.
LIBRARY

www.libtool.com.cn

GIFT OF
Ernst E. Behr.



EX LIBRIS

AGRIC.
LIBRARY

0. —

2000年11月 209

bdc

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

UNIVERSITY OF
CAMBRIDGE

Der

Dampf in der Zuckerfabrik.

Unter Mitwirkung von Fachmännern

herausgegeben

von

Dr. K. Stammer

(Braunschweig).

1891.

Verlag von Albert Kathke, Magdeburg.

www.libtool.com.cn

TO THE
LIBRARY

Gift of Ernest E. Behr

Vorwort.

Das vorliegende Buch ist für alle Diejenigen bestimmt, welche mit der Zuckersfabrikation in Beziehung stehen, namentlich für Techniker und Betriebsleiter der Fabriken, für welche es bisher an einer praktischen, vollständigen, aber doch kurzgefaßten Unterweisung über die Entwicklung und die Benutzung des Dampfes gebrach.

Man wird mit mir der Ansicht sein, daß der Gegenstand ein so viel umfassender ist, daß die einzelnen Theile je ein besonderes Werk bedingen würden, wenn die Behandlung eine ausführliche und erschöpfende sein sollte. Unter den gegebenen Umständen glaubte ich aber einer solchen mich enthalten, und vielmehr Auswahl und Beschränkung anstreben zu sollen, um Handlichkeit und Uebersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen, und das Werk für Jeden, den es angeht, brauchbar zu machen.

Die Ausführung dieses Planes war um so schwieriger, als jeder meiner Mitarbeiter, von denen ich die Herren Dr. Joh. Vock, Prof. Brauer, Ingenieure W. Greiner und H. Felinek nenne, eine eigenartige Vorstellung über die in den einzelnen Theilen zu treffende Auswahl besaß und besitzen mußte, welcher ich nicht entgegen sein konnte. Herr Prof. Brauer übernahm den Abschnitt über Dampfmaschinen erst als der Druck schon weit vorgeschritten war. So erklärt und rechtfertigt sich die natürliche Verschiedenartigkeit der Behandlung im Einzelnen. Dies dürfte aber durch den großen Vorzug ausgeglichen werden, daß die Mitarbeiter an meinem Buche berufene Fachmänner waren. Auch wird es wohl, der voraussichtlich ungleichen Beurtheilung des Buches gegenüber gestattet sein, darauf hinzuweisen, daß es bei einer so verschiedenartigen Auffassung dieser Arbeit unmöglich ist, allen Ansprüchen an dieselbe zu genügen und allen Wünschen betreffs der Auswahl, wie der Behandlungsweise gerecht zu werden. Ich hoffe daher, das trotz etwaiger Ausstellungen, das Buch seinen Zweck, den mit der Zuckersfabrikation in Beziehung Stehenden einigen Nutzen zu gewähren, erfüllen wird.

Braunschweig, im März 1891.

Dr. Stammer.

601677

www.libtool.com.cn

Inhalts-Verzeichniß.

Erstes Buch.

Erste Abtheilung. Die Verbrennung.

	Seite.
I. Wärme und Dampf	1
II. Die Brennstoffe	3
1. Allgemeines. Begriff der Verbrennung. Kalorien. Wärme-Einheiten	3
2. Steinkohle, Braunkohle u. s. w.	4
3. Luftzuführung für die Verbrennung	12
4. Erzeugte Gase bei der Verbrennung	14
5. Gute und schlechte Verbrennung	15
6. Ausnutzung der Verbrennungswärme. Heizeffekt	15
III. Untersuchung der Rauchgase	18
a) Der Orsat'sche Apparat	18
b) Die Bunte'sche Bürette	22
IV. Ueber Heizung mit flüssigen Brennstoffen	25

Zweite Abtheilung. Der Dampf.

V. Die Eigenschaft des Dampfes	28
Schmelzpunkt. Verdampfung. Latente Wärme. Wärmegehalt des Dampfes. Eigen- und Flüssigkeitswärme. Spannung.	
VI. Neuere Annahme für den Atmosphärendruck	34
Tabellen:	
1. Dampfverhältnisse	34
2. Siedepunkt bei verschiedenen Spannungen	35
3. Spannung des Wasserdampfes	36
4. 5. Wasserdämpfe	38

www.libtool.com **Zweites Buch.**

Die Erzeugung des Dampfes.

	Seite.
I. Verschiedene Systeme der Feuerungen	43
Allgemeines.	
Bedingungen der vollkommenen Verbrennung	43
Verschiedene Arten der Feuerung	47
A. Direkte oder Kofstfeuerung	48
1. Der Feuerungsraum	49
Beschaffenheit, Kofst, Feuerbrücke.	
Die Vorfeuerung	54
Die Innenfeuerung	55
Die Unter- und Zwischenfeuerung	55
2. Der Kofst	57
Der Plankofst	57
Kofststabformen	67
Der Treppenkofst	78
3. Besondere Feuerungseinrichtungen	82
Ten-Brinl-Feuerung	84
Feuerung mit Wasserröhrenkofst	88
Cario-Feuerung	90
B. Gasfeuerung	93
Generatoren.	
II. Die Heizkanäle	96
Feuerzüge	97
Zugführung	100
Ruß	101
Flugasche	102
Temperatur der Heizgase	103
III. Die Zug-Erzeugung	106
Schornsteine	106
Berechnung der Schornstein-Abmessungen	110
Formel zur Berechnung der Schornsteinhöhe	111
Zugkraft der Schornsteine	115
Standfestigkeit der Schornsteine	116
Aschenfänger	122
Zugerzeugung durch künstliche Hilfsmittel	124
IV. Auswirkung der Feuerungsanlagen	127
I. Beispiel	131
II. Beispiel	137
III. Beispiel	143
V. Uebersicht durch Versuche gewonnener Heizergebnißse	150
I.	150
II. Bericht von Schwager	151
1. Zweiflammrohrkessel mit Innenfeuerung. Vergleichende Kohlenuntersuchungen	151

	Seite.
2. Zuckerrabrik mit 10 Stück Zweiflammrohrkesseln	153
3. Steinkohlen-Innenfeuerung und Braunkohlen-Vorfeuerung	154
4. Treppenrost-Vorfeuerung für Braunkohlen	156
VI. Die Dampfkessel und ihre Aufstellung	159
Allgemeines	159
Anforderungen, die an einen guten Dampfkessel gestellt werden müssen.	
A. Wasser-, Dampf- und Speiseraum	162
B. Heizfläche der Kessel	165
C. Material für Dampfkessel	168
D. Wandstärke der Kessel	171
E. Grundbedingungen und Formeln für die Berechnung der Blechstärken neuer Kessel	173
Allgemeines	173
Ebene Flächen, Kessel-Endplatten u. s. w.	174
Verankerungen	174
Dampfkesselmäntel mit innerem Druck	175
Flammrohre mit äußerem Druck	175
VII. Art und Gestalt der Kessel	176
1. Der einfache Zylinder- oder Walzenkessel	177
2. Der zusammengesetzte Walzenkessel	179
a) Der Bouilleur- oder Siederkessel	179
α) Der Doppel- oder Einsiederkessel	179
β) Der Zweisiederkessel	182
γ) Der Dreisiederkessel	182
b) Vorwärmerkessel	183
3. Flammrohrkessel	188
a) Der Einflammrohrkessel	189
b) Der Zweiflammrohrkessel	192
c) Der Dreiflammrohrkessel	195
d) Der Wellrohr- oder Seitrohrkessel	196
e) Vor- und Nachteile der Flammrohrkessel	198
4. Röhrenkessel	206
a) Heizröhrenkessel	206
b) Wasserröhrenkessel	211
α) Der Belleville-Kessel	211
β) Wasserröhrenkessel von Root	213
γ) Wasserröhrenkessel von Steinmüller	215
δ) Andere Wasserröhrenkessel mit zwei Wasserkammern	218
ε) Wasserröhrenkessel mit einer Wasserkammer	220
ζ) Kessel von Hohlfeld	223
η) Allgemeine Bemerkungen über die sogenannten nicht explodirenden Sicherheits-Dampfkessel	224
VIII. Die Dampfkessel-Ausrüstung	227
Speisung und Vorwärmung	227
Dampfentnahme und Entwässerung	229

	Seite.
Beobachtung von Druck und Wasserstand	231
Sicherung gegen Explosionsgefahr	232
Schwarzkopfscher Apparat.	
Abblasen der Kessel	236
Mängel der Dampfkessel-Ausrüstung	238
IX. Ueber die Wirkung der Wärmeschutzmassen	239
Versuchsergebnisse	241
X. Verhalten des Kesselwärters im Betriebe	256
XI. Ueber die häufiger vorkommenden Korrosionen in Dampf-	
 kesseln	262
a) Korrosionen durch im Wasser gelöste Gase	263
b) Korrosionen durch unlösliche Stoffe	264
c) Korrosionen durch lösliche Stoffe	264
XII. Das Speisewasser	267
1. Messung	267
2. Wasserreinigung. Kesselstein	271
1. Verfahren von Vohlig	274
2. Verfahren von Stingl-Berenger	276
3. Verfahren von de Haen	282
4. Verfahren von Dehne	285
5. Allgemeine Bemerkungen	289
3. Vorwärmung	290

Drittes Buch.

Die Anwendung des Dampfes.

Erste Abtheilung. Die Benutzung als bewegende Kraft.

I. Einleitende Uebersicht	297
II. Die Vorgänge im Dampfzylinder, der Indikator	298
III. Der Dampfverbrauch	303
IV. Wahl der Dampfspannung und des Füllgrades	311
V. Umwandlung von Wärme in Arbeit	313
VI. Verbundmaschinen	315
VII. Werthlosigkeit der Kondensation für Zuckersabrik-Dampf-	
 maschinen	319
VIII. Gesamtanordnung der Dampfmaschine	320
IX. Dampfzylinder und Kolben	321
X. Die Steuerung	323
XI. Der Regulator	337
XII. Das Schwungrad	341
XIII. Das Getriebe der Dampfmaschine	343

Zweite Abtheilung. Benutzung zum Verdampfen.

www.libtool.com.cn

	Seite.
I. Verdampfungsarten	1
1. Verdampfung in freier Luft	1
2. Verdampfung durch freies Feuer	2
3. Anwendung des Dampfes als Heizmittel	2
4. Erwärmung und Verdampfung durch Dampf einströmung	3
5. Erwärmung und Verdampfung durch Dampf mittelst einer Heizvorrichtung	4
6. Wirkungsweise des Dampfes in einem Apparate, der zur Erwärmung oder Verdampfung einer Flüssigkeit dient	7
7. Berechnung der Größe der Heizfläche und der nöthigen Heizdampfmenge bei der Erwärmung in offenen Pfannen	9
Berechnung der Heizfläche von Anwärms-Apparaten	10
Berechnung der Heizfläche und Dampfmenge bei der Verdampfung in offenen Pfannen, deren entwickelte Dämpfe in die freie Atmosphäre austreten	11
8. Verdampfung in offenen Pfannen	18
9. Geschlossene Pfannen	15
Allgemeines über Anwendung der Luftverdünnung, mehrfache Dampfbenutzung, Mehrkörper.	
Neuere Konstruktionen an Verdampfapparaten	22
Der ältere Robert'sche Apparat.	
Liegender Verdampfapparat.	
Stehender Robertkörper.	
Schlangenapparat.	
Apparat von Simirento.	
Apparat mit eingehängten Röhren (Galle'sche Maschinenfabrik.)	
Apparat von Wellner-Zelinel.	
Stufenapparat.	
Innerverdampfapparat, Patent Müller.	
Naryan-Apparat.	
II. Berechnung der Heizfläche und des nöthigen Heizdampfes bei Verdampfung mit Luftleere	39
10. Verlorene Wärme bei der Verdampfung in offenen Pfannen, sowie bei der einfachen Verdampfung in geschlossenen Gefäßen	40
11. Mehrkörper-Verdampfapparate	41
III. Verschiedene Einrichtungen von Zwei- und Mehrkörpern	44
12. Aufstellungen	44
13. Berechnung der Heizdampfmenge und des entwickelten Dampfes im Mehrkörperapparate	58
14. Einschaltung von Vorwärmern in die Brändenleitung zum Kondensator	78
15. Anwärmungen und Heizungen mit Dampf der verschiedenen Körper eines Verdampfapparates	77

- Beobachtung von Druck und Wasser.
Sicherung gegen Explosionsgefahr.
Schwarztopfscher Apparat.
Abblasen der Kessel
Mängel der Dampfkessel-Ausrüstung
- IX.** Ueber die Wirkung der Wärmeschutzma-
ßnahmen
Versuchsergebnisse
- X.** Verhalten des Kesselwärters im Betrieb
- XI.** Ueber die häufiger vorkommenden Korrosionen
Korrosionen durch im Wasser gelöste
Korrosionen durch unlösliche Stoffe
Korrosionen durch lösliche Stoffe
- XII.** Das Speisewasser
1. Messung
2. Wasserreinigung. Kesselstein
1. Verfahren von Böhlig
2. Verfahren von Stingl-Verenger
3. Verfahren von de Haen
4. Verfahren von Dehne
5. Allgemeine Bemerkungen
3. Vorwärmung

Drittes Buch.

Die Anwendung des Dampfs

Erste Abtheilung. Die Benutzung als Kraft.

- I.** Einleitende Uebersicht
II. Die Vorgänge im Dampfzylinder, der Indikat
III. Der Dampfverbrauch
IV. Wahl der Dampfspannung und des Füllgrad
V. Umwandlung von Wärme in Arbeit
VI. Verbundmaschinen
VII. Werthlosigkeit der Kondensation für Zuckermaschinen
maschinen
VIII. Gesamtanordnung der Dampfmaschine
IX. Dampfzylinder und Kolben
X. Die Steuerung
XI. Der Regulator
XII. Das Schwungrad
XIII. Das Getriebe der Dampfmaschine

	Seite.
IV. Hilfstheile der Verdampfapparate	80
16. Ableitung der Kondensations- und Brüdenwässer	80
Hauptautomaten	80
Der Rückdampfhammer	81
Der Brüdenwasserfänger	82
Brüdenpumpe	83
Das Dampfventil	83
Das Ventil für Kesseldampf	84
Luftventile	87
Saftfänger	87
Das Vakuummeter und Manometer	89
Das Thermometer	90
Saftinzugsventil	91
Die Verbindungsröhre für die Kochbrüden zwischen den einzelnen Verdampfapparaten	91
Die Kondensation	93
Die Luftpumpe	115
V. Das Vakuum	117
Allgemeines	117
17. Einflüsse auf das Verlochen im Vakuum	118
18. Der Wärme-Aufwand beim Kochen im Vakuum	124
19. Der Vakuum-Heizdampf	126
20. Dampfverbrauch bei verschiedenen Zusammenstellungen oder Systemen	130
21. Verschiedene Einrichtungen von Vakuum-Apparaten	139
Hallström, Wellner-Jelinek, Bickerich, Heckmann, Greiner, Vega, Rafalowski u. A., Sirupvakuum.	
VI. Zusammenstellungen von Verdampfsystemen	159

Viertes Buch.

Gesamt - Dampfverbrauch.

1. Beispiel (Jelinek)	165
Dampfverbrauch einer Zuckerfabrik, welche in der Stunde 100 Mtr.=Ctr. = 10000 k Rüben mittelst Diffusion auf Rohzucker verarbeitet	165
1. Mehrfache Abdampfung ohne Verwerthung der zur Kondensation gehenden Brüden der letzten Verdampfkörper	175
2. Mehrfache Abdampfung mit Verwerthung der Wärme der Brüden aus den letzten Körpern des Verdampf- apparates durch Anwärmung des Diffusionswassers und der Diffusionsläfte, welche zur Saturation gehen, mittelst Gegenstromwärmkörpern	177

www.libtool.com.cn

	Seite.
2. Beispiel (Pauly)	179
Berechnung der Dampfmenge für die Zuckfabrik Mühl- berg a. d. Elbe	179
3. Beispiel (Weinlig)	182 184 185
4. Beispiel (Ch. Becker)	183
5. Beispiel. Vorschläge zur Dampfersparniß durch ver- schiedene Einrichtungen der Verdampfstation (nach Jelinek)	187
Erste Lösung	195
Graphische Darstellung	196
Zweite Lösung	196
Graphische Darstellung	197



Verbesserungen.

- Seite 127 fehlt in der Ueberschrift die Ziffer IV.
 „ 301 und ff. ist bei der Zahl 10000 das Komma zu streichen.
 „ 302, §. 7 v. u., lies Dampf statt Raum.
 „ 308 ist bei der Zahl 36491 das Komma zu streichen.
 „ 308, §. 6 v. u., lies der Expansion, theils.
 „ 310, §. 3 v. u., lies N_1 statt L_1 .
 „ 311, §. 11 v. u., lies $\left(A - \frac{P_2}{P_1}\right)$
 „ 311, §. 13 v. u., lies qcm statt kg.
 „ 311, §. 15 v. u., lies g_1 statt g_2 .
 „ 314, lies kgm statt kg.
 „ 320, in der Formel §. 8 v. u., lies 125 statt 120.
 „ 33, drittes Buch §. 6 v. u., lies Vertikal statt Vertikel.
 Auf der Ausschlagtafel 14 muß der Hinweis lauten: zu Seite 160.



Erstes Buch.

Erste Abtheilung.

Die Verbrennung.

I. Wärme und Dampf.

Die Wärmequelle für die Erzeugung des Dampfes bildet die Verbrennung der Brennstoffe.

Verbrennung nennt man eine solche chemische Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff, daß die (bei jeder chemischen Verbindung stattfindende) Wärmeentwicklung Lichterscheinung hervorruft.

Die Anwendung der Verbrennungswärme zur Erzeugung von Dampf geschieht unter Benutzung der Dampfkessel und verfolgt den Zweck, diese Erzeugung so wohlfeil wie möglich zu bewirken, d. h. also die beim Verbrennen möglichst vollkommen entwickelte Wärme möglichst vollkommen auszunutzen, oder mittelst derselben möglichst viel Dampf zu erzeugen. Dies geschieht durch zweckmäßig eingerichtete Feuerungen einer- und Dampfkessel andererseits.

Die in den Brennstoffen der Verbrennung unterworfenen Stoffe sind Kohlenstoff und Wasserstoff, hauptsächlich ersterer; der damit in Verbindung tretende Sauerstoff wird stets in atmosphärischer Luft zugeführt, von welcher er etwa $\frac{1}{5}$ ausmacht. Die übrigen $\frac{4}{5}$ bestehen aus Stickstoff und sind bei den chemischen Vorgängen der Verbrennung nicht theilhaftig.

Wenn reiner Kohlenstoff (im Wesentlichen Anthrazit, Holzkohle, Kohls) verbrennt, so entsteht bei hinreichender Menge des hinzutretenden Sauerstoffs Kohlenensäure, bei ungenügender Menge Kohlenoxid oder ein Gemisch von Beiden. Tritt Sauerstoff zu Kohlenoxid bei hinreichend hoher Temperatur, so verbrennt dasselbe zu Kohlenensäure. Die entwickelte Wärmemenge ist dann am größten, wenn nur Kohlenensäure das Endprodukt bildet.

Die meisten Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Holz s. u.) enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff (neben anderen, für den Zweck der Wärmeerzeugung unwesentlichen Bestandtheilen) und verbrennen nicht un-

mittheilbar, sondern: verändern sich unter dem Einfluß der schon vorher entwickelten Wärme theilweise in gasförmige Körper von sehr verschiedenartiger Zusammensetzung („Produkte der trockenen Destillation“), welche dann durch Zutritt der Luft verbrennen. Die hierbei sich zeigende Flamme ist ein Gemisch der glühenden Gase und das Produkt besteht, wenn die Verbrennung vollkommen ist, aus Kohlensäure und Wasserdampf, enthält, wenn sie nicht vollkommen ist, außerdem wesentlich Kohlenoxid, freien Kohlenstoff und in allen Fällen den aus der Luft übrig gebliebenen unveränderten Stickstoff.

Diese Produkte bilden die Rauchgase und werden durch den Schornstein entfernt.

Die in der Feuerung entwickelte Wärme wird dem zur Dampfbildung bestimmten Wasser durch Vermittelung der Wände des das Wasser enthaltenden Gefäßes (die Kesselwände, die Heizfläche) zugeführt.

Während des Uebertritts der Wärme in das Wasser steigt dessen Temperatur, bis diese bei dem normalen Luftdruck von 760 mm Quecksilber den Grad erreicht hat, welcher auf dem hunderttheiligen Thermometer mit 100° bezeichnet ist. Wenn dann weiterhin Wärme zugeführt wird, so verändert sich die Temperatur des Wassers dennoch nicht, sondern es wird diese Wärme zur Dampfbildung verbraucht, wie weiter unten genauer dargestellt werden soll.

Die in irgend einem Körper enthaltene Wärmemenge kann man nicht messen; man beurtheilt sie durch Vergleichung und nimmt hierzu diejenige Wärmemenge als Wärmeeinheit (W. E. oder Kalorie) an, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm (= 1 Liter) Wasser um 1° C. zu erwärmen. Bei der Besprechung der Brennstoffe wird der Begriff der Kalorien noch eingehender behandelt werden.

Der Siedepunkt der Flüssigkeiten bildet einen Theil ihrer Eigenthümlichkeit und hängt von ihrer chemischen Zusammensetzung und von dem Druck ab, unter welchem sie sich befinden. Man vergleicht alle Siedepunkte mit dem des Wassers (100° C.) bei einem Atmosphärendruck von 760 mm.

Der Siedepunkt des Wassers wird durch Beimischung von anderen Körpern verändert. Mischungen mit Alkohol kochen bei niedrigerer, Auflösungen von Salzen bei höherer Temperatur als reines Wasser. In letzterem Falle verdampft nur das Wasser.

Der bisher besprochene Dampf war der gewöhnliche oder gesättigte. Erhitzt man ein mit gesättigtem Dampfe gefülltes Gefäß bei unverändertem Druck noch weiter, so wird zunächst alles Wasser verdampft, welches etwa dem Dampfe beigemischt war, so daß derselbe ganz trocken wird, danach

wird der Dampf überhitzt, er nimmt eine Temperatur an, welche höher ist, als diejenige, welche gesättigtem Dampf bei gleichem Drucke zukommt.

Daraus folgt, daß gesättigter Dampf stets naß (oder wasserführend), überhitzter aber stets trocken ist, und daß nicht überhitzter trockener Dampf schwierig herzustellen ist und nur als Uebergangsform des gesättigten in den überhitzten Dampf zu denken ist.

Wird überhitzter Dampf genügend lange Zeit mit Wasser in Berührung gebracht, so geht er wieder in gesättigten über und man kann daher auch sagen, daß gesättigter Dampf solcher ist, welcher mit Wasser in Verbindung steht.

(Die Eigenschaften des gewöhnlichen gesättigten Dampfes siehe III.)

II. Die Brennstoffe.

1. Allgemeines.

Wie schon anfangs erwähnt, wird die zur Erzeugung des Dampfes nothwendige Wärmemenge ausschließlich durch Verbrennung erzeugt; man verwendet dazu nur stark kohlenstoffhaltige Stoffe. Die Oxidation erfolgt, wie auch schon oben gesagt, bei genügender Sauerstoff- resp. Luftzuführung zu Kohlensäure und Wasser und die Wärmezeugung ist dann die möglichst hohe, wenn nur diese Verbindungen entstehen, und ein Luftüberschuß nicht vorhanden ist. Die Wärmemenge wird in Kalorien angegeben. Was man darunter versteht, ist Seite 2 angegeben; man bezeichnet demnach z. B. mit 100 Kalorien diejenige Wärme, welche 1 k Wasser von 0° auf 100° C. erwärmt; es kann aber durch dieselbe Wärmemenge, auch 100 k Wasser, von z. B. 20° C. auf 21° C. erwärmt werden. Die durch die Verbrennung von Brennmaterialien erzeugte Wärme wird nun immer durch die Anzahl Kalorien ausgedrückt, welche durch die chemische Vereinigung von einem Kilogramm der vorwiegenden Bestandtheile der Heizmaterialien mit Sauerstoff erzeugt wird, und es ist die Summe der einzelnen Produkte die theoretische Verbrennungswärme, welche bei Werthberechnungen für die Heizmaterialien in Betracht zu ziehen ist. Durch zahlreiche Versuche sind nun die Anzahl Kalorien festgestellt worden, welche durch vollkommene Oxidation von 1 k Kohlenstoff zu Kohlensäure erzielt werden, und zwar ist die allgemein als gültig angenommene Zahl hierfür 8080 Kalorien d. h., durch Verbrennung von 1 k Kohlenstoff können 8080 k Wasser um 1° C. in der Temperatur erhöht werden; 1 k Wasserstoff giebt bei der Verbrennung zu Wasser sogar 34462 Kalorien. Diese Wärmemenge wird immer bei der Oxidation oder Verbrennung

erzeugt, ganz gleich, ob dieselbe rasch oder langsam vor sich geht; bei der Verbrennung zum Zweck der Heizung wird man aber bemüht sein, die vollkommene Verbrennung möglichst schnell zu bewerkstelligen, um die Summe der erzeugten Wärme in kurzer Zeit zur Wirkung zu bringen. Der theoretische Heizwerth der Brennstoffe ergibt sich aus ihrer chemischen Zusammensetzung.

2. Steinkohlen, Braunkohlen u. s. w.

Die wichtigsten Brennstoffe sind die Steinkohlen. Aschenarme haben 1,25 bis 1,35 spez. Gewicht; die kohlenstoffreichsten sind die dichtesten. Gewicht von 1 cbm in Stücken 700 bis 900 k. Vom praktischen Standpunkte aus kann man 5 Hauptarten unterscheiden. Die durchschnittliche elementare Zusammensetzung der Steinkohle ist: 75 bis 93 Kohlenstoff, 6 — 4 Wasserstoff, 19 — 3 Sauerstoff und Stickstoff. Nachstehende Uebersicht*) stellt die Ergebnisse von einer Anzahl betreffender Untersuchungen dar. (Siehe Seite 5, 6 und 7).

Böhmische Braunkohle enthält nach Marz 73,27 Kohlenstoff, 4,34 Wasserstoff, 1,57 Stickstoff, 11,25 Sauerstoff, 0,99 Schwefel, 6,10 Feuchtigkeit und 2,48 Asche.

Der Durchschnitt aus diesen Zahlen ergibt eine Zusammensetzung von:

Kohlenstoff	63
Wasserstoff	5
Sauerstoff und Stickstoff	32
	100

Sieht man vom Stickstoff ab (0 bis $1\frac{1}{2}\%$) und denkt sich allen Sauerstoff mit Wasserstoff verbunden, so bleibt ein Ueberschuß von 1% Wasserstoff.

Nach einer größeren, von Zincken mitgetheilten Anzahl von Analysen besteht die Braunkohle aus:

Kohlenstoff	50—77	durchschn. 63
Wasserstoff	3—5	" —
Sauerstoff	26—37	" 32
Stickstoff	0—2	" —

Während 1 bis 2% Stickstoff zu den regelmäßigen Bestandtheilen der Steinkohle gehören, so findet sich dieser seltener in Braunkohle, dann aber ebenfalls mit 1 bis 2%.

Für die verschiedenen Arten von Braunkohlen werden für die feste organische Masse nachstehende Durchschnittsgehalte angegeben (s. S. 8):

*) Kerl u. Stohmann, Technische Chemie. 3. Aufl. 3. Band.

Arten	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Verhältnis von Sauer- stoff zu Wasserstoff	Ergebnis an Säure	Natur und Aussehen der Säure
Erdfene Kohlen mit langer Flamme. (Sandkohlen)	75—80	5,5—4,5	19,5—15	4—3	0,50—0,60	Pulverförmig oder höchstens gestreut.
Sehr Kohlen mit langer Flamme (Bastkohlen, Sinter- kohlen)	80—85	5,8—5	14,2—10	3—2	0,60—0,68	Beflossen oder sehr aufge- bläht.
Sehr ober Schmelzkohlen (Bastkohlen)	84—89	5—5,5	11—5,5	2—1	0,68—0,74	Beflossen, mittelbläht.
Sehr Kohlen mit kurzer Flamme (Korkkohlen)	88—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1	0,74—0,82	Beflossen, sehr kompakt, wenig bläsig.
Ärgerere Kohlen ober Anthra- zite, mit kurzer Flamme.	90—93	4,5—4	5,5—3	1	0,82—0,90	Befristet ober pulverförmig.

Zusammenfassung von Steinkohlen.

Fundort oder Name der Kohlen	Kohlen- tauf	Bläse- tauf	Sauer- tauf	Erde
Basenburger Revier.				
Zegeu Gottes	92,02	5,22	10,25	2,51
David	79,23	4,55	11,08	5,19
Gräf. Hochberg	75,57	5,63	14,25	9,15
Nachs	75,30	5,06	10,56	5,08
Wüchhülz	94,22	5,20	9,51	4,57
Neue Heinrich	90,22	4,36	8,14	6,08
Obersteirnisches Revier.				
Eugeniens Wüch	73,20	4,03	19,11	2,78
Morgenroth	74,57	4,82	16,14	4,47
Königsgrube	73,48	4,06	15,04	2,93
	72,51	4,57	12,96	2,66
Louise	70,02	4,59	14,87	10,12
	70,73	5,32	19,54	4,55
Kauna	71,25	4,58	13,35	4,82
	78,23	4,08	13,02	4,47
Hohm	71,56	4,38	12,12	10,54
Leo	72,22	4,59	12,96	3,94
Königin Louise	71,25	4,36	13,46	3,91
	73,01	4,85	15,10	3,65
	62,72	5,05	10,67	1,56
Leopold	78,21	5,03	13,50	5,26
Saarbrücker Revier.				
Gerhard	72,38	4,46	15,05	6,11
	70,20	4,70	13,27	11,83
Heinzig	69,53	5,06	11,91	2,50
	73,87	5,10	13,22	2,71
Durtweiler	83,23	5,19	9,06	1,52
	61,23	5,30	8,54	4,87
Inde-Revier bei Gschweiler.				
James	89,43	4,29	3,06	2,25
Centrum	83,68	4,07	7,00	3,09
	90,62	4,50	1,31	3,57
	84,06	4,27	2,22	9,45
Borm-Revier bei Aachen.				
Neufauerweg	89,32	3,80	2,71	4,17
Neulangenberg	88,59	4,10	4,39	2,92
Ath	90,41	4,03	4,11	1,45
Bergamtsrevier Gfien.				
Zeche Sälzer und Rened	85,62	4,65	5,93	2,00
- Victoria Mathias	86,43	5,32	5,67	2,58
- Kaminwert	89,58	4,30	4,04	2,08
- Hundsnoden	88,23	3,86	3,68	4,22
Bergamtsrevier Bochum.				
Zeche Engelsburg	85,90	4,56	4,77	3,21
- Friedrich Wilhelm	82,22	5,00	7,71	5,07
- Präsident	79,72	4,62	11,56	3,26
- Franziska	77,10	4,53	11,79	6,56
- Louise Tiefbau	78,05	5,05	12,92	3,86

	Langflammige Kohlen			Kurzflammige Kohlen		
	mager	finternb	backend	Fettkohle backend	Erzkohle finternb	Anthrazit mager
Kohlenstoff . . .	80,88	83,36	84,79	89,02	90,75	91,91
Wasserstoff . . .	5,25	5,39	5,16	5,07	4,54	4,04
Sauerstoff u. Stick- stoff	13,87	11,25	10,05	5,91	4,71	4,05
Theoretisches Kohlen- ausbringen . . .	65	65	75	80	85	90

Die Zusammensetzung der organischen Substanz einiger Braunkohlenarten ergibt sich aus nachstehender Tabelle:

Fundort und Arten der Braunkohle	Kohlen- stoff	Wasser- stoff	Sauer- stoff
Erdige Braunkohle von Dar.	69,25	5,59	19,90
" " " Bouches du Rhone	63,01	4,58	18,98
" " " Nieder-Alpen	69,05	5,20	22,74
" stengliche Braunkohle vom Weißner	70,12	3,19	7,59
" Pechkohle vom Weißner	56,60	4,75	27,15
" " von Ringkuhl	60,83	4,36	24,64
" Glanzkohle von Ringkuhl	66,11	4,82	18,51
" pechkohlenartig, von Habichtswald	54,18	4,20	26,98
" unterste Schicht von Ringkuhl	52,98	4,09	21,91
" mittlere " " "	54,96	4,01	22,31
" Stillberger	50,78	4,62	21,38
" Helmstedt, Grube Prinz Wilhelm	68,57	4,84	19,87
" " andere Grube	67,88	6,85	17,46
" Schöningen	63,71	5,07	22,79
" " andere Grube	64,80	4,54	23,12
Lignit von Ringkuhl	51,70	5,25	30,37
" " Griechenland	60,36	5,00	25,62
" " Köln	63,42	4,98	27,11
" " Usnach	55,27	5,70	36,84
" " Laubach	57,28	6,03	36,10

(Fortsetzung von Seite 4.)

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
Lignit oder faserige Kohle . . .	60	5	35
Erdkohle	70	5	25
Muschelige oder Pechkohle . . .	75	5	20

oder allen Sauerstoff mit Wasserstoff zu chemisch gebundenem Wasser vereinigt gedacht:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	chem. gebund. Wasser
Lignit	60	1	39
Erdkohle	70	2	39 28
Muschelige oder Pechkohle . . .	75	3	22

Lufttrocken enthält die organische Substanz:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	chem. gebund. Wasser	Hygroskop. Wasser
Lignit	48	1	31	20
Erdkohle	56	2	22	20
Muschelige Kohle . . .	60	2	17	20

Knapp giebt nachfolgende Zahlen an:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Asche
Aschenfreie Kohle . . .	66,53	5,58	27,89	—
Aschenhaltige Kohle . .	60	5	26	9

Die Brennmaterialien enthalten, wie wir sehen, außer Kohlenstoff und Wasserstoff auch Sauerstoff; letzterer rührt hauptsächlich von dem Wassergehalt her, den alle Brennmaterialien in höherem oder geringerem Grade haben. Auf acht Theile Sauerstoff entfällt aber bei der Wasserbildung immer ein Theil Wasserstoff; diese Antheile sind nun bereits in chemische Vereinigung getreten, können also bei der Verbrennung keine Wärme mehr erzeugen, und ist daher bei der Berechnung des theoretischen Heizwerthes von der Gesamtmenge des gefundenen Wasserstoffs diejenige, welche zur Bindung des gleichzeitig gefundenen Sauerstoffs gehört, in Abzug zu bringen, und nur der dann verbleibende Wasserstoff ist mit der Anzahl seiner Kalorien in Rechnung zu stellen. Es setzt sich mithin der theoretische Heizwerth der Brennmaterialien zusammen aus den Kalorien für den gefundenen Kohlenstoff und den Kalorien des Wasserstoffes, minus demjenigen Wasserstoff, der zur Bildung von Wasser für den gleichzeitig ermittelten Sauerstoffgehalt nothwendig ist.

Die Brennstoffe hinterlassen beim Verbrennen auch immer einen unverbrennlichen Rückstand, die Asche, und dieser ist in der Praxis stets eine höhere, als bei der chemischen Untersuchung, da in der

Praxis auf dem Herde trotz sorgfältigster Ueberwachung niemals diejenigen Bedingungen zusammentreffen, welche die vollkommene Verbrennung verlangt. Dieser Aschengehalt schwankt bei den verschiedenen Materialien ziemlich beträchtlich, und beträgt nach praktischen Versuchen

bei Holz etwa	2—4	%	} vom Gewicht der angewandten Materialien.
Steinkohle	4—20	%	
Braunkohle	30	%	

Der Aschengehalt verschiedener Steinkohlen ist in der Uebersicht Seite 6, derjenige einiger Braunkohlen, welcher zwischen 1 und 58% wechselt, ist nachstehend angegeben.

		Fundort und Art der Kohlen.		Asche	
Rechtes Rhein-Ufer bei Bonn.	{	Lignit von Stöpschen		28,20	
		" " Orsberg		43,20	
		" " "		58,00	
	Braunschweig.	{	Braunkohle von Schöningen		7,80
			" " Helmstedt		8,40
			Schieferkohle von Azberg		45,00
			" " Aqa, Reuß		6,00
			Erdige Braunkohle von Bischofsheim		33,98
			Holzige " " "		6,30
			Erdige " " Weisbach		29,49
Böhmen.	{	Holzige " " "		7,32	
		" " " Eisgraben Meta		23,89	
		" " " " Hermann		22,97	
		Lignit von Auffig		5,35	
		" " "		5,51	
		" " Hegendorf		6,93	
		" " Neuendorf		5,13	
		" " Coulang		1,50	
		Erdkohle von Grünlas		6,66	
		Bairische Pfalz.	{	" " Verau . . . . .		10,00
Lignit " "				3,40	
" " Griechenland				9,02	
" " Usnach				2,19	
" " Köln				5,49	
Erdkohle " Dar				4,99	
" " Bouches du Rhone				13,43	
" " Niederalpen		3,01			

	Heffen-Cassel.	}	Erdbige Stangenkohle vom Weißner . . .	15,47
			" Pechkohle " " . . .	2,43
			" " von Hirschberg bei Ringkuhl	0,81
			Glanzkohle " " " " . . .	2,76
			Mittlere Kohle " " " " . . .	3,20
			Untere " " " " " . . .	4,92
			Pechkohle vom Habichtswald	1,33
			Pechkohle vom Habichtswald	3,33
			Stillberger Kohle, Söhrwald	6,95
			Signit von Hirschberg	1,29
	" " Island	8,80		
	" " " zweite Sorte	27,50		
	" " Uttweiler	0,90		
	" " Grube Urwelf	4,60		
	" " " "	27,05		
	" " Friesdorf	1,69		
	" " "	14,90		
	" " Büßchen	4,40		
	" " "	17,40		
	" " Stößchen	14,40		

Es ist wohl selbstverständlich, daß der höhere oder geringere Aschengehalt einen wesentlichen Einfluß auf den Heizwerth der Materialien ausübt, da die Aschenbestandtheile nicht nur keine Verbrennungswärme entwickeln, sondern sogar bei der Ausnützung noch Wärme aufnehmen; daher ist der Schluß berechtigt, je mehr Aschenrückstände, desto schlechter ist das Brennmaterial.

Beispiel: Eine Steinkohle hat nach Abzug der Rückstände

Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
81,70%	4,25%	14,05%

der theoretische Heizwerth berechnet sich hiernach:

$$8080 \times 0,8170 = 7837,6 \text{ Kalorien aus Kohlenstoff.}$$

Die 14,05 Thl. Sauerstoff beanspruchen zur Wasserbildung 14,05 : 8 = 1,75 Thl. Wasserstoff, es verbleiben also 4,25 — 1,75 = 2,50 Thl. Wasserstoff für den Heizwerth. 1 k Wasserstoff giebt aber 34462 Kalorien, also $0,025 \times 34462 = 861,5$ Kalorien.

Mithin theoretischer Heizwerth = 7837,6

861,5

8699,1 Kalorien.

Davon sind in Abzug zu bringen die 1090 für unverbrennlichen Rückstand oder den auf andere Weise gefundenen Aschenrückstand, und wir finden dann diejenige Heizkraft, welche unter den günstigsten Verbrennungsbedingungen dieses Heizmaterial überhaupt liefern kann. Wir erhalten somit nach den Analysen ungefähr folgende Werthe für die bei Verbrennung von 1 k Material erzeugten Kalorien:

Holz, vollkommen trocken	=	3800	Kalorien
Holz mit 25% Wassergehalt	=	2675	"
Holzkohlen, vollkommen trocken	=	7580	"
" mit 7% Wasser	=	7000	"
Braunkohlen 1. Qualität	=	6000	"
" 2. "	=	5000	"
Steinkohlen 1. Qualität mit 3% Asche	=	7500	"
" 2. " " 10% "	=	6900	"
" 3. " " 20% "	=	6100	"
Roaks mit 10% Asche	=	7000	"
" " 20% "	=	6250	"

1 k Steinkohlen 2. Qualität mit etwa 10% Asche giebt hiernach 6900 Kalorien bei vollkommener Verbrennung. 1 Tonne = 20 Ztr. dieser Steinkohle entwickelt unter gleichen Verhältnissen: 6 900 000 Kalorien; und eine Wagenladung = 200 Ztr. giebt die große Zahl von 69 000 000 Kalorien. Man sieht daher, daß eine Ersparniß von einigen 1000 Kalorien bei irgend welchen technischen Veränderungen noch gar nicht so viel bedeutet; es ist der Werth einer Kalorie eben ein verhältnißmäßig kleiner; doch ist dieser Faktor oder die dadurch ausgedrückte Wärmemenge als allgemein gültig anerkannt und in allen Wärmerechnungen eingeführt.

In der folgenden Tabelle sind die Heizeffekte verschiedener Brennstoffe vergleichsweise aufgezählt:*)

*) A. a. O.

www.libtool.com.cn

Brennstoffe	Theoret. Heizeffekt in W. E.	Heizeffekt bei vollkommener Ausnutzung in		Verdampfungs-fähigkeit	
	W. E.	W. E.	Steinkohl. Einheiten	Theoret.	b. Dampf- kesseln
Wasserstoff	—	34460	4,59	—	—
Leuchtgas	23975	22000	2,93	—	—
Petroleum	11380	10200	1,41	16,30	10—14
Olivenöl	—	9800	1,30	—	—
Wachs	—	8700	1,16	—	—
Talg	—	8300	1,11	—	—
Anthrazit	8250	8100	1,09	12,46	—
Kohlenstoff	—	8080	1,08	—	—
Steinkohle mittlere	7700	7500	1,0	11,51	5,2—8
Holzkohle	7400	7000	0,93	10,77	6—6,75
Kohls, reine	} 6800	7000	0,93	} 9—10,8	} 5—8
Kohls mit 15% Asche		6000	0,80		
Torfkohle	6000	5800	0,77	—	—
Braunkohle	5500	5000	0,67	7,7	2,2—5,5
Torf, trockner	} 4500	4800	0,64	} 5,5—7,4	} 2,5—5
Torf mit 20% Wasser		3600	0,48		
Holz, trocknes	4180	3600	0,48	} 4,3—5,6	} 2,5—3,75
Holz mit 20% Wasser	—	2800	0,37		
Stroh	1985	1866	0,25	3,0	1,86-1,92
Gerberlohe	3300	—	—	—	—

3. Luftzuführung für die Verbrennung.

Ein Theil Kohlenstoff verbindet sich mit $2\frac{2}{3}$ Thl. Sauerstoff zu Kohlenäure und 1 Thl. Wasserstoff mit 8 Thl. Sauerstoff zu Wasser. Es muß bei der Verbrennung das Bestreben vorherrschen, die Oxidation zur höchst möglichen zu machen, also auch die $2\frac{2}{3}$ Thl. Sauerstoff an einen Thl. Kohlenstoff zu binden; es ist ja einleuchtend, daß es hinsichtlich der erzielten endgiltigen Wärme gleichgiltig ist, ob sich 1 Thl. Kohlenstoff zuerst nur mit $1\frac{1}{3}$ Sauerstoff zu Kohlenoxid verbindet und dann $2\frac{2}{3}$ Kohlenoxid durch Aufnahme von noch $1\frac{1}{3}$ Sauerstoff erst später zu Kohlenäure wird, wenn nur diese letztere Verbindung, das ist diejenige, welche am meisten Wärme für die Heizwecke verfügbar stellt, überhaupt noch so

zeitig entsteht, daß die hervorgebrachte Wärme noch nutzbar wird; es muß also die zur Verbrennung zugeführte Sauerstoffmenge so groß sein, daß immer Kohlenäure und Wasser, die höchsten Oxidationsstufen der Brennmaterialien, zur Bildung kommen. Es ist klar, daß man viel weniger Wärme erzeugt, wenn man den chemischen Prozeß nicht zur höchst möglichen Vollkommenheit gelangen läßt, also zu wenig Sauerstoff zuführt, daß man dann empfindliche Verluste an Wärme erleidet. Nun steht als einzige Sauerstoffquelle die Luft zur Oxidation der Brennmaterialien zur Verfügung; die atmosphärische Luft besteht hauptsächlich aus einem Gemenge von 79 Volumtheilen Stickstoff und 21 Volumtheilen Sauerstoff oder aus 77 Gewichtstheilen Stickstoff und 23 Gewichtstheilen Sauerstoff; aus diesen Zahlen ergibt sich leicht diejenige Luftmenge, welche man zur vollkommenen Verbrennung von 1 k Steinkohle braucht. Diese Kohle sei zusammengesetzt nach Abzug der Rückstände aus:

Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
81,70	4,25	14,05

Während der vollständigen Verbrennung verbinden sich nun 8 Gewichtstheile Sauerstoff mit 3 Gewichtstheile Kohlenstoff zu Kohlenäure. So mit verbinden sich mit 1 k Kohlenstoff $\frac{8}{3}$ k Sauerstoff; allein zu 1 k Sauerstoff sind $\frac{100}{23}$ k Luft erforderlich, da letztere nur 23 Gewichtstheile Sauerstoff enthält; also braucht man zu $\frac{8}{3}$ k Sauerstoff $\frac{8}{3}$ mal $\frac{100}{23}$ oder 11,59 k Luft.

Es benötigt außerdem 1 Gewichtstheil Wasserstoff zur vollkommenen Verbrennung zu Wasser 8 Gewichtstheile Sauerstoff; es sind nach der Analyse vorhanden: 4,25 Theile Wasserstoff, diese brauchen demnach $4,25 \times 8 = 34$ Gewichtstheile Sauerstoff. Nun sind aber durch den laut Analyse gefundenen Sauerstoff (14,05) schon 1,75 der vorhandenen Gewichtstheile Wasserstoff zu Wasser verbunden; diese Menge kann demnach nicht höher oxidiert werden, und entzieht sich daher bei Berechnung der nothwendigen Luftmenge, wie wir dies gleichfalls bei der Berechnung der Kalorien aus dem Kilogramm dieser Steinkohlen gefunden haben. Es kommen mithin jetzt zur Berechnung $4,25 - 1,75 = 2,50$ Theile Wasserstoff; diese brauchen das 8fache Gewicht an Sauerstoff also 20,0 k. Aus diesen Zahlen berechnet sich abgerundet: Zu einem Kilogramm Kohlenstoff sind nothwendig etwa 9 cbm Luft; zur vollständigen Verbrennung von 1 k Wasserstoff sind 24 cbm Luft etwa erforderlich; um 1 k gewöhnliche Steinkohle zu verbrennen, rechnet man ebenfalls als theoretisch nothwendige Luftmenge 9 cbm, eine Zahl, welche man als Einheit betrachten

kann. Um jedoch eine möglichst gute Verbrennung zu erzielen, ist es durchaus erforderlich, eine größere Luftmenge als die theoretisch notwendige, zuzuführen, da immer mehr oder weniger ungenutzt entweicht; es hat sich durch praktische Versuche herausgestellt, daß die richtige Verhältnißzahl der Luftzuführung für die verschiedenen Brennstoffmaterialien zwischen dem 1,2fachen und den 1,5fachen der theoretischen Menge liegen, also etwa zwischen 10 und 15 cbm Luft auf 1 k Kohle.

4. Erzeugte Gase bei der Verbrennung.

Es bilden sich bei vollständiger Verbrennung aus 1 k Kohle, welche z. B. aus 92% Kohle, 4% Wasserstoff und 4% Feuchtigkeit besteht: 3,38 k Kohlensäure und 0,40 k Wasser. Außerdem aber sind, wenn wir, wie oben angegeben, 9 cbm Luft zu dieser Verbrennung gebraucht haben, in den Rauchgasen noch 9,25 k Stickstoff enthalten. Es ist klar, daß dieses ganze Gasgemenge durch die erzeugte Verbrennungswärme ebenfalls mit erhitzt werden muß. Nun haben wir oben gesehen, daß zur Erwärmung von 1 k Wasser nun 1° C. eine Wärmeeinheit gehört; die Wärme-Aufnahme der Gase ist aber eine andere, als die des Wassers; letzteres benötigt unter allen in Betracht kommenden Körpern die meiste Wärmemenge um eine höhere Temperatur anzunehmen, es braucht z. B. 1 k Kohlensäure nur etwa 0,25 Kalorien, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. anzuzeigen, ebenso 1 k Stickstoff (abgerundet); wohingegen Wasserdampf 0,50 Kalorien beansprucht. Wenn die Rauch- oder Verbrennungsgase mit einer Temperatur von 300° in den Schornstein entweichen, so erhalten wir als Wärmeverlust durch die Heizgase:

$$300 (3,18 + 9,25) 0,25 + (0,40 \times 0,50) = 300 \times 3,36 = 1008 \text{ W. E.}$$

Das ist etwa der 8. Theil der theoret. Gesamtwärme, welche durch Verbrennung von 1 k Kohle erzeugt wird. Wenn man das doppelte Luftvolumen zuführt, also etwa 12 k mehr, so müssen diese 12 k ebenfalls auf 300° C. erwärmt werden, und es gehen somit durch den Schornstein verloren:

$$300 \times 12 \times 0,25^*) = 900 \text{ W. E. mehr, insgesammt also } 1008 + 900 = 1908 \text{ W. E.,}$$

das ist etwa $\frac{1}{4}$ der ganzen theoretisch erzeugten Wärmemenge bei Verbrennung von 1 k bester Kohle. Man sieht daraus, daß jeder unnötige Ueberschuß von Luft bei der Verbrennung

*) 0,25 als ungefähr abgerundete Zahl der zur Erwärmung von 1 k Luft um 1° C. notwendigen Kalorien gesetzt. (Spez. Wärme).

einen bedeutenden Wärmeverlust mit sich bringt. Aus den Verbrennungsprodukten, d. h. den in den Schornstein entwichenen Gasen, beziehungsweise aus deren Zusammensetzung, kann man einen genauen Schluß auf die gute oder weniger gut geleitete Verbrennung ziehen.

5. Gute und schlechte Verbrennung.

Theoretisch bestehen diese Gase nur aus dem Stickstoff der Luft, der durch die Verbrennung des Kohlenstoffes entstandenen Kohlensäure und aus den Wasserdämpfen, welche durch die Oxidation des Wasserstoffs des betreffenden Heizmaterials entstanden sind, und aus demjenigen Wasser, welches als solches; als Feuchtigkeit, dem Brennmaterial anhaftet. Findet nun eine zu geringe Luftzuführung statt, so verbrennt der Kohlenstoff nicht zu Kohlensäure, sondern theilweise nur zu Kohlenoxid und man wird also bei der chemischen Analyse der Verbrennungsgase dieses Kohlenoxid finden; ist andererseits zu viel Luft zugeführt, so wird die zuviel zugeführte Sauerstoffmenge unbenutzt sich in den Schornsteingasen vorfinden, und man kann daher mittelst der Untersuchung der Essengase die Luftzuführung genau bestimmen, und demnach auf das niedrigst zulässige Maas herunter drücken. Welche Vortheile das bietet, ergibt sich aus den oben ermittelten Zahlen für die Wärmeverluste, welche eine übermäßige Luftmenge bedingen. Auf welche Art man die Untersuchung ausführt, wird später beschrieben werden.

6. Ausnutzung der Verbrennungswärme. Heizeffekt.

Die auf dem Feuerherd oder Kofst durch die Verbrennung der Heizmaterialien erzeugte Wärme kommt nun niemals in der theoretisch ermittelten Menge zur Ausnutzung, sondern nach Ausweis praktischer Verdampfversuche, die für die Technik den hauptsächlichsten Werth haben, nutzt man die theoretische Wärme nur mit höchstens 50—60% aus, d. h. nur dieser Theil dient direkt zum Verdampfen des Wassers im Dampfkessel, die andere Wärme geht verloren, durch Strahlung, durch die Kesselmauerung, Essengase u. Welchen Einfluß die Konstruktion der angewandten Kessel auf die bessere oder geringere Wärmeausnutzung ausüben, ist an späterer Stelle zu erörtern, nur mag hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Wärmeübertragung eine zweifache ist; ein Theil, fast die Hälfte der ausgenutzten Wärme, wird durch Strahlung an die Kesselwand abgegeben, der andere Theil durch Leitung, d. h. durch die direkte Berührung der heißen Verbrennungsgase mit der Fläche des Dampfkessels. Je höher also das Wärmeleitungsvermögen eines Körpers ist, desto rascher und besser wird

die Uebertragung der Wärme der Verbrennungsgase an das im Kessel befindliche Wasser abgegeben; die Wärmeleitungsfähigkeit der hier allein in Betracht kommenden Metalle ist etwa

für Schmiebeeisen	=	374
„ Kupfer	=	898
„ Messing	=	248

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die vortheilhafteste Wärmeübertragung durch Kupfer geschieht; aus diesem Grunde sind auch vielfach die Heizschlangen zc. aus diesem Metall angefertigt. Da die Leitungsfähigkeit des Eisens nur halb so groß ist, so kann man bei gleicher Oberfläche durch kupferne Wandung in derselben Zeit die reichlich doppelte Wärmemenge hindurchleiten, als durch Eisen, oder, um dem Heizgase genügend Wärme zu entziehen, müssen die eisernen Dampfkessel über noch einmal so viel Fläche zur Wärmeleitung besitzen, als wenn dieselben aus Kupfer wären.

Eine genügend große Heizfläche ist dann vorhanden, wenn die sonst regelrecht zusammengesetzten Heizgase, also bei guter Verbrennung, mit einer Temperatur von etwa 300—400° C. in die Esse gehen.

Was den Heizeffekt oder die Verdampfungskraft betrifft, so beträgt derselbe*) beispielsweise für Braunkohlen:

	1 Tonne = 2,2 hl = k	Wasser= gehalt Proc.	Aschengehalt		1 Thl. Braunkohle verwandelt in Dampf von 110—115° C. Thl. Wasser von 0°	
			unge= trocknet	ge= trocknet	ungetrocknet	getrocknet
Böhmische Braunkohle	148	28,7	10,67	14,96	3,87	5,84
Preußische Braunkohle (bituminöf. Holz) frisch	142,5	45,9	3,79	7,34	2,65	5,76
Preußische Braunkohle, abgelagert	133,5	23,7	3,65	4,79	3,96	5,50
Preußische Braunkohle, Erbkohle frisch	134	47,2	4,81	9,12	2,45	5,55
Preußische Braunkohle, Stückkohle	150	47,7	3,31	6,33	2,16	5,08

*) H. a. D.

Wärmeeffekt der Steinkohlen.

Der theoretische Wärmeeffekt verschiedener Steinkohlen ist:

	Wärmeeffekt C = 1		
	Abjol.	Spezif.	Pyrom.
Anthrazit	= 0,96	1,44	2350° C.
Baackohle	= 0,93	1,17	2300 "
Sinterkohle	= 0,89	1,16	2250 "
Sandkohle	= 0,79	1,06	2200 "

Nach Briz gab ein Theil getrockneter Kohle 5,75 bis 9,00 durchschnittlich 7,39 Thl., ungetrocknet 7,50 Thl. Dampf aus Wasser von 0°. Es verwandelt z. B. in Dampf ein Theil Kohle von Eschweller 8,16 bis 8,93, Bochum 7,18 bis 8,45, Essen 6,45 bis 8,00, Witten 7,65 bis 8,04, Saarbrücken 6,36 bis 7,83, Waldburg 7,0 bis 7,7, Oberschlesien 6,1 bis 7,38, England 7,47 bis 7,65, Zwickau 7,5 Theile Wasser. Nach neueren Versuchen verdampfte ein Theil Waleiser Kohle etwas über 8, Herne-Bochumer fast 8 Theile Wasser. Von den übrigen Heizkohlen besitzt die schlesische durchschnittlich die größte Heizkraft; dann folgen die sächsischen, dann die Newcastler Kohlen. Nach Playfair und de la Roche verdampfen 1 Theil amerikanische Steinkohlen 5,84 bis 8,99, englische 5,30 bis 8,75 Theile Wasser. — Nach Meunier gaben verschiedene englische Steinkohlen 8780 bis 8949 W. E., und verdampften das 8,8 bis 9,0fache Wasser. Saarkohlen 8215 bis 8724, meistens 8400 W. E., anthrazitische Kohlen gegen 9000 W. E. (Braunkohlen 6300 bis 7900 W. E.) Nach Hartig wurden von 1 Thl. trockener sächsischer Kohle durchschnittlich 4,07 bis 7,97 Thl. Wasser von 0° in Dampf von 100° C. verwandelt. — Nach Sauerwein wurden von 1 Theil hannoverschen Kohlen 5,61 bis 6,66 Thl., von westphälischen 6,26 bis 7 Thl. Wasser, in Dampf von 150° C. verwandelt.

Die Zentralstelle für Landesstatistik des Großherzogthums Hessen berechnet 100 k Steinkohlen = 200 k Braunkohlen = 0,5 cbm Hartholz. Um Steinkohlen von der Untersuchung vor erdigen Beimengungen, Schiefen etc. möglichst zu befreien, rührt man sie in zerkleinertem Zustande in einem Becherglase mit Schwefelsäure von 1,4 spez. Gewicht um, läßt etwas stehen, schöpft dann die oben aufschwimmende gereinigte Kohle mit einem Löffel ab, wäscht sie gut aus und trocknet sie. *)

*) H. a. D.

III. Untersuchung der Rauchgase.

www.libtool.com.cn

a. Der Orsat'sche Apparat.

Von H. Weinlig wurde im Auftrage der Kommission des Magdeburger Vereins für Dampffesselbetrieb zur Untersuchung der Feuergase der Orsat'sche Apparat mit denjenigen Abänderungen und Verbesserungen empfohlen, welche auf Grund der Vorversuche von Alberti und Hempel an demselben angebracht worden sind. Namentlich wurde auch Glycerin statt Wasser als Sperr- und Maassflüssigkeit eingeführt und konzentrierte Reagentien hergestellt.*)

Die Einrichtung des zum Analysiren der Feuergase dienenden Orsat'schen Apparates erhellt aus bestehender Figur.

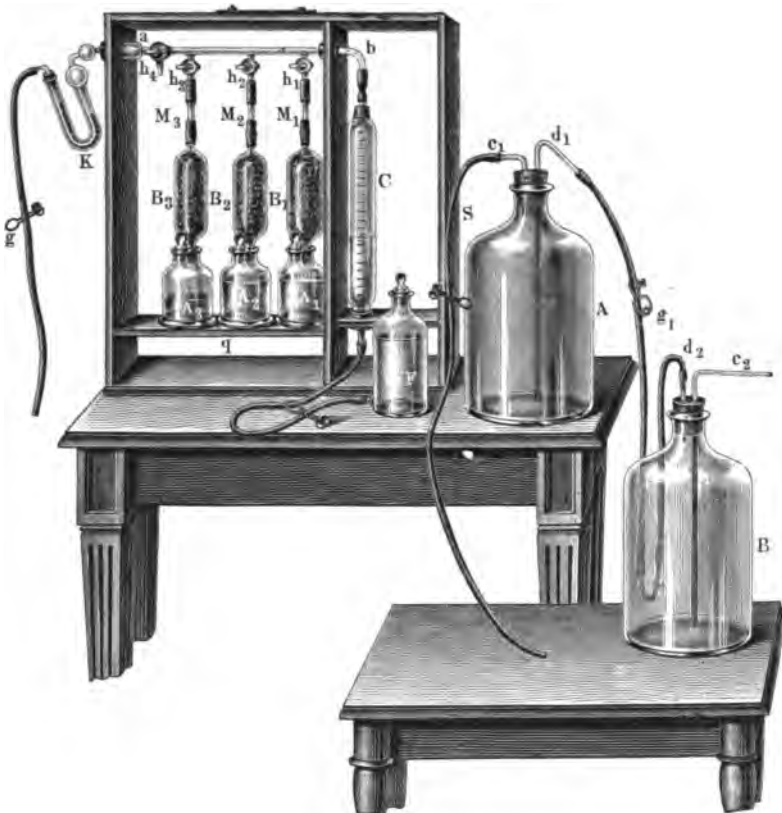


Fig. 1.

*) Jahresbericht für Zuckersfabrikation, Bd. 18, S. 236 ff.

Flasche A_1 ist mit konzentrierter Natronlauge, A_2 mit einer Lösung von Pyrogallussäure in Natronlauge (50 g im Liter) und A_3 schließlich mit einer möglichst konzentrierten Lösung von Kupferchlorür in Salzsäure gefüllt. Die Gefäße B_1 , B_2 und B_3 dienen zur Absorption der Kohlensäure, des Sauerstoffs und des Kohlenoxydgases. Alle sind mit Kohls gefüllt, einem Material, welches der Absorptionsflüssigkeit die größte Oberfläche bietet. In der Flasche F befindet sich Glycerin, eine Flüssigkeit, welche weder Kohlensäure noch Kohlenoxydgas aufnimmt. Das in halbe Kubikzentimeter eingetheilte Rohr C ist so eingerichtet, daß es einschließlic des hohlen Raumes, welcher durch die Glasröhre a b bedingt ist, am Theilstrich 100 genau 100 cbcm faßt. Dieses Rohr verbindet durch einen Kautschuchschlauch, welcher mittelst eines Quetschhahns verschließbar ist, mit der Flasche F. Das Glasrohr a b ist mit 4 Hähnen versehen, bezeichnet in der Figur h_1 , h_2 , h_3 und h_4 . Hahn Nr. 4 ist ein Dreiwegshahn und läßt sich mittelst desselben:

- 1) das Glasrohr a b luftdicht verschließen;
- 2) die Verbindung des Glasrohres mit der Luft vermitteln;
- 3) die Verbindung des Apparates mit den Feuergasen herstellen, indem man den Gummischlauch g zu den Gasen des Schornsteines leitet.

Will man mit dem Apparat arbeiten, so muß man sich denselben zunächst einstellen, was in folgender Weise geschieht: Man verschließt die Hähne h_1 , h_2 und h_3 , bringt dann den Dreiwegshahn in diejenige Stellung, daß der Apparat mit der Luft in Verbindung steht, öffnet hierauf den Quetschhahn g, entfernt den Stöpsel von der Flasche F und hebt letztere in die Höhe. Es fällt sich hierdurch das Rohr C mit dem in der Flasche F befindlichen Glycerin. Ist dieses geschehen, so verschließt man das Glasrohr a b mittelst des Dreiwegshahnes, öffnet alsdann den Hahn h_1 und entfernt den Stöpsel von der Flasche A_1 . Deffnet man nun den Quetschhahn g und senkt die Flasche F, so muß das im Rohr C befindliche Glycerin wieder in die Flasche wandern. In demselben Maße aber, wie das Glycerin fällt, steigt die Natronlauge in dem Absorptionsgefäß A_1 in die Höhe. Ist dieselbe bis zur Marke M_1 gekommen, so schließt man den Hahn h_1 .

Zur Vorsicht beobachte man stets die steigende Flüssigkeit, da sonst leicht etwas von der Natronlauge in das Glasrohr a b gelangt, und wodurch Analysenfehler entstehen würden. Das pyrogallussäure Natron und die Kupferlösung werden in derselben Weise bis zu den Marken M_2 und M_3 gehoben. Die ganze hier umständlich beschriebene Arbeit läßt sich bei einiger Uebung in 1 bis 2 Minuten ausführen.

Mit dem so vorgerichteten Apparat analysirt man die Feuergase in folgender Weise. Man dreht den Hahn h_1 so, daß das Rohr a b mit den Gasen des Schornsteines in Verbindung steht, füllt hierauf das Rohr C mit Glycerin, senkt alsdann die Flasche F und öffnet den Quetschhahn g. Es fließt nun das Glycerin in die Flasche zurück und der Apparat füllt sich mit Gas. Würde man letzteres sofort untersuchen, so erhielte man falsche Zahlen, da das Gasrohr sowohl wie der Gummischlauch vorher mit Luft angefüllt waren. Man verdrängt deshalb das Gas dadurch, daß man das Glycerin wieder in das Rohr treten läßt. Nach 3 bis 4 maligem Wiederholen dieser Arbeit erhält man dann ein Gas, welches gleichbedeutend mit den Feuergasen ist. Der Apparat ist so eingerichtet, daß genau 100 cbcm Gas zur Analyse gelangen, wenn der untere Rand der Flüssigkeitsfläche auf dem Theilstrich 100 steht. Bei diesem sowohl als dem späteren Ableesen ist dafür Sorge zu tragen, daß die Oberflächen der Flüssigkeiten in der Flasche F und im Rohr C gleiche Höhe haben, beide also unter dem Drucke der atmosphärischen Luft stehen. Jetzt schließt man das Rohr a b, öffnet den Hahn h_1 und treibt das Glycerin wiederum in das Meßrohr. Es sinkt dadurch die Natronlauge, und das Absorptionsgefäß A_1 füllt sich mit dem Gasgemisch. Nach Verlauf von ungefähr einer Minute senkt man die Flasche F und hebt dadurch die Natronlauge, welche man abermals bis zur Marke M_1 steigen läßt. Da die Natronlauge die Kohlensäure absorbirt, so läßt sich durch einfaches Ableesen an dem Rohr C ermitteln, wie viel Volumprocente Kohlensäure im Gas enthalten waren. Um zu prüfen, ob auch sämtliche Kohlensäure von der Natronlauge absorbirt worden ist, wiederholt man diese Operation und sieht zu, ob man beim zweiten Ableesen dieselbe Zahl erhält.

Das pyrogallussaure Natron dient zur Absorption des Sauerstoffes, und die Kupferlösung zu derjenigen des Kohlenoxidgases. Letztere beiden Gase werden so bestimmt, wie die Kohlensäure. Was zurückbleibt ist Stickstoff. Da die Bestimmung des in den Feuergasen enthaltenen Wasserdampfes mit zu großen Schwierigkeiten verknüpft ist, für die Beurtheilung einer Feuerungsanlage außerdem nur die Kenntniß von der Zusammensetzung der wasserfreien Gase von Wichtigkeit ist, so analysirt man am besten vorher getrocknete Gase. An dem Apparat befindet sich deshalb unmittelbar am Glasrohr a b ein mit Chlorcalcium gefülltes Rohr K, welches die zu analysirenden Gase vor ihrem Eintritt durchstreichen müssen. Bekanntlich nimmt dieses Salz Wasser auf. Verschiedene direkte Versuche haben ergeben, daß die Gase während der Analyse nicht zu berücksichtigende

Mengen von Wasserdampf aufnehmen. Der verbleibende Stickstoff enthielt niemals über 1 mg Wasser, obgleich die Gase absichtlich lange mit den Absorptionsflüssigkeiten in Berührung gelassen waren.

Um gute Durchschnittsproben analysiren zu können, richtet man sich zweckmäßig Sammelflaschen ein, deren Konstruktion aus der Figur zu ersehen ist.

Die Flasche A ist bis an den Rand mit Glycerin gefüllt und mit einem doppelt durchbohrten Gummikork verschlossen. Das rechtwinklig gebogene Röhrchen c_1 reicht nicht ganz bis zu der Flüssigkeit und ist mit einem Gummischlauch versehen, der dazu bestimmt ist, die Verbindung mit den Feuergasen herzustellen. Das Rohr d_1 reicht bis auf den Boden der Flasche. Oeffnet man jetzt den Schraubenquetschhahn g_1 und verdünnt die Luft in der Flasche B durch ein einmaliges Auffaugen mit dem Mund an dem Röhrchen c_2 , so läuft das Glycerin von selbst aus der Flasche A in die Flasche B, und A wird hierdurch mit den Feuergasen gefüllt. B hat dieselbe Einrichtung wie die Flasche A. Die zuerst aufgefangenen Gase analysirt man am besten nicht, weil im Schlauch und im Zuleitungsröhr nach dem Schornstein noch Luft enthalten war. Man verdrängt das Gas einfach dadurch, daß man die beiden Flaschen ihre Plätze wechseln läßt, wodurch das in B übergetretene Glycerin wieder in die Flasche A wandert und auf diese Weise das Gas austreibt. Jetzt ist man sicher, daß im Schlauch sowohl, wie im Zuleitungsröhr nur Feuerungsgase enthalten sind, und man füllt auf die oben beschriebene Weise die Flasche A vollständig mit den Gasen. Der Quetschhahn g_1 ist mit einer Schraube versehen, wodurch sich das Ausfließen des Glycerins reguliren läßt. Man kann sich demnach nach Belieben eine Durchschnittsprobe von einer Viertel- oder auch von mehreren Stunden verschaffen. Hat sich die Flasche A mit Gas gefüllt, so verschließt man dieselbe mittelst des Quetschhahns, welcher sich an dem Gummischlauch S befindet. Zur Analyse der Durchschnittsprobe verbindet man S mit dem Röhrchen a b, stellt die Flasche B etwas erhöht, öffnet die Quetschhähne, bringt den Dreiweghahn in diejenige Stellung, daß der Apparat mit der Flasche A in Verbindung steht und füllt das Rohr C in bekannter Weise mit Gas. Die zuerst eingetretenen Gase treibt man nochmals aus. Dies geschieht dadurch, daß man durch den Dreiweghahn die Verbindung des Glasrohrs a b mit der Luft herstellt — wodurch gleichzeitig das Gas in der Flasche A abgeschlossen wird — und das Glycerin aus der Flasche F in das Rohr C treibt.

Da das Gas unter Druck eintritt, so wird nochmals darauf aufmerksam gemacht, daß nur dann genau 100 cbcm Gas zur Analyse gelangen, wenn nach Verschluß des Rohrs a b die Oberflächen der kommunizirenden Flüssig-

keiten der Flasche F und dem Rohre C mit dem Theilstrich 100 in gleicher Höhe stehen. Hat man im Anfang etwas zu viel Gas eingesaugt, so treibt man den Ueberschuß wieder in die Flasche A.

Der Apparat ist leicht zu handhaben und liefert selbst in der Hand eines Laien in kurzer Zeit sichere Analysen.

In Bezug auf die Verwerthung der Analyse zur Ermittlung der Anfangstemperatur im Feuerherde wird auf Formel 8 S. 39 des 6. Heftes der technischen und gewerblichen Mittheilungen des Magdeburger Vereins für Dampfesselbetrieb verwiesen. Der Luftüberschuß, auf den es in der Regel hauptsächlich ankommt, berechnet sich aus der Formel

$$n = \frac{21}{21 - 79 \frac{\text{Sauerstoff}}{\text{Stickstoff}}}$$

worin für Sauerstoff und Stickstoff die aus der Analyse gefundenen Volumprocente zu setzen sind.

b. Die Bunte'sche Bürette.

Die in Figur 2 abgebildete Bürette zur technischen Untersuchung von Gasgemengen unterscheidet sich von dem Orsat'schen Apparat vorzüglich dadurch, daß die zur Absorption einzelner Gemengtheile des Gases verwendeten Reagentien rasch und vollständig und ohne Gasverlust sich aus derselben entfernen lassen, sodas eine fast beliebige Zahl von flüssigen Absorptionsmitteln nacheinander auf eine Gasprobe zur Einwirkung gelangen können. Ferner kann das in der Bürette eingeschlossene Gas in einfacher Weise vor und nach jeder Absorption unter gleiche Druckverhältnisse gebracht werden.



Fig. 2.

Die Gasbürette A besteht aus einem getheilten, oben und unten durch Hähne a und b geschlossenem Glasrohr mit einem Trichteraufsatz t. Der Raum zwischen den beiden Hähnen fasst etwas mehr als 100 cc und ist in Kubitzentimeter bis 40 und Drucktheile derselben getheilt. Der Theilstrich 40 befindet sich unter dem Hahn a, wo das Rohr sich erweitert, einige Zentimeter

über dem Hahn b ist der Nullpunkt der Theilung. Der Trichter t trägt eine Marke m und faßt bis dorthin etwa 25 cc. Der untere Hahn b ist ein einfach durchbohrter Verschlussahh. Der Hahn a besitzt außer der Querbohrung noch eine zweite von der Seite herein, durch die die auslaufende Bohrung, durch welche das Innere der Bürette oder der Trichter abwechselnd mit der Atmosphäre oder einem über die Spitze des Hahnes a geschobenen Kautschukschlauche in Verbindung gesetzt werden kann. Da die Bürette vornehmlich für Untersuchung von Verbrennungsgasen bestimmt ist, bei welchen der nicht absorbirte Gasrückstand mindestens 60% ausmacht, so ist der untere größere Theil derselben, an welchem die Ableitungen erfolgen, verengt, um die Theilstriche weiter auseinander zu rücken. Die Bürette wird durch eine an einem eisernen Halter befestigte federnde Klammer in senkrechter Stellung gehalten.

Um die Bürette mit Gas zu füllen, stellt man (s. Figur 3) den Dreiveghahn a so, daß die Bohrung mit dem Meßraume der Bürette A in Verbindung steht und gießt Wasser in den Trichteraufsatz. Alsdann verbindet man die Bürette durch einen Kautschukschlauch, der über die Spitze des Dreiveghahns geschoben wird und Schlauchglasverbindung S mit dem zum Gasbehälter oder Rauchgaskanal führenden Rohr R. Mit der unteren Spitze der Bürette verbindet man eine Kautschumpumpe V oder einen Aspirator und saugt bei geöffnetem Hahn b so lange Gas durch die Bürette, bis die anfänglich vorhandene Luft vollständig durch das zu prüfende Gas verdrängt ist. Man dreht die Hähne b und a um 90 Grad; das Wasser des Trichteraufsatzes bewirkt alsdann den vollkommenen Abschluß des Gases nach oben. Die Spitze des Dreiveghahns wird mit Kautschukschlauch und Glasstäbchen geschlossen.

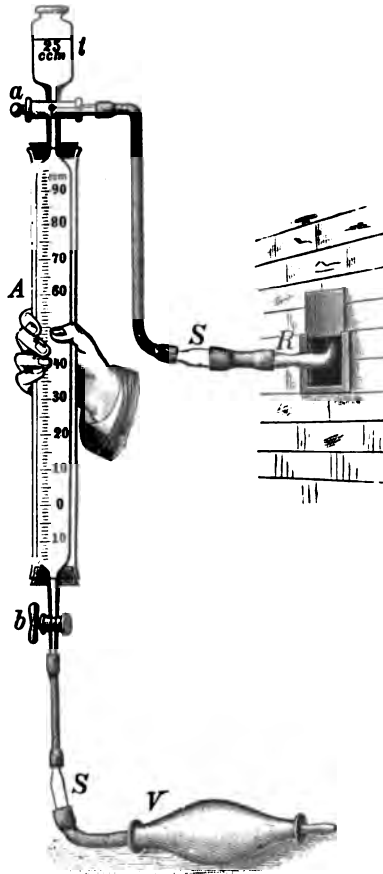


Fig. 3.

Um das unter beliebigem Druck eingeschlossene Gasvolumen auf 100 cc und unter bekanntem Druck zu bringen, läßt man aus einem hochstehenden Gefäße B (Figur 2) in der gezeichneten Anordnung Wasser von unten in die Bürette treten bis zum Nullpunkt, indem man selbstverständlich Sorge trägt, daß das Kautschukrohr vor der Verbindung mit der Bürette sich vollständig mit Wasser füllt. Setzt man nun, nachdem b geschlossen, durch eine Drehung des Hahnes a das Innere der Bürette mit dem mit Wasser gefüllten Trichter t in Verbindung, so entweicht ein Theil des Gases in Blasen, bis der eingeschlossene Rest unter dem Druck der Atmosphäre und einer Wassersäule von einigen Zentimetern steht. Das im Trichteraufsatz t befindliche Wasser wird kapillar in dem Verbindungsrohre mit der Hahnbohrung festgehalten, und bleibt über dem in der Bürette eingeschlossenen Gase stehen, ohne daß Wasser eindringen oder mehr Gas entweichen kann. In derselben Weise kann bei jedem beliebigen Stand der Flüssigkeit im Meßgefäß das eingeschlossene Gas unter gleiche Druckverhältnisse (Atmosphärendruck und einige Zentimeter Wassersäule), gebracht werden. Bei der üblichen Angabe der Versuchsergebnisse in Prozenten des Gesamtvolumens ist eine Berichtigung für den Druck, der vor jeder Ableseung gleichgemacht wird, nicht nöthig.

Zur Ausführung einer Analyse muß zunächst Platz für das Absorptionsmittel in der Bürette geschaffen werden. Man saugt zu diesem Zweck mittelst der Flasche C, deren längeres Rohr durch den Kautschukschlauch mit der unteren Spitze der Bürette verbunden wird, während man den am seitlichen Rohr befindlichen Schlauch in den Mund nimmt, das Wasser bis auf einen geringen Rest aus der Bürette, schließt den Hahn b und nimmt die Flasche C ab. Das Absorptionsmittel wird in eine Porzellschale gegossen und die untere Spitze der Bürette unter den Flüssigkeitsspiegel getaucht. Oeffnet man nun den Hahn b, so wird das flüssige Absorptionsmittel eingesaugt. Die untere Spitze der Bürette ist so eng, daß dieselbe bis an die äußerste Grenze stets mit Flüssigkeit gefüllt bleibt, es gelangt demnach mit dem Absorptionsmittel bei der beschriebenen Handhabung keine Spur Luft in die Bürette.

Nachdem der Hahn b wieder geschlossen ist, wird zur Beschleunigung der Absorption die Bürette horizontal gelegt oder besser geschüttelt. Man faßt zu diesem Zweck die Bürette am Trichteraufsatz, dessen Oeffnung man mit dem Ballen der Hand verschließt, und bewegt die Bürette nach ihrer Längsrichtung heftig hin und her.

Um einer vollständigen Absorption des Gemengtheiles durch das angewendete Reagens sicher zu sein, läßt man nach dem Umschütteln in oben beschriebener Weise abermals Absorptionsflüssigkeit eintreten und wiederholt

diese Arbeit, bis der Stand der Flüssigkeit im Meßrohre derselbe bleibt. Vor der Ableitung setzt man durch Drehen des Hahnes *a* das Meßrohr mit dem Wasser im Trichter *t* in Verbindung; es fließt Wasser ein, bis sich der frühere Druck wieder hergestellt hat, nöthigenfalls wird der Trichter mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Die Ableitung ergibt direkt den Procentgehalt des untersuchten Gases an dem absorbirten Bestandtheil.

Die zur Anwendung gelangenden Absorptionsmittel sind die gleichen wie beim Orsat'schen Apparat, also Kalilauge für Kohlensäure, pirogallussaures Kali für Sauerstoff und salzsaure oder ammoniakalische Kupferchlorürlösung für Kohlenoxid; doch muß namentlich für letztere Bestimmung die etwa anhaftenden Mengen von Kalilauge oder Pirogallussäure aus der Bürette durch öfteres Spülen mit Wasser sorgfältig entfernt werden. Man saugt zu diesem Zweck das pirogallussaure Kali mittelst der Flasche *C* bis auf wenige Tropfen ab; öffnet man alsdann den Hahn *a*, so strömt Wasser aus dem gefüllten Trichter in die Meßröhre und spült die Wände derselben vollständig ab; man schließt dann *a* und saugt das Waschwasser wieder ab; wiederholt man dies einige Male, so ist das Absorptionsmittel vollständig entfernt.

Zur Anwendung der mit diesen Apparaten erzielten Versuchsergebnisse zur Berechnung der Wärmeverluste werden später (im zweiten Buche) einige Beispiele angeführt werden, welche die Berechnung der Nutzwirkung der Feuerungsanlagen überhaupt betreffen und dabei die Verluste durch die Gase besonders berücksichtigen.

IV. Ueber Heizung mit flüssigen Brennmaterialien

sind schon seit Jahren vielfache Versuche angestellt worden, welche jedoch erst in neuester Zeit zu praktischen verwerthbaren Ergebnissen geführt haben. Wenngleich die Zahl der Vertikalköfen, an denen eine derartige Heizung mit gutem Erfolg stattfinden kann, eine beschränkte ist, so mögen doch einige Angaben darüber hier Platz finden.

Die überhaupt zur Verwendung gelangenden flüssigen Heizstoffe sind Kohlenwasserstoffe und bestehen der Hauptsache nach aus den Rückständen der Petroleumdestillation beziehungsweise derjenigen der Universalschmieröle (russisch *Alstak*) und allenfalls noch den sogenannten Kohlenföten der Paraffinölfabriken. Diese flüssigen Kohlenwasserstoffe müssen in möglichst feiner Vertheilung in den Feuerungsraum des Kessels geführt werden, und dieses geschieht mittelst eines Zerstäubers, Forjunka genannt, bei dem die Vertheilung der Kohlenwasserstoffe durch einen Dampf- oder Luftstrom erfolgt.

Die entsprechenden Einrichtungen sind für Theer- und Petroleumfeuerung dieselben, über das Stadium der Versuche längst hinaus und finden vielfach und meist da, wo Kohle theuer, Petroleum aber billig ist, eine zufriedenstellende praktische Anwendung. Die Vorrichtungen sind sehr einfache, können an jedem Dampfkessel leicht und mit verhältnismäßig geringen Kosten angebracht werden, arbeiten sicher und erfordern keine stetige Ueberwachung.

Die Zerstäubungsapparate fördern gleichzeitig die nöthige Verbrennungsluft. Durch richtige Einstellung dieser Vorrichtungen wird eine vollständige Verbrennung des Petroleums herbeigeführt und jede Rußbildung durchaus vermieden. Nach den gemachten Erfahrungen rechnet man, daß 1 Liter = 0,82 k russische Petroleumrückstände (Naphtha) etwa 9500 nutzbare W. E. entwickelt und daß dabei 1 qm Kesselheizfläche 15 000 W. E. in nutzbarer Verdampfung aufnimmt. Je nach Größe der Kessel werden ein oder zwei Zerstäuber angebracht. Die zur Verwendung kommenden Petroleumrückstände kommen aus einem eigens dafür vorzusehenden Behälter, welcher in mäßig warmem Raum aufzustellen ist. Das abgehende Petroleum geht durch ein Reinigungssieb, dann durch einen kleinen mit Dampf geheizten Vorwärmer, und von diesem direkt in den Zerstäuber, welcher schon mit $\frac{1}{10}$ Atm. Dampfdruck zu voller Thätigkeit gelangt. Ueberhaupt soll Dampf von höchstens $\frac{2}{10}$ Atm. Ueberdruck zu diesem Zweck verwendet werden. Da wo der Petroleumbehälter genügend warm steht, kann der Vorwärmer wegfallen. Der Zerstäuber wird einfach in die Feuerthür oder in eine an deren Stelle angebrachte Luftbüse eingesetzt, welche Schieber zur Regulirung des Luftzutrittes hat und diese Vorrichtungen kosten einschl. zweier Ventile und eines Siebtopfes mit zwei Sieben, aber ohne Vorwärmer, 75 Mark. Der Vorwärmer selbst kostet ebenfalls 75 Mark. Im Feuerungsraum des Kessels hat beim Betriebe dieser Feuerung nichts weiter zu geschehen, als daß der Rost mit feuerfesten Steinen und allenfalls einer Schlackenschicht derart abgedeckt wird, daß an dieser Stelle Luft nicht mehr eintreten kann. Die nöthigen schmiedeeisernen Rohre für die Dampfzuleitung haben 10—13 mm, die für die Petroleumzuleitung 40 mm Durchmesser.

Die in solcher Weise in Betrieb befindlichen Feuerungsanlagen haben sich bisher vorzüglich bewährt und Betriebsstörungen sind nie eingetreten, einer Wartung bedürfen sie so gut wie gar nicht. Die Anbringung aller Vorrichtungen kann, wenn sie in der Fabrik vorhanden, in einigen Stunden fertig sein,*) daher jedenfalls für bringende Fälle gute Hülfe leisten.

*) Nach Mittheilungen von J. Görz (Deutsche Zuckerindustrie 1889, Nr. 27, 1. Beilage) werden derartige Anlagen von Schäffer & Waller in Berlin SW ausgeführt, auch Prospekte mitgetheilt und weitere Auskunft erteilt.

Bezüglich des Anzündens einer solchen Feuerung ist noch zu erwähnen, daß der Zuführung des Brennstoffs diejenige des Dampfes vorangehen muß, hingegen muß beim Verlöschen erst der Brennstoffzufluß abgestellt werden, und darauf erst der Dampf, da sonst leicht explosionsfähige Gase aus dem Brennstoff in Berührung mit den heißen Kesselwandungen bei Luftzutritt auftreten könnten.

Der beschriebene Perstäuber ermöglicht, daß sofort eine breite Flamme entsteht, und daß die Bildung der für die Kesselwandungen so schädlichen Stichtlamme vermieden wird. Es ist nothwendig, die Luftzuführung so zu leiten, daß auch rings um den ganzen Flammenkegel, kaum bis auf ein Drittel der Flamme, eine Luftschicht vorhanden ist, welche zur Aufnahme der direkten Wärme dient, da sonst durch die hohe Verbrennungswärme der flüssigen Kohlenwasserstoffe die Kesselwandungen zu sehr angegriffen würden. Bei den jetzt gebräuchlichen Apparaten werden mit gleichen Gewichten Kohle und flüssigen Heizstoffen verdampft 4 : 7, das heißt, wenn durch Steinkohle eine 8fache Verdampfung erzielt wird, so giebt Del etwa 13,7—14fache Verdampfung; es hat sich im Mittel von vielen genau angeführten Versuchen eine Verdampfung von 13,75 k Wasser durch 1 k Del ergeben. Bei der Schätzung des einen oder anderen Brennstoffes darf aber nicht nur das absolute Verdampfungsvermögen in Betracht gezogen werden, sondern auch die Wärmemenge, welche nutzbar gemacht werden kann und welche bei flüssigen Brennstoffen verhältnißmäßig viel höher ist. Denn es ist bei richtig eingerichteter und gut arbeitender Feuerung mit flüssigen Stoffen kein Luftüberschuß nothwendig und es entweichen aus dem Schornstein nur reine Verbrennungsgase, kein Rauch und keinerlei unausgenützte Verbrennungsluft. Es erhöht sich bei Verwendung von flüssigen Heizmaterialien auch der Nuzeffekt des Kessels selbst; während derselbe bei Steinkohlenfeuerung etwa nur 50 % des theoretischen Wertes beträgt, erreicht derselbe bei Feuerung mit flüssigen Stoffen etwa 80 %; es ist mithin hierdurch die Möglichkeit gegeben, bei einer bestehenden Kesselanlage, welche dem gesteigerten Dampfverbrauch bei Heizung mittelst Kohlen nicht genügt, ohne Neuanlage von Kesseln nur durch den Uebergang zu flüssigen Heizstoffen die Dampferzeugung um mehr als die Hälfte zu erhöhen.

Die Kosten der flüssigen Heizmaterialien stellen sich nun etwa folgendermaßen: in Oaku kosten die Rückstände der Petroleumdestillation etwa 4 — 5 Mark die Tonne oder die 100 k etwa 50 Pfg., die in Deutschland etwa in Betracht kommenden Oele, als rohes Kreosotöl,

Gasttheer etc. sind mit etwa 2—3 Mark für 100 k zu bewertben. Im Vergleich mit anderen Brennmaterialien ergaben sich bei vergleichenden Versuchen folgende Verhältnisse:

Es wurden verbraucht:

erbige Braunkohle	Steinkohle	Kreosotöl	Gasttheer
800	338	298	230

die Brennmaterialien kosten:

3,6 Mark	6,93 Mark	5,96 Mark	6,90 Mark.
----------	-----------	-----------	------------

Diese Zahlen zeigen, daß, abgesehen von Fällen bringender Ausbülfe, in denen es auf die Kosten des Brennstoffes nicht ankommt, selbstverständlich diejenigen Fabriken, welche erdige Braunkohlen zur Verfügung haben, auf kein anderes Heizmaterial übergehen werden, hingegen kann es für andere von den Braunkohlengruben entferntere Fabriken, bei denen die Frachtverhältnisse in Betracht zu ziehen sind, vielleicht vortheilhafter sein, zur Heizung mit flüssigen Materialien überzugehen, namentlich wenn man bei sonst gleichen Unkosten die große Annehmlichkeit der Verwendung der flüssigen Heizmaterialien in Betracht zieht. Letztere ermöglichen Ersparung an Heizern, gestatten eine ganz gleichmäßige leicht zu regelnde Heizung, liefern mithin stetigen Druck im Kessel bei gleichmäßiger Dampfenahme, geben keinen Rauch und keine Flugasche, und ergeben, wie erwähnt, eine bessere Ausnukung der vorhandenen Kesselanlage.

V. Eigenschaften des Dampfes.

Die Wirkung der Wärme ist im Allgemeinen zweifacher Art: erstens werden die Körper durch Wärmezunahme ausgebehnt, durch Wärmeabnahme zusammengezogen (das Wasser nur bei Temperaturen über $+ 4^{\circ}$, von dem Verhalten unterhalb dieser Temperatur soll hier nicht die Rede sein) und zweitens wird ihr (Aggregat-) Zustand durch die Wärme verändert. Feste Körper werden durch Erhitzen flüssig, flüssige werden dampfförmig.

Den Uebergang eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Zustand nennt man Schmelzen. Zum Schmelzen eines Körpers ist die Herstellung eines bestimmten Temperaturgrades erforderlich. Diesen Grad nennt man den Schmelzpunkt, er ist für die verschiedenen Körper verschieden, für dieselben Körper aber stets der gleiche.

Beispielsweise schmilzt Schmiedeeisen bei 1600° , Gußeisen bei 1200° , Kupfer bei 1050° , Blei bei 325° , Zinn bei 220° , Schwefel bei 111° , Talg bei 40° , Eis bei 0° , Quecksilber bei $- 39^{\circ}$.

Wenn ein Körper den Schmelzpunkt erreicht hat, so muß, um ihn zum Schmelzen zu bringen, noch eine weitere Menge Wärme zugeführt werden, welche seine Temperatur aber nicht erhöht, sondern ihn in Flüssigkeit von

derselben Temperatur verwandelt, und welche während des Flüssigwerdens verschluckt oder latent wird. Diese Wärme nennt man die Schmelzwärme. Diese Erscheinung kann wie folgt erkannt werden.

1 k Wasser von 0° (nicht Eis) mit 1 k Wasser von 80° gemischt, giebt in runder Zahl 2 k Wasser von der mittleren Temperatur, also von 40° .

Dagegen liefert 1 k Eis (oder Schnee) von 0° mit 1 k Wasser von 80° gemischt, 2 k Wasser von 0° .

Es wird also bei dieser Verflüssigung des einen Kilogrammes Eis (festen Wassers) soviel Wärme verschluckt, gebunden oder latent, oder am Thermometer nicht bemerkbar, wie genügt haben würde, um 2 k flüssiges Wasser von 0° auf 40° oder 1 k von 0° auf 80° zu erwärmen. Es sind dies, nach der Begriffsbestimmung S. 2 80 W. E. oder Kalorien. D. h. also es wird von 1 k Eis von 0° beim Uebergang in den flüssigen Zustand (beim Schmelzen) zu Wasser von ebenfalls 0° eine Wärmemenge (Schmelzwärme) verschluckt oder gebunden (latent), welche 80 W. E. oder Kalorien (c) beträgt.

(In ähnlicher Weise wird auch Wärme gebunden, wenn der Uebergang des festen in den flüssigen Zustand nicht durch Schmelzen, sondern durch Auflösen, geschieht.)

Diese gebundene Wärme ist nicht verschwunden, sondern in dem flüssigen Körper, zu dessen Natur sie gehört, weiterhin enthalten, und bleibt, wenn auch augenblicklich nicht fühlbar, in demselben, so daß, wenn der flüssige Körper wieder fest wird, erstarrt, dieselbe wieder frei wird und nun gemessen werden kann.

Die zweite Veränderung des Körperzustandes ist der Uebergang der flüssigen Körper in gas- oder dampfförmige, wobei ebenfalls eine Bindung von Wärme — der Dampfwärme — stattfindet.

Das Allgemeine dieses Vorgangs ist bereits zu Anfang (S. 2 ff.) erwähnt worden. Der Uebergang der Flüssigkeit in Dampf — im besonderen der des uns beschäftigenden Wassers in Wasserdampf — findet entweder nur an der Oberfläche der Flüssigkeit statt und heißt dann Verdunstung, welche bei jeder Temperatur vor sich geht, oder es geschieht im Innern der Flüssigkeit und heißt dann Sieden oder Kochen (Verdampfung). Diese findet nur bei einer bestimmten Temperatur, nämlich dem sogenannten Siedepunkt, statt und diese ist abhängig einerseits von der Natur der Flüssigkeit, andererseits von dem auf der Oberfläche derselben lastenden Drucke.

Außer der Erwärmung bis zum Siedepunkte ist zum Sieden (ebenso auch beim Verdunsten) noch eine gewisse Wärmemenge erforderlich, welche zur Veränderung des (Aggregat-) Zustandes verbraucht wird, und welche

von dem siedenden (wie auch von dem verdampfenden) Körper verschluckt, gebunden wird; diese Wärme ist die Dampfwärme oder die latente Wärme und entspricht der beim Schmelzen der flüssigen Körper gebundenen Wärme (s. oben).

Der Siedepunkt beträgt beispielsweise für Zink 930° , Schwefel 450° , Quecksilber 360° , Schwefelsäure 325° , Wasser 100° , Alkohol 78° , Aether 35° .

Beim Sieden (Kochen, Verdampfen) bildet sich der Dampf im Innern, entweicht in Bläschen oder Dampfblasen und verursacht das Aufwallen der Flüssigkeit. Hierzu muß der Dampf eine gewisse Spannung haben. Darunter versteht man den Druck, welchen der Dampf vermöge seiner Ausdehnbarkeit, d. h. vermöge der lebendigen Kraft seiner Theilchen auf seine Umgebung, sowie in sich selbst ausübt.

Die Spannung des Dampfes ist beim Sieden gleich dem äußern Drucke, welcher bei offenen Gefäßen der Druck der Atmosphäre ist, wie er durch die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer gemessen wird und zwar versteht man unter einer Atmosphäre Druck denjenigen, welcher einem Quecksilberstand von 760 mm entspricht.

Bei geschlossenen Gefäßen steigt die Spannung mit der Temperatur und beträgt beispielsweise für Wasserdampf rund

bei 100°	1	Atmosphäre,
" 120°	2	Atmosphären,
" 135°	3	"
" 185°	4	"
" 200°	16	"

Wird der auf dem Wasser lastende Druck vermindert, indem man etwa den Raum über dem Wasser im geschlossenen Gefäße mit einer Luftpumpe in Verbindung setzt und mehr und mehr „luftleer“ macht, so sinkt die Spannung des Dampfes und damit der Siedepunkt; es beträgt beispielsweise beim

Siedepunkt 100°	die Dampfs- spannung	760 mm	Quecksilber,
" 99°	"	733	" "
" 90°	"	525	" "
" 60°	"	149	" "
" 50°	"	92	" "

Die weiter unten folgende Tafel (S. 36, 37) enthält die betreffenden Ziffern für Temperaturen von 0 bis $+180^{\circ}$.

Das beim Verdampfen stattfindende Verschlucken oder Binden von Wärme kann man nicht in derselben einfachen Weise anschaulich machen, wie die entsprechende Erscheinung beim Schmelzen des Eises, wohl aber in folgender Art:

Man bringt in einem Gefäße, welches die freie Ableitung des Dampfes gestattet, Wasser auf 100° und dann zum Sieden; man wird, um von hier ab 1 k (= 1 Liter) Wasser in Dampf zu verwandeln, die Erhitzung weiter fortsetzen und eine verhältnißmäßig große Menge Wärme auf das siedende Wasser übertragen müssen, ohne daß dieses oder der entweichende Dampf eine höhere Temperatur als 100° annimmt.

Läßt man den Dampf mittelst einer Röhre oder Schlange durch Wasser von 0° gehen, so daß er seine Wärme an dieses abgeben kann, so kann man 5,37 k dieses kalten Wassers auf 100° erhitzen, während zugleich der Dampf wieder zu 1 k Wasser von 100° verdichtet wird.

Es werden sonach aus dem einen Kilo Dampf soviel W. E. oder Kalorien frei, wie zur Erwärmung von 537 k Wasser um 1° (s. S. 3) erforderlich sind, während die 100 Kalorien eigner Wärme, welche zur Erhitzung des 1 k Wassers auf 100° nötig waren, noch im kondensirten Wasser vorhanden bleiben. Das Kilo Dampf hat also 537 Kalorien durch seine Kondensation zu Wasser von 100° frei abgegeben; man könnte damit ebensowohl, statt 5,37 k Wasser um 100° , die doppelte Menge um die Hälfte, 10,74 k um 50° , erhitzen u. s. w. Diese Wärmemenge ist natürlich dieselbe, welche bei der Bildung von 1 k Dampf von 100° aus Wasser von 100° aufgenommen (gebunden oder verschluckt, latent) wurde, die Dampfwärme, die bei der Kondensation des Dampfes zu Wasser von 100° wieder frei und fühlbar geworden ist.

Der Wärme-Gehalt des Dampfes bei 100° beträgt an Eigen- oder Flüssigkeitswärme 100° und an gebundener oder Dampfwärme 537° , zusammen 637° C. oder W. E. Gesamtwärme. Dampf von niedrigerer Temperatur und Spannung hat weniger Eigen-, aber dagegen höhere Dampfwärme, der Dampf von höherer Temperatur dagegen mehr Eigen- und weniger Dampfwärme. Es beträgt z. B. die Dampfwärme für Dampf von 90° $90 + 544 = 634^{\circ}$ C. Die Gesamtwärme des Dampfes ist für technische Anwendung in den betreffenden Grenzen hinreichend genau als feststehend, d. h. bei allen Temperaturen als 637 W. E. anzunehmen.

Bei allen Verdampfungen durch Dampf wird nur die Dampfwärme, nicht die Eigenwärme des Dampfes benützt, da sie, ohne daß eine Abkühlung des Erhitzungsmittels vorkommt, 5,37 mal so viel beträgt als die Eigenwärme und also viel größere Wirkungen hervorzubringen im Stande ist. Mit Dampf von 100° aus 1 k Wasser vermag man nach dem Gesagten zwar 5,37 k Wasser auf 100° zu erhitzen, aber doch nur wieder 1 k Wasser von 100° in Dampf zu verwandeln, weil nämlich hierzu ebensoviel Wärme verschluckt werden muß, wie jenes 1 k Dampf enthielt. Es kann also nicht mehr

Dampf erzeugt werden, als gleichzeitig verdichtet wird, und läßt man durch ein unter dem Wasser geöffnetes Rohr Dampf in das Wasser strömen, so wird dieses zunächst zum Sieden gebracht, während sich der Dampf verdichtet und seine gebundene Wärme frei wird. Bei weiterem Einströmen wird dann durch die Dampfbildung genau ebensoviel Wärme verbraucht, wie durch die Verdichtung zu Wasser von 100° frei wird, d. h. es kann keine Verminderung des verdampfenden Wassers auf diesem Wege stattfinden, da das verdampfte Wasser stets durch die gleiche Menge ersetzt wird, d. h. in anderen Worten, der Dampf strömt unverändert durch das Wasser von 100° hindurch, in welchem er sich nicht verdichten kann.

Anders bei im Wasser geschlossener Schlange, d. h. in dem Falle, wo das aus dem Heißdampf sich verdichtende Wasser nicht in das verdampfende Wasser gelangen kann, sondern aus dem heraustretenden Ende der Schlange abfließt. Hier giebt der sich verdichtende Dampf stets seine Dampfwärme an das Wasser ab, welches im Maße der Dampfbildung sich vermindert, weil das Heißdampfwasser nicht vom Wasser aufgenommen wird.

Bei Dampf von anderer Temperatur, als 100° findet folgendes statt: Hat derselbe beispielsweise 145° (etwa 4 Atm. Spannung), so sind:

$$\begin{array}{r} 145 \text{ W. E. frei und} \\ 492 \text{ W. E. gebunden} \\ \hline 637 \text{ W. E.} \end{array}$$

und es werden bei der Verdichtung zu Wasser von 100° $637 - 100$ oder wie bei jedem anderen Dampfe*) 537 W. E. frei. Die Wirkung auf Wasser von 100° ist also ganz dieselbe, wie bei Dampf von niedriger Spannung, nur ist die Wirkung rascher, weil in Folge des größeren Wärmeunterschiedes mehr Wärme in derselben Zeit übertritt. Es findet also hierbei keine Dampfersparniß oder vermehrte Verdampfung statt, diese geschieht nur schneller. Ähnliches geschieht, wenn man bei Dampf von 100° oder darunter den Druck über dem verdampfenden Wasser verändert; dadurch erniedrigt sich dessen Siedepunkt, der größere Temperaturunterschied beschleunigt den Uebertritt der Wärme, aber die aus dem Dampfe aufgenommene verschluckte Wärme und mithin die gebildete Dampfmenge bleibt dieselbe.

Mit niedrigerer Dampftemperatur (des weniger als 1 Atm. Spannung besitzenden Dampfes) kann man also verdampfen, wenn der Druck auf dem zu verdampfenden Wasser vermindert wird, aber Wärme kann dadurch nicht gespart werden, ebensowenig wie bei Anwendung höher gespannten heißeren Dampfes.

*) Technisch hinreichend genau, siehe S. 31.

Endlich mag noch erwähnt werden, daß der vom Dampf eingenommene Raum (das Volumen des Dampfes) im umgekehrten Verhältniß zum Druck oder zur Spannung des Dampfes steht, d. h. also daß ein Kubikmeter Dampf von gewöhnlicher (1 Atm.) Spannung bei 2 Atm. $\frac{1}{2}$ Kubikmeter, bei 4 Atm. $\frac{1}{4}$ Kubikmeter, dagegen bei $\frac{1}{2}$ Atm. 2 Kubikmeter, bei $\frac{1}{10}$ Atm. 10 Kubikmeter Raum einnimmt. Dieses Verhältniß, welches bei Luft das gleiche ist, erklärt die Täuschung, welche leicht vorkommt, wenn Wasser bei niedriger Spannung verköcht und seine Menge trotz der großen entwickelten Dampf-Raummenge nur wenig abnimmt.

In abgerundeten Zahlen wiegt bei 1 Atm. Spannung:

1 Kubikmeter Dampf 0,6059 k oder nahe 0,6 k,

1 Kubikmeter Wasser 1000 k,

1 k Dampf nimmt den Raum von $\frac{1}{0,6} = 1,7$ Kubikmeter ein,

1 k Wasser = 1 Liter = 0,001 Kubikmeter,

1 Liter Wasser = 1 k liefert (bei gewöhnlicher Spannung = 1 Atm.)

1 k = 1,7 Kubikmeter = 1700 Liter Dampf.

Der vom Dampf bei dieser Spannung eingenommene Raum ist also gleich dem 1700fachen des Wassers; bei

$\frac{1}{2}$ Atm. vergrößert sich der Raum auf das Doppelte oder auf 3400 Liter, bei

$\frac{1}{10}$ Atm. auf 17000 Liter.

Dagegen vermindert sich der Raum bei

2 Atm. auf 850 Liter, bei

10 Atm. auf 170 Liter.

Durch diese Zahlen soll nur der eine Umstand, die Spannungsveränderung und ihre Wirkung anschaulich gemacht werden. In Wirklichkeit aber kommt hier noch eine Anzahl anderer Einwirkungen zur Geltung, so daß die Veränderungen des vom Dampfe eingenommenen Raumes sich nicht so einfach darstellen, so zwar, daß sie sich nicht auf theoretischem Wege berechnen lassen, sondern durch Versuche bestimmt worden sind. Die angegebenen einfachen Verhältnisse genügen zum allgemeinen Verständniß die technischen Vorkommnisse, für genauere Berechnungen müßten die noch folgenden Ergebnisse der betreffenden Versuche zu Grunde gelegt werden.

Nachstehende Tabelle enthält die Spannungen p für gesättigten Wasserdampf in Atmosphären, die dazugehörigen Temperaturen t nach Celsius, die entsprechenden spezifischen Volumina v (d. i. die Anzahl der Kubikmeter Dampf, welche aus 1 k Wasser erhalten wird) und die Gewichte G von 1 Kubikmeter Dampf.

1. Dampfverhältnisse.

www.libtool.com.cn

p	t	v	G	p	t	v	G
0,072	40	20,347	0,0492	3,5	140,4	0,538	1,859
0,125	51	11,971	0,0835	4	145	0,476	2,101
0,25	66	6,114	0,1636	4,5	149,1	0,428	2,339
0,50	82	3,206	0,3119	5	153,3	0,389	2,574
0,75	92	2,224	0,4496	6	160	0,328	3,044
1,00	100	1,696	0,5896	7	166,5	0,286	3,494
1,25	106,6	1,381	0,7239	8	172,1	0,254	3,941
1,50	112,4	1,169	0,8554	9	177,4	0,228	4,381
1,75	117,1	1,014	0,9832	10	182	0,208	4,817
2	121,5	0,896	1,1165	11	186	0,190	5,256
2,25	125,5	0,806	1,2329	12	190	0,176	5,683
2,5	128,8	0,732	1,3664	13	193,7	0,164	6,107
2,75	132,1	0,671	1,4906	14	197,2	0,153	6,527
3	135	0,619	1,6145	15	200,2	0,144	6,944

VI. Neuere Annahmen für den Atmosphärendruck.

Es ist oben angegeben worden, daß man unter dem Druck der Atmosphäre denjenigen versteht, welcher einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe das Gleichgewicht hält. Dieser sogenannte mittlere oder normale Atmosphärendruck liegt den vorhergehenden Tabellen zu Grunde. Bei diesem Drucke siedet das Wasser bei 100° C., d. h. die Anzeige des Thermometers in unter diesem Luftdruck siedendem Wasser ist eben mit 100° bezeichnet worden.

Berechnet man nun das Gewicht, welches hierbei auf einem Quadratcentimeter der Wasseroberfläche lastet, so findet man dasselbe gleich dem von 76 cbcm Quecksilber oder = 1,033 k. Dieses Gewicht ist von 1 k so wenig verschieden, daß man neuerdings dahin übereingekommen ist, statt der Quecksilbersäule von 760 mm den Atmosphärendruck als gleich dem Druck von 1 k auf 1 qcm anzunehmen. Diese Annahme entspricht einem Barometerstand von nicht 760, sondern von 735,5 mm, und das siedende Wasser zeigt hierbei nicht 100° , sondern $99,09^{\circ}$ C. Trotz dieser Abweichungen bietet aber für manche Berechnungen die Annahme von 1 Atmosphäre = 1 k auf 1 qcm vielerlei Bequemlichkeiten. So z. B. berechnet sich der Druck auf die Wand eines Kessels bei 5 Atmosphären Druck sehr einfach zu $5 \cdot 10,000 = 50,000$ k.

Neuerdings sind auch die meisten Dampfdruckmeßgeräte auf Grund der neuen Atmosphäreninheit bezeichnet und tragen dann die Aufschrift „Kilogramm pro Quadratcentimeter“, welche Angabe bei solcher Grundlage stets ausdrücklich zu machen ist.

Es ergeben sich natürlich dann für die entsprechenden Verhältnisse des Dampfes Abweichungen von den Zahlen der älteren Tabellen, sowie die Möglichkeit von mancherlei Irrthümern und Verwechslungen. Wir führen die Spannungen, Siedepunkte und sonstigen Dampfverhältnisse beider Annahmen in folgenden Tabellen, unter Bezeichnung der bezüglichen Normal-Druck-Annahme, auf.

2. Tabelle der Siedepunkte des Wassers bei verschiedenen Spannungen.
Ausgedrückt in Kilo auf 1 qcm (1 Atm. = 1 k auf 1 qcm).

Dampfspannung k pro qcm	Siedepunkt Cels.	Dampfspannung k pro qcm	Siedepunkt Cels.	Dampfspannung k pro qcm	Siedepunkt Cels.
0,1	45,58	1,6	112,70	7,5	166,82
0,2	59,76	1,7	114,54	8,0	169,49
0,3	68,42	1,8	116,29	8,5	171,98
0,4	75,47	1,9	117,97	9,0	174,38
0,5	80,90	2,0	119,57	9,5	176,68
0,6	85,48	2,5	126,73	10,0	178,89
0,7	89,47	3,0	132,80	10,5	181,01
0,8	93,00	3,5	138,10	11,0	183,05
0,9	96,19	4,0	142,82	11,5	185,03
1,0	99,09	4,5	147,09	12,0	186,94
1,1	101,76	5,0	150,99	12,5	188,78
1,2	104,24	5,5	154,59	13,0	190,57
1,3	106,55	6,0	157,94	13,5	192,31
1,4	108,72	6,5	161,08	14,0	194,00
1,5	110,76	7,0	164,03	14,5	195,64

Bemerkung. Die in dieser Tabelle angegebenen Dampfspannungen sind nicht mit den Manometerangaben zu verwechseln, da die Manometer in der Regel den Ueberdruck des Dampfes über den der Atmosphäre anzeigen. Ist z. B. letzterer 4 Atmosphären, so wäre die wirkliche Spannung bei 0° und 73,55 cm Barometerstand 5 Atmosphären, also der entsprechende Siedepunkt 150,99° Celsius.

3. Tabelle über die Spannung des gesättigten Wasserdampfes von 0° bis 180° Cels. unter Annahme von 1 Atm. = 760 mm Quecksilber.
(Zu Seite 30.)

Temper. des Dampf. in Grad. C.	Spannung des Dampfes		Temper. des Dampf. in Grad. C.	Spannung des Dampfes	
	in Millimeter Quecksilber- säule abf. Druck.	in Atmosph. absolut.		in Millimeter Quecksilber- säule abf. Druck.	in Atmosph. absolut.
0	4,60	0,006	44	67,79	0,089
1	4,94	0,006	45	71,39	0,093
2	5,30	0,007	46	75,15	0,098
3	5,68	0,007	47	79,09	0,104
4	6,09	0,008	48	83,20	0,109
5	6,53	0,008	49	87,49	0,115
6	6,99	0,009	50	91,98	0,121
7	7,49	0,009	51	96,66	0,127
8	8,01	0,010	52	101,54	0,133
9	8,57	0,011	53	106,63	0,140
10	9,16	0,012	54	111,94	0,147
11	9,79	0,012	55	117,47	0,154
12	10,45	0,013	56	123,24	0,162
13	11,16	0,014	57	129,25	0,170
14	11,90	0,015	58	135,50	0,178
15	12,69	0,016	59	142,01	0,186
16	13,53	0,017	60	148,79	0,195
17	14,42	0,019	61	155,83	0,205
18	15,35	0,020	62	163,17	0,214
19	16,34	0,021	63	170,79	0,224
20	17,39	0,022	64	178,71	0,235
21	18,49	0,024	65	186,94	0,246
22	19,65	0,025	66	195,49	0,257
23	20,88	0,027	67	204,37	0,268
24	22,18	0,029	68	213,59	0,281
25	23,55	0,031	69	223,16	0,293
26	24,98	0,032	70	233,09	0,306
27	26,50	0,034	71	243,39	0,320
28	28,10	0,037	72	254,07	0,334
29	29,78	0,039	73	265,14	0,348
30	31,54	0,041	74	276,62	0,364
31	33,40	0,044	75	288,51	0,379
32	35,35	0,046	76	300,83	0,395
33	37,41	0,049	77	313,60	0,412
34	39,56	0,052	78	326,81	0,430
35	41,82	0,055	79	340,48	0,448
36	44,20	0,058	80	354,64	0,466
37	46,69	0,061	81	369,28	0,485
38	49,30	0,064	82	384,43	0,505
39	52,03	0,068	83	400,10	0,526
40	54,90	0,072	84	416,29	0,547
41	57,91	0,076	85	433,04	0,569
42	61,05	0,080	86	450,34	0,592
43	64,34	0,084	87	468,22	0,616

Temper. des Dampf. in Grad. C.	Spannung des Dampfes		Temper. des Dampf. in Grad. C.	Spannung des Dampfes	
	in Millimeter Quecksilber= säule abf. Druck.	in Atmosph. absolut.		in Millimeter Quecksilber= säule abf. Druck.	in Atmosph. absolut.
88	486,68	0,640	102	861,1	
89	505,75	0,665	104	875,4	
90	525,45	0,691	106	938,5	
91	545,77	0,718	108	1003	
92	566,75	0,745	110	1075	1,5
93	598,40	0,774	115	1269	
94	610,74	0,803	120	1401	2,0
95	633,77	0,833	135	2354	3,0
96	657,53	0,865	145	3326	4,0
97	682,02	0,897	160	4652	6,0
98	707,28	0,930	170	5962	8,0
99	733,30	0,964	180	7546	10,0
100	760,00	1,000			

4. Haupttabelle für gesättigte Wasserdämpfe nach Zeuner.*)
 (1 Atm. = 760 mm Quecksilber.)

Spannung in		Temp. in Graden Cels.	Flüssig- keits- wärme (q)	Innere Ver- dampfungs- ob. latente Wärme (e)	Äußere Ver- dampfungs- wärme (A p u)	Spezifisches Gewicht, d. h. Ge- wicht eines Kubikmeters in Kilogramm
At- mosph.	Kilogr. auf 1 □cm					
0,1	0,10334	46,2	46,3	538,8	35,5	0,0687
0,2	0,20668	60,5	60,6	527,6	36,8	0,1326
0,3	0,31002	69,9	69,7	520,4	37,6	0,1945
0,4	0,41336	76,3	76,5	515,1	38,2	0,2553
0,5	0,51670	81,7	82,0	510,8	39,6	0,3153
0,6	0,62004	86,3	86,7	507,1	39,0	0,3744
0,7	0,72338	90,3	90,7	504,0	39,4	0,4330
0,8	0,82672	93,9	94,3	501,1	39,7	0,4910
0,9	0,93006	97,1	97,5	498,6	40,0	0,5487
1,0	1,03340	100,0	100,5	496,3	40,2	0,6059
1,1	1,13674	102,7	103,2	494,2	40,4	0,6628
1,2	1,24008	105,2	105,7	492,2	40,6	0,7194
1,3	1,34342	107,5	108,1	490,4	40,8	0,7757
1,4	1,44672	109,7	110,3	488,6	41,0	0,8317
1,5	1,55010	111,7	112,4	487,0	41,1	0,8874
1,6	1,65344	113,7	114,4	485,5	41,3	0,9430
1,7	1,75678	115,5	116,3	484,0	41,5	0,9983
1,8	1,86012	117,3	118,1	482,6	41,6	1,0534
1,9	1,96346	119,0	119,8	481,3	41,7	1,1084
2,0	2,06680	120,6	121,4	480,0	41,9	1,1631
2,1	2,17014	122,1	123,0	478,8	42,0	1,2177
2,2	2,27348	123,6	124,5	477,6	42,1	1,2721
2,3	2,37682	125,1	126,0	476,5	42,2	1,3264
2,4	2,48016	126,5	127,4	475,4	42,3	1,3805
2,5	2,58350	127,8	128,7	474,3	42,4	1,4345
2,6	2,68684	129,1	130,1	473,3	42,5	1,4883
2,7	2,79018	130,3	131,3	472,3	42,6	1,5420
2,8	2,89352	131,6	132,6	471,3	42,7	1,5956
2,9	2,99686	132,8	133,8	470,4	42,8	1,6490
3,0	3,10020	133,9	135,0	469,5	42,9	1,7024
3,1	3,20354	135,0	136,1	468,6	43,0	1,7556
3,2	3,30688	136,1	137,2	467,7	43,0	1,8088
3,3	3,41022	137,2	138,3	466,9	43,1	1,8618
3,4	3,51356	138,2	139,4	466,1	43,2	1,9147

*) Die gesammte im Dampfe vorhandene Wärme ist = $q + e + A p u$.

Spannung in		Temp. in Graden Cels.	Flüssig= fett= wärme (q)	Innere Ver= dampfsg.= ob. latente Wärme (q)	Äußere Ver= dampfsg.= wärme (A p u)	Spezifisches Gewicht, d. h. Ge= wicht eines Kubimeters in Kilogramm
At= mosph.	Kilogr. auf 1 □cm					
3,5	3,61690	139,2	140,4	465,3	43,3	1,9676
3,6	3,72024	140,2	141,4	464,5	43,3	2,0203
3,7	3,82358	141,2	142,4	463,7	43,4	2,0729
3,8	3,92692	142,1	143,4	463,0	43,5	2,1255
3,9	4,03026	143,1	144,4	462,2	43,5	2,1780
4,0	4,13360	144,0	145,2	461,5	43,6	2,2303
4,1	4,23695	144,9	146,2	460,8	43,7	2,2826
4,2	4,34028	145,8	147,1	460,1	43,7	2,3349
4,3	4,44362	146,6	148,0	459,4	43,8	2,3871
4,4	4,54696	147,5	148,9	458,8	43,8	2,4391
4,5	4,65030	148,3	149,7	458,1	43,9	2,4911
4,6	4,75364	149,1	150,5	457,5	43,9	2,5430
4,7	4,85698	149,9	151,4	456,8	44,0	2,5949
4,8	4,96032	150,7	152,2	456,2	44,1	2,6467
4,9	5,06366	151,5	153,0	455,6	44,1	2,6984
5,0	5,16700	152,2	153,7	455,0	44,2	2,7500
5,1	5,27034	153,0	154,5	454,4	44,2	2,8016
5,2	5,37368	153,7	155,3	453,8	44,3	2,8531
5,3	5,47702	154,4	156,0	453,2	44,3	2,9046
5,4	5,58036	155,1	156,7	452,7	44,4	2,9560
5,5	5,68370	155,8	157,5	452,1	44,4	3,0073
5,6	5,78704	156,5	158,2	451,6	44,5	3,0586
5,7	5,89038	157,2	158,9	451,0	44,5	3,1098
5,8	5,99372	157,9	159,9	450,5	44,6	3,1610
5,9	6,09706	158,6	160,3	450,0	44,6	3,2122
6,0	6,20040	159,2	160,9	449,5	44,7	3,2632

5. Tabelle für gesättigte Wasserdämpfe nach Fiegner, unter Annahme von
www.libtool.com 1 Atm. = 1 Kilo auf 1 qcm.

Dampfspannung		Tem- peratur t in Graden Cels.	Flüssig- keits- wärme q	Innere latente Wärme q	Äußere latente Wärme A p u	Spez. Volumen v in Kubik- metern pro 1 k	γ Gewicht von 1 qm Dampf in k
β in At- mosphär. = 1 k pro 1 qcm	in Millimeter Quec- silberhöhe						
0,1	73,55	45,58	45,65	539,63	35,12	14,8914	0,0672
0,2	147,10	59,76	59,89	528,35	36,49	7,7364	0,1293
0,3	220,65	68,74	68,93	521,18	37,36	5,2808	0,1894
0,4	294,20	75,47	75,71	515,81	38,00	4,0289	0,2482
0,5	367,76	80,90	81,19	511,48	38,51	3,2666	0,3061
0,6	441,31	85,48	85,82	507,83	38,93	2,7520	0,3634
0,7	514,86	89,47	89,84	504,66	39,29	2,3806	0,4201
0,8	588,41	93,00	93,43	501,85	39,59	2,0994	0,4763
0,9	661,96	96,19	96,64	499,34	39,86	1,8789	0,5322
1,0	735,51	99,09	99,58	497,05	40,10	1,7012	0,5878
1,1	809,06	101,76	102,28	494,90	40,36	1,5565	0,6425
1,2	882,61	104,24	104,79	492,93	40,57	1,4343	0,6972
1,3	956,16	106,55	107,14	491,10	40,76	1,3304	0,7516
1,4	1029,7	108,72	109,34	489,38	40,94	1,2410	0,8058
1,5	1103,3	110,76	111,42	487,76	41,11	1,1631	0,8598
1,6	1176,8	112,70	113,38	486,22	41,27	1,0947	0,9135
1,7	1250,4	114,54	115,25	484,76	41,42	1,0341	0,9671
1,8	1323,9	116,29	117,03	483,38	41,56	0,9800	1,0204
1,9	1397,5	117,97	118,84	481,96	41,69	0,9313	1,0738
2,0	1471,0	119,57	120,37	480,78	41,82	0,8877	1,1265
2,5	1838,8	126,73	127,66	475,11	42,38	0,7198	1,3892
3,0	2206,5	132,80	133,85	470,30	42,85	0,6066	1,6487
3,5	2574,3	138,10	139,27	466,11	43,24	0,5248	1,9055
4,0	2942,0	142,82	144,10	462,38	43,58	0,4630	2,1600
4,5	3309,8	147,09	148,48	459,00	43,88	0,4145	2,4127
5,0	3677,6	150,99	152,48	455,92	44,16	0,3754	2,6636
5,5	4045,3	154,59	156,18	453,07	44,40	0,3433	2,9130
6,0	4413,0	157,94	159,63	450,42	44,63	0,3164	3,1610
6,5	4780,8	161,08	162,85	447,95	44,83	0,2934	3,4078
7,0	5148,6	164,03	165,89	445,62	45,02	0,2737	3,6535
7,5	5516,3	166,82	168,76	443,41	45,20	0,2565	3,8979
8,0	5884,1	169,46	171,49	441,32	45,37	0,2415	4,1416
8,5	6251,8	171,98	174,09	439,33	45,53	0,2281	4,3842
9,0	6619,6	174,38	176,58	437,43	45,67	0,2162	4,6258
9,5	6987,4	176,68	178,96	435,62	45,81	0,2055	4,8668

Dampfspannung		Temperatur t in Graden Cels.	Flüssig- keits- wärme q	Innere latente Wärme q	Äußere latente Wärme A p u	Spec. Volumen v in Kubik- metern pro 1 k	γ Gewicht von 1 qm Dampf in k
β in At- mosphär. = 1 k pro 1 qcm	in Millimeter Queck- silbersäule						
10,0	7355,1	178,89	181,24	433,87	45,95	0,1958	5,1073
10,5	7722,9	181,01	183,44	432,19	46,07	0,1870	5,3463
11,0	8090,6	183,05	185,56	430,58	46,19	0,1791	5,5850
11,5	8458,4	185,03	187,61	429,02	46,31	0,1717	5,8232
12,0	8826,1	186,94	189,59	427,51	46,42	0,1650	6,0606
12,5	9193,9	188,78	191,51	426,05	46,52	0,1588	6,2975
13,0	9561,6	190,57	193,38	424,63	46,62	0,1531	6,5335
13,5	9929,4	192,31	195,18	423,25	46,72	0,1477	6,7692
14,0	10297,1	194,00	196,94	421,92	46,81	0,1428	7,0044
15,0	11032,7	197,24	200,32	419,35	46,99	0,1338	7,4732

www.libtool.com.cn

Zweites Buch.

Die Erzeugung des Dampfes.

I. Verschiedene Systeme der Feuerungen.

Nur die zur Erzeugung von Wasserdampf dienenden Feuerungen sollen hier abgehandelt werden.

Die Dampferzeugung geschieht in geschlossenen metallenen Gefäßen, welche theilweise mit Wasser gefüllt sind und Dampfkessel heißen.

Das Wasser wird in den Dampfkesseln durch äußere Zuführung von Wärme in Dampf verwandelt. Zu dieser Erwärmung benützt man die bei demjenigen chemischen Vorgange frei werdende Wärme, welcher Verbrennung im engeren Sinne heißt, von welcher im Vorhergehenden die Rede gewesen ist.

Um wirtschaftlich, d. h. möglichst vortheilhaft zu heizen, nämlich: um aus den Brennstoffen die größtmögliche Wärmemenge zu gewinnen, müssen die Brennmaterialien zunächst zu möglichst vollkommener und auch vollständiger Verbrennung gebracht werden. Um aber eine vollkommene Verbrennung eines Brennstoffs zu erreichen, müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

1. Es muß die zur Entzündung, d. h. zur Einleitung der Verbrennung erforderliche Temperatur vorhanden sein. Diese, die sogenannte Entzündungstemperatur, liegt für die verschiedenen brennbaren Körper verschieden hoch; für Kohle je nach ihrer Dichtigkeit und Entzündungstemperatur 360° bis 800° und für Wasserstoff und seine Verbindungen mit Kohlenstoff noch höher, bis 1300°. Die letzteren Körper aber sind es gerade, welche wir als Brennmaterialien anwenden.

2. Es muß auch die zur vollständigen Verbrennung nothwendige Menge Sauerstoff vorhanden sein oder dem Brennstoffe ununterbrochen zugeführt werden.

3. Es muß auch eine unmittelbare Berührung des Sauerstoffs mit den Brennstofftheilchen stattfinden oder herbeigeführt werden und

4. es müssen die entstehenden Verbrennungsprodukte und zwar ebenso wohl die gasförmigen als auch die festen Rückstände womöglich stetig entfernt werden, damit neue Sauerstofftheile ungehindert zu den noch nicht verbrannten Brennstofftheilchen treten und ihre Verbrennung bewirken können.

Was nun die erste vorstehender Bedingungen anlangt, so ist dieselbe leicht zu erfüllen. Bei einmal eingeleiteter und fortschreitender Verbrennung findet eine ununterbrochene Entbindung von Wärme statt, die man dem brennenden Körper nur nicht durch vorzeitige Entziehung zu rauben braucht, um die Temperatur auf der nothwendigen Höhe zu erhalten. Ebenso kann, bezüglich der zweiten Bedingung, die Zuführung der genügenden Menge von Sauerstoff, d. h. von atmosphärischer Luft leicht bewirkt werden entweder auf natürlichen oder auf künstlichen Wege.

Schwieriger aber ist die Erfüllung der dritten Bedingung, nämlich die unmittelbare Berührung der zugeführten Sauerstofftheilchen mit allen Theilchen des Brennstoffs, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht.

Könnte man den festen Brennstoff in einer sehr feinen Vertheilung, d. h. in Staub- oder Pulverform zur Anwendung bringen, so müßte doch immer noch vorausgesetzt werden, daß sich die einzelnen Theilchen frei schwebend in der Luft befinden, damit eine unmittelbare Berührung derselben mit den Brennstofftheilchen eintreten könnte. Da nun aber Beides, selbst wenn es ausführbar wäre, wiederum andere Uebelstände herbeiführen würde, so müssen die Brennstoffe vielmehr eine gewisse Stück-Größe haben, einmal, damit sie von dem natürlichen Luftzuge nicht unverbraunt fortgerissen werden und zweitens, damit sie sich so locker aufschichten lassen, daß die Luft durch die freien Räume zwischen den einzelnen Stücken leicht hindurch streichen und zunächst wenigstens mit der Oberfläche der Brennstoffstücke in unmittelbare Berührung kommen kann.

Nun können die Brennstoffstücke aber auch nicht in der Schwebelage erhalten werden — obwohl dies für den ungehinderten, von unten stattfindenden Luftzutritt behufs inniger Berührung allerdings am besten sein würde — und daher muß das Brennmaterial durch Unterstützung von unten getragen werden, also eine Auflagefläche haben. Dies gilt für feste Brennstoffe; bei flüssigen oder gasförmigen ist die Bedingung in der oben angegebenen Weise leicht zu erfüllen und es wird in der That in diesem Falle in solcher Weise die Verbrennung bewirkt (j. s.).

Da die gasförmigen Verbrennungsprodukte bei ihrer hohen Temperatur nur ein geringes spezifisches Gewicht besitzen, haben sie das Bestreben, in der sie umgebenden Luft aufzusteigen, wodurch sie der von unten nachkommenden frischen Luft Platz machen. Hierdurch wird zwar die Berührung

des Brennstoffs mit dem von unten Zutretenden Sauerstoff begünstigt, dieselbe kann aber doch immer nur eine mangelhafte sein, da die Luft bei ihrem Durchzuge durch die Zwischenräume zwischen den Brennstoffstücken nur ihre seitliche Außenfläche bestreichen kann und durch die stützende Auflagefläche gehindert ist, an ihre untere Fläche zu gelangen, während sie durch den aufsteigenden Strom der Verbrennungsprodukte mit fortgerissen, auch nicht mit der oberen Fläche in Berührung treten kann. Indem so nicht jedes Theilchen des festen Brennmaterialstückes Sauerstoff aufnehmen und dadurch zur Verbrennung gelangen kann, so würde die vollständige Verbrennung sehr schwierig sein und viel Zeit erfordern, wenn sie nicht durch die in der Hitze vor der Verbrennung erfolgende Zersetzung der Brennstoffe (mit Ausnahme des Kohls und mancher Anthrazite) unter Bildung gasförmiger Produkte sehr begünstigt würde. Bei der gegenseitigen Durchdringung der Luft mit den brennbaren Gasen verbrennen letztere unter Flammenbildung. Kann sich hierbei die Flamme frei entwickeln, d. h. wird die zur vollkommenen Verbrennung der brennbaren Theile, nothwendige hohe Temperatur der Flamme nicht durch Abkühlung, sei es durch kalte feste Körper oder durch kalte Luft verhindert, so findet eine vollkommene Verbrennung statt, im andern Falle aber entsteht Rauch und Ruß, welche nachträglich in den gewöhnlichen Feuerungen gar nicht mehr zur Verbrennung zu bringen sind und Verluste bereiten.

Wenn es endlich auch praktisch möglich ist, die vierte Bedingung zu erfüllen, d. h. die brennenden Stücke, von welchen die gasförmigen Verbrennungsprodukte ohne unser Zuthun, d. h. durch den natürlichen Luftzug von selbst abziehen, auch mechanisch von den festen Rückständen freizulegen (Asche), so ist dies doch nur unter Herbeiführung von neuen unvermeidlichen Uebelständen erreichbar, die allerdings weniger bedeutend sind, wenn die Menge der festen Rückstände in dem verwendeten Brennstoff meist nur gering ist.

Hieraus dürfte nun wohl zur Genüge hervorgehen, daß es in der Praxis fast unmöglich ist, alle obige Bedingungen ganz zu erfüllen und man sich damit wird begnügen müssen, für ein bestimmtes Brennmaterial sich eine, alle Umstände für den gegebenen Fall möglichst berücksichtigende Feuerungs-Anlage zu schaffen und dieselbe aber auch vernünftig zu benutzen, wobei die Erfahrung stets unsere beste Lehrmeisterin bleiben wird.

Daß es beispielsweise nie ausreichen wird, nur genau diejenige Luftmenge zur Feuerung zuzuführen, welche zur vollkommenen Verbrennung des Brennmaterials theoretisch eben genügt, ist leicht einzusehen; denn bei einer nur dünnen Brennstoffschicht hat die hindurchstreichende Luft weder

Zeit noch Gelegenheit, allen Sauerstoff an den Brennstoff treten zu lassen; bei weiterer blickten Schicht, wo wirklich aller Sauerstoff an den Kohlenstoff treten und eine vollkommene Verbrennung eines Theiles desselben bewirken kann, wird die gebildete Kohlensäure beim Durchgange durch die darüber befindliche Schicht von glühenden Kohlen, wie die Erfahrung lehrt, wieder ganz oder theilweise zu Kohlenoxid reduziert. Findet dieses Kohlenoxid auf seinem Wege nicht wieder freien Sauerstoff, während es noch eine Temperatur besitzt, welche gleich oder höher als seine Entzündungstemperatur ist, um wieder zu Kohlensäure verbrennen zu können, so entweicht es als unbenutztes Brennmaterial durch den Schornstein und führt Verlust herbei.

Führt man sehr viel mehr Luft zu dem Brennmaterial als zur vollkommenen Verbrennung gerade hinreicht, so kann man zwar eine annähernd vollkommene Verbrennung erreichen, es geht dann aber ein Bedeutendes von der Heizwirkung verloren weil eine sehr große Luftmenge unnütz erhitzt werden muß, wodurch viel Wärme verbraucht wird, abgesehen selbst davon, daß auch die Temperatur der Heizgase überhaupt nicht auf die Höhe gebracht werden kann, welche für ihren Heizwerth gerade günstig ist. Der Verlust ist dann ein doppelter, weil Heizgase von niedriger Temperatur nicht nur weniger wirksam sind, sondern auch eine große Menge von Wärme mit der, durch den Luftüberschuß vergrößerten Menge der Heizgase durch den Schornstein entweicht.

Hierdurch erklärt es sich auch, daß der Heiz-Effekt bei einer theilweise unvollkommenen Verbrennung größer sein kann, als bei vollkommener Verbrennung, da die letztere oft nur durch einen sehr großen Luft-Überschuß erzielt werden kann.

Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß, um ein Brennmaterial in unseren Feuerungen vollkommen zur Verbrennung zu bringen, man demselben das $1\frac{1}{2}$ bis Zweifache derjenigen Luftmenge zuführen muß, welche theoretisch zu seiner Verbrennung nothwendig ist. Diejenigen Brennstoffe, welche wir in unseren Feuerungen zu Heizzwecken verwenden, sind*) feste Körper, und sowohl nach ihren physikalischen Eigenschaften wie auch hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung mannichfach verschieden. Sie lassen sich, je nachdem sie bei der trockenen Destillation, d. i. bei Erhitzung ohne Luftzutritt viel oder nur wenig oder keine Gase abgeben, eintheilen in gasreiche und gasarme Brennstoffe.

Holz, Torf, Braun- und Steinkohlen sowie die landwirthschaftlichen und gewerblichen Abfälle sind gasreiche, Anthrazit, Kohls und Holzkohlen sind gasarme Brennstoffe. Letztere, die gasarmen Brennstoffe, können

*) Es sind hier und in der Folge die S. 25 erwähnten flüssigen Brennstoffe nicht berücksichtigt.

unmittelbar zur Verbrennung gebracht werden, sind aber um so schwieriger zu entzünden und zu verbrennen, je dichter, d. h. je spezifischer schwerer sie sind.

Die Verbrennung der gasreichen Brennstoffe erfolgt stets indirekt. Bei ihrer Erhitzung zerfallen sie sich zunächst in gasförmige, flüssige und feste Körper. Die gasförmigen (Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe), sowie die flüssigen, welche bei der Temperatur jedoch Dampfform annehmen (Theerdämpfe), kommen an der Luft leicht zu vollkommener Verbrennung, sobald die Bedingungen dazu vorhanden sind; sie erwärmen den brennenden Körper durch Strahlung und Leitung und veranlassen, daß auch das feste Zerlegungsprodukt, die Kohle, zu vollkommener Verbrennung gelangen kann, indem nur das Unverbrennlische darin, die Asche, als Rückstand verbleibt.

Auf dieser prinzipiellen Verschiedenheit der Brennstoffe sind die beiden Haupt-Systeme aller unserer Feuerungen begründet, nämlich

- a) direkte Feuerung, auch Kofstfeuerung und
- b) indirekte, auch Gasfeuerung genannt.

Bei der ersteren werden die Brennstoffe auf einer Unterlage, dem Kofste, unmittelbar dort zur Verbrennung gebracht, wo man die dadurch entstehende Wärme gebraucht.

Bei der zweiten findet eine örtliche Trennung der beiden Vorgänge statt, indem die Vergasung der Brennstoffe in einem besonderen Raume, dem Gaserzeuger (Retorte oder Generator) erfolgt, während die Brenngase von diesem erst nach dem Orte ihrer Verwendung geleitet werden und daselbst zur Verbrennung gelangen. Dieses letztere System ist das vollkommenere, weil bei demselben leichter und mit weniger oder keinem Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung erreicht, und was besonders wichtig ist, auch das geringwerthigste Brennmaterial benutzt werden kann. Trotzdem wird von diesem Systeme für Dampfkessel nur in Ausnahmefällen Gebrauch gemacht, weil es mehr Raum beansprucht und im Allgemeinen zur richtigen Leitung größere Aufmerksamkeit erfordert als eine direkte oder Kofstfeuerung, zumal gute Brennmaterialien sich auch auf einem Kofste recht vorthellhaft verbrennen lassen.

Beide Arten von Brennstoffen, sowohl die gasarmen als auch die gasreichen, können ebenso auf Kofsten direkt wie nach vorhergegangener Entgasung und Vergasung indirekt zur Verbrennung gebracht werden.

Die Entgasung der Brennstoffe für Heizwecke pflegt man nicht in Retorten, sondern in Generatoren, d. h. Schächtföfen, vorzunehmen, wozu die entgasen Rückstände durch ihre Verbrennung zu Kohlenoxid die nöthige Wärme liefern. In den Generatoren werden somit auch die Kohlen

oder Kohls ganz verbrannt und hinterlassen schließlich nur Asche und Schlacken, während das erhaltene Gas außer Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen hauptsächlich Kohlenoxid als brennbares Gas enthält.

Aber auch gasarme Brennstoffe können in Generatoren vergast werden; hier hat dies aber nur die Bedeutung, daß der Kohlenstoff bei ungenügendem Luftzutritt zu Kohlenoxid verbrannt wird, und dies als ein leichter und vollständiger zu verbrennendes Brennmaterial ist das Ziel der Vergasung; dagegen werden gasreiche Brennstoffe in Generatoren erst entgast, schließlich aber auch die festen kohlenstoffhaltigen Rückstände noch vergast. Das Produkt derselben, die Generatorgase, nun sind ein viel besseres Brennmaterial als die geringwerthigen festen Brennstoffe, aus welchen man sie herzustellen pflegt.

Alle gasförmigen Brennstoffe sind für die Verbrennung viel geeigneter als die festen, weil sie der Verbrennungsluft leichter zugänglich sind. Die Gasfeuerung hat den Vorzug, daß sie auf einen verhältnismäßig kleinen Raume, namentlich mit Hilfe vorgewärmter Verbrennungsluft hohe Temperaturen zu erzeugen gestattet und außerdem den Ort der Verbrennung nicht durch Asche und Schlacken verunreinigt. Hierdurch erklärt sich ihre häufige Anwendung, namentlich für metallurgische Zwecke und beim Hüttenbetriebe. Für Dampfkesselfeuerungen dagegen wird sie aus den oben schon angegebenen Gründen nur in Ausnahmefällen angewendet.

Welche von den oben angeführten Brennstoffen in einem gegebenen Falle zur Anwendung zu bringen sind, darüber entscheiden die örtlichen Verhältnisse. Man wird stets für einen bestimmten Ort demjenigen Brennmaterial den Vorzug geben, dessen Anschaffung relativ mit den geringsten Kosten verknüpft ist, d. h. bei dessen Anwendung die Erzeugung einer gewissen Menge Dampf sich am billigsten stellt, so daß man unter Umständen lieber den absolut theuersten, statt einen geringwerthigen, wenn auch noch so billigen Brennstoff wählen wird.

A. Direkte oder Kofk-feuerung.

Bei jeder direkten Dampfkessel-Feuerung kann man 3 Haupttheile unterscheiden und zwar

1. den Feuerungsraum, d. i. der Raum, der zur Aufnahme und zur Verbrennung des Brennmaterials dient und gewöhnlich in zwei getrennte Abtheilungen zerfällt, nämlich in:

- a) den Herd oder den eigentlichen Verbrennungsraum und
- b) den Aschenfall, d. i. der Raum, der zur Aufnahme der unverbrennlichen Rückstände (Asche und Schlacken) dient und sich in der Regel unter dem Herde befindet,

2. die Feuerzüge, das sind die Kanäle für die aus den Feuerungsraume kommenden Heizgase, durch welche dieselben gezwungen werden, die Kesselwandungen zu bestreichen, um von ihrer Wärme soviel als möglich auf den Kessel zu übertragen;
3. den Schornstein, auch Kamin oder Esse genannt, d. i. die lothrechte Fortsetzung der Feuerzüge, welche die Aufgabe zu erfüllen hat:
 - a) die durch Wärme-Abgabe an den Kessel möglichst weit abgekühlten gasförmigen Verbrennungsproducte in die freie Luft so abzuführen, daß dieselben die Nachbarschaft nicht belästigen und
 - b) dem Verbrennungsraume die erforderliche Menge frischer Luft durch Saugwirkung zuzuführen.

Der todte Feuerzug, welcher zwischen Kessel und Schornstein liegt und keine Wärme mehr nutzbar macht, wird Fuchs genannt.

1. Der Feuerungsraum.

Derjelbe muß so angelegt und bemessen sein, daß er nicht nur eine passende Brennstoffmenge aufzunehmen, sondern dieselbe auch zu einer möglichst vollkommenen und vollständigen Verbrennung zu bringen gestattet.

Dazu gehört:

1. daß er mit einer verschließbaren Oeffnung versehen sei, durch welche in bequemer Weise der Brennstoff eingetragen werden kann;
2. daß er für das Brennmaterial eine geeignete Unterstützungsfläche habe;
3. daß er die zur Verbrennung erforderliche Luft nur da eintreten lasse, wo sie für die Verbrennung am wirksamsten ist;
4. daß er die unverbrennlichen Rückstände (Asche und Schlacken) möglichst leicht abzufondern und zu entfernen gestatte;
5. daß er einer vollkommenen Verbrennung durch seine Größe bei einer angemessenen Höhe der Brennstoffschicht auch dadurch möglichst Vorschub leiste, daß sich die Flamme frei entwickeln kann, was wie schon oben auseinander gesetzt, dazu unbedingt nothwendig ist;
6. daß die, das Brennmaterial stützende Fläche so beschaffen sei, daß auch bei kleinstüdtigen Brennstoffen so wenig als möglich unbenuzt verloren gehe;
7. daß er die gute Verbrennung nicht dadurch beeinträchtige, daß dem brennenden Material die nothwendige Temperatur durch Abkühlung genommen werde und
8. daß er bei der, in ihm herrschenden hohen Temperatur möglichst haltbar und dauerhaft sei.

Was den ersten Punkt anlangt, so ist die erforderliche Oeffnung zum Eintragen des Brennmaterials in der Regel durch eine in Scharnieren gehende Thür zu öffnen und zu schließen, welche eine, zur Beschädigung von Hand, sowie zum Schüren und Abschladen angemessene lichte Weite und Höhe besitzen muß. Bei einer ununterbrochenen Versorgung des Herdes mit Brennstoff wird diese Oeffnung auch wohl durch den Brennstoff selbst stetig geschlossen erhalten. Letzterer wird dann gewöhnlich in einen Aufschüttele-Trichter aufgegeben; zwischen diesem und der Feuerungs-Oeffnung befindet sich dann zweckmäßigerweise ein Schieber, der zur Regulirung der, durch das eigene Gewicht niedergehenden Brennstoffmenge dient.

Bei der Verbrennung bewegen sich die gasförmigen Verbrennungs-Produkte wegen ihres, im Vergleich mit der atmosphärischen Luft nur geringen spezifischen Gewichts nach oben, und deshalb ist die Zuführung der frischen Verbrennungsluft zu dem Brennmaterial von unten die naturgemäße. Um eine solche zu ermöglichen, muß die das Brennmaterial tragende Fläche durchbrochen sein; durch ihre Oeffnungen kann dann die Luft auf kürzestem Wege zum Brennstoff treten, was durch die saugende Wirkung der nach oben abströmenden Heizgase noch begünstigt wird. Eine solche durchbrochene, das Brennmaterial tragende Unterstüßungsfläche nennt man einen Rost. Derselbe bildet in der Regel die untere Begrenzung des Verbrennungsraumes und zugleich die Trennungsfläche zwischen diesem und dem Aschenfall.

Der Rost ist der wichtigste Theil einer jeden direkten Feuerung; von seiner Einrichtung und Beschaffenheit hängt eine gute Verbrennung wesentlich ab. Der Rost hat das Brennmaterial zu tragen und eine möglichst vielseitige und innige Berührung dieses letzteren mit der frischen Verbrennungsluft herbei zu führen. Derselbe ist in der Regel aus eisernen Stäben zusammengesetzt, die unter sich leere Zwischenräume frei lassen, durch welche die Luft an recht vielen Punkten gut vertheilt zum Brennmaterial treten kann; nur müssen die Spalten nicht so weit sein, daß selbst kleinstückige Kohlen u. s. w. nicht durch dieselben ungenützt, d. h. unverbraunt in den Aschenraum fallen. Die staub- und pulverförmige Asche, so weit sie nicht durch die Heizgase mit fortgerissen wird und sich als lästige Flug-Asche in den Feuerzügen ablagert, kann dagegen entweder freiwillig, oder durch Schüren des Feuers von den Brennstoffstücken abgestoßen, leicht auch durch enge Rostspalten in den Aschenraum fallen, während die größeren festen Rückstände, das sind die aus zusammengeschmolzener oder gesinteter Asche und Schieferstücken der Kohlen bestehenden größeren Rückstände gewöhnlich mittelst Krücken und Haken durch dieselbe Thür entfernt werden müssen, durch welche der

Brennstoff eingetragen wird. Bisweilen gestattet es die Kofteinrichtung auch, die Schlacken über das Ende des Koftes hinweg direkt in den Aschenfall zu befördern.

Was ferner die Größe des Feuerraumes anbetrifft, so ist diese zum großen Theile abhängig von der Kofgröße und letztere wird bestimmt durch die Art und die Menge des in der Zeiteinheit darauf zu verbrauchenden Brennstoffes. Die Höhe des Feuerraumes dagegen hängt fast nur ab von der Natur des letzteren, welcher in einer zweckmäßigen Schichtdicke auf dem Kofte ausgebreitet werden muß. Die übrige freie Höhe über der Brennstoffschicht muß insbesondere der Beschaffenheit des Brennmaterials angepaßt sein, bei welchem es darauf ankommt, ob dasselbe gasreich oder gasarm ist, ob es mit kurzer oder mit langer Flamme verbrennt u. s. w.

Bei solchem Brennmaterial, welches mit langer Flamme brennt, muß diese Höhe im Allgemeinen am größten, bei kurzflammigen am kleinsten sein; doch auch bei gasarmen, aber kohlenstoffreichen Brennstoffen wie Anthrazit und Kohls darf die freie Höhe über der Brennstoffschicht nicht zu klein sein, weil sonst die über dem Kofte befindliche Wand wegen der starken Wärmestrahlung einer allzugroßen Hitze ausgesetzt und leicht zerstört werden würde, zumal es bei der Dampfkesselfeuerung niemals auf hohe pirometrische Heizeffekte, sondern stets nur auf eine möglichst vollkommene Ausnützung der Wärmemenge ankommt. Schließlich muß auch berücksichtigt werden, ob die obere, über dem Kofte befindliche Wand des Feuerraumes aus Mauerwerk besteht, oder durch einen Theil der Kesselwand gebildet wird.

So sollen z. B. nach bewährten Regeln die Abstände zwischen Oberfläche Kofst und der darüber befindlichen Kesselwandung

bei Feuerung mit Holz	nicht weniger als	0,5 m
" " " Backkohlen	" " "	0,4 "
" " " reinen Sinterkohlen	" " "	0,36 "
" " " größtstückigen Braunkohlen	" " "	0,32 "
" " " erdiger und staubiger Braunkohle " " "	" " "	0,25 "

betragen. Für Kohls dagegen, welche in dicken Schichten von etwa 0,5 m aufgetragen werden, soll außerdem noch ein freier Raum über der Brennstoffschicht von 0,3 bis 0,6 m verbleiben.

Damit nun auch der Feuerraum das Feuer nicht unnütz abkühle, soll er allseitig abgeschlossen sein, d. h. zum Feuer keine andere Luft, als durch die Kofspalten treten lassen, also keine Nebenluft haben, aber den Heizgasen einen leichten Abzug gestatten.

Der Abzug der Feuergase erfolgt in der Regel durch eine, der Eintragsöffnung gegenüber befindliche, möglichst hoch gelegene Öffnung über der sogenannten Feuerbrücke. Diesen Namen führt die, den Feuerraum hinten, d. h. am Ende des Kofes begrenzende, meistens lothrecht, bisweilen aber auch mehr oder weniger nach vorn oder nach hinten geneigt aufgeführte gemauerte Wand, welche aber nicht bis zum Kessel reicht, sondern unterhalb desselben eine Öffnung frei läßt, durch welche die Heizgase in den Feuerzug treten. Die Feuerbrücke hat zu verhüten, daß beim Einwerfen des Brennmaterials einzelne Stücke desselben über den Kof hinausfliegen und soll auch dazu dienen, die Luft bis zum Kofende hin möglichst rechtwinkelig zur Koffläche durchströmen zu lassen. Durch die Richtungsänderung, welche der Strom der Heizgase erfährt, indem er zunächst parallel zur Feuerbrückenwand aufwärtssteigend nun über die Feuerbrücke hinwegfließend, fast um einen rechten Winkel von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird, beabsichtigt und erreicht man noch eine innigere Vermischung der noch nicht vollständig verbrannten Gastheile mit der noch sauerstoffhaltigen Luft. Auch bewirkt man durch die etwas höher geführte Feuerbrücke eine mäßige Einschnürung des Heizgasstromes und sucht dadurch die letzten noch unverbrannt gebliebenen Theile der Flamme schließlich zu einer vollkommenen Verbrennung zu bringen, was durch die hohe Temperatur der oberen Feuerbrückenschicht sehr begünstigt wird. Hierdurch steigert sich aber die Temperatur der Heizgase über der Feuerbrücke gewöhnlich derart, daß die darüber befindliche Kesselplatte durch das Feuer besonders stark angegriffen wird und es ist deshalb bei dieser Anordnung zu rathen, vorsichtig zu sein.

Da bei der hohen Temperatur des Feuerraumes, welcher mit Ausnahme der stets von Wasser bespülten und dadurch gekühlten Kesselwände nur wenige Körper auf die Dauer Widerstand leisten, so müssen alle anderen, den Feuerraum einschließenden Wände — um nicht unnütz Wärme zu verlieren — aus, die Wärme nicht fortleitendem, möglichst feuerfestem Mauerwerk hergestellt werden, damit Abschmelzungen und Zerstörungen, also auch häufige Ausbesserungen möglichst vermieden werden.

Der Feuerraum kann, mit Ausnahme der Koffläche 1. entweder ganz von Mauerwerk, oder 2. theilweise von Mauerwerk und theilweise von Kesselwänden, oder 3. ganz von Kesselwänden begrenzt werden, und hiernach hat man bei direkter Feuerung zu unterscheiden:

- a) Vorfederung
- b) Unter- oder Zwischenfederung und
- c) Innenfederung.

www.libtool.com.cn

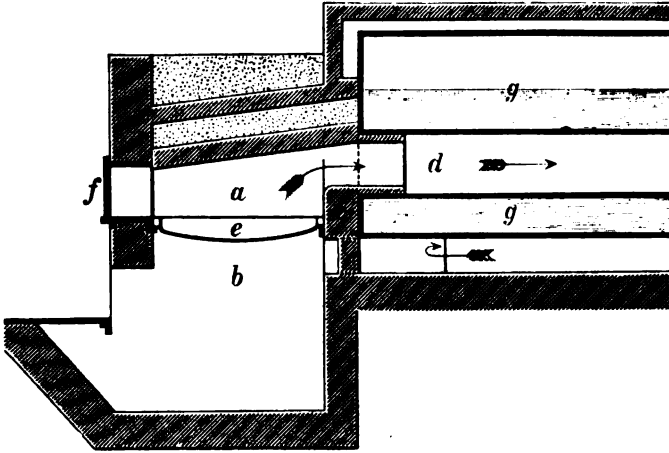


Fig. 4.

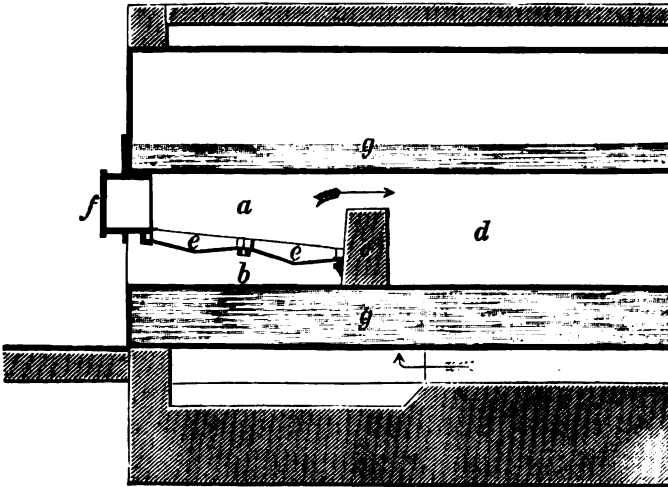


Fig. 5.

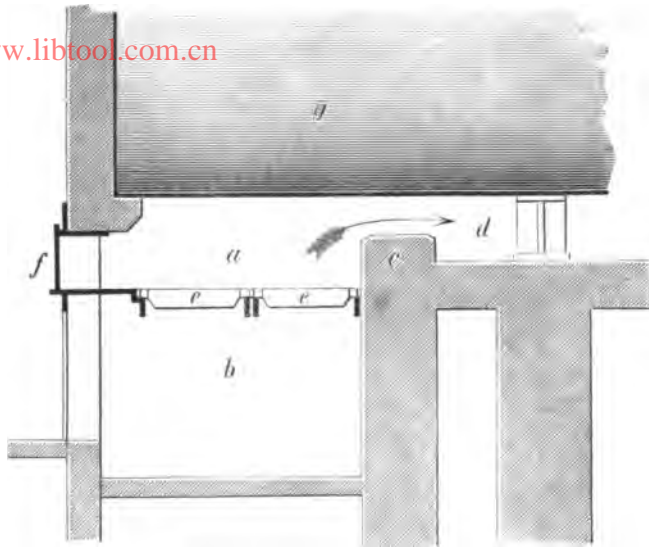


Fig. 6.

In den Figuren 4, 5 und 6 sind diese drei Feuerungssysteme schematisch dargestellt und zwar zeigt.

Figur 4 eine Vorfeuerung für einen Flammrohrkessel,

" 5 Innenfeuerung " " "

" 6 Unterfeuerung " " einfachen Walzenkessel.

Bei allen 3 Figuren bedeutet

- a) den Verbrennungsraum
- b) den Aschenraum
- c) die Feuerbrücke
- d) den Anfang des Feuerzuges
- e) den Rost
- f) die Feuerthür
- g) den Kessel.

Die schraffirten Flächen bedeuten das durchschnitten gedachte Kessel-Mauerwerk, während die Pfeile die Richtung der Feuergase bezeichnen.

Jedes dieser drei Systeme hat seine Eigentümlichkeiten und seine Vortheile und Nachtheile.

Die Vorfeuerung (Figur 4) ist für eine vollkommene Verbrennung eines jeden Brennmaterials besonders gut geeignet, in so fern bei derselben sehr leicht eine hohe Verbrennungstemperatur erzeugt und erhalten werden kann, namentlich wenn das den Feuerraum einschließende Mauerwerk durch

gute Isolirung (hohles Mauerwerk mit Aschenfüllung u. s. w.) soviel es angeht, vor Wärmeverlusten geschützt ist. Man erzielt mit der Vorfeuerung Heizgase von außerordentlich hohen Temperaturen und man könnte und würde Vorfeuerung wahrscheinlich allein und in allen Fällen anwenden, wenn sie nicht von zwei Uebelständen begleitet wäre, die sich eben nicht vermeiden lassen.

Der erste beruht auf dem Mangel von wirklich feuerfestem Mauermaterial. Die besten Chamotte=Steine widerstehen bei kohlenstoffreichen Brennmaterialien nur kurze Zeit der bedeutenden Wärmestrahlung; sie sintern erst zusammen und schmelzen schließlich ab; nach 3 höchstens 6 Monaten erheischen sie eine theilweise oder vollständige Erneuerung der Feuerbrücke und Kofstüberwölbung, was Geldkosten verursacht und Betriebsstörungen herbeiführt.

Der zweite Uebelstand besteht darin, daß trotz bester Fürsorge ein beträchtlicher Verlust an Wärme durch Ausstrahlung nicht zu verhindern ist.

Bei der Innenfeuerung (Figur 5) werden beide Uebelstände vollständig vermieden, man hat sogar unter dem Gegentheil zu leiden. — Hier hält es schwer, jederzeit eine vollkommene Verbrennung zu erzielen, weil der Feuerraum auf allen Seiten von metallenen, die Wärme gut leitenden Kesselwänden begrenzt ist, so daß nicht immer die zu guter Verbrennung nöthige Temperatur zu erreichen und zu erhalten ist. Allerdings fällt hier der Verlust durch Wärme=Ausstrahlung fort, weil alle, oder doch wenigstens die meiste ausgestrahlte Wärme von den Kesselwänden aufgenommen, also nutzbar gemacht wird; feuerfestes Steinmaterial ist kaum erforderlich, nur werden die Kesselwände stärker angegriffen als bei den anderen Systemen.

Die Innenfeuerung kann zu einer recht zweckmäßigen Kesselfeuerung gestaltet werden, doch erfordert sie dann sehr große Kesseldimensionen und deshalb wieder große Blechdicken und große Kesselgewichte, was wieder eine Reihe anderer Nachtheile zur Folge hat als: höhere Anschaffungskosten, kostspielige Ausbesserungen und wegen der großen Blechdicken eine geringere Wärmeübertragung auf das Kesselwasser.

Die Unter= und Zwischenfeuerung (Figur 6) theilt sich in die Vor= und Nachtheile der Vor= und Innenfeuerung; man kann bei derselben jedoch durch zweckmäßige Abmessungen und Anordnungen fast alle oben angeführten Nachtheile ziemlich vermeiden oder doch auf ein nur geringes Maaß zurückführen; dagegen tritt bei ihrer Anwendung wieder ein anderer Uebelstand auf, der zwar mit der Wärme=Entwicklung und Ausnutzung nichts zu thun hat, weil er in der Eigenschaft des, gewöhnlich zur Kesselspeisung benutzten Kesselwassers begründet ist. Das dazu benutzte

Brunnen-, Quell- oder Flußwasser setzt im Laufe der Zeit in den Kesseln stets mehr oder weniger Schlamm und Kesselstein ab, der sich vorzugsweise an den tiefsten Stellen des Kessels ansammelt. Die Kesselwand wird dadurch im Innern nach und nach mit einer, die Wärme schlecht leitenden Kruste überzogen, und da die Unterfeuerung gerade die größte Hitze nach der tiefsten, weil nächsten Kesselwand ausstrahlt, und dort die stärkste Dampfentwicklung herbeiführt, so wird die Kesselwand gerade dort am meisten angegriffen, was leicht zu Ausbesserungen und Betriebsstörungen führt.

Aus der vorstehenden Uebersicht geht hervor, daß alle drei Systeme der direkten Feuerung mit erheblichen Mängeln behaftet sind, die man zwar einzeln durch entsprechende Abänderungen und Einrichtungen bekämpfen kann, doch ist dies fast immer nur unter Herbeiführung neuer Uebelstände möglich. Es kann daher, weil andererseits auch wiederum jedes der Systeme seine Vorzüge hat, nicht auffallen, daß alle zahlreich zur Anwendung kommen, weil eben keines das absolut beste genannt werden kann. Auch hat man in manchen Fällen gar keine freie Wahl. An einfachen Walzenkesseln z. B. kann man eine Innenfeuerung überhaupt nicht anbringen, sondern hat nur zwischen Vor- und Unterfeuerung zu wählen. Bei den Kesseln für Lokomotiven, Lokomobilen und den Schiffskesseln ist unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse die Innenfeuerung geboten, d. h. Vor- und Unterfeuerung ausgeschlossen. Für Flammrohrkessel ist Innenfeuerung besonders beliebt, obwohl für diese alle drei Systeme angewendet werden können u. s. w.

Alles oben Gesagte ist ganz allgemein zutreffend und gilt auch für alle Brennmaterialien. Da letztere jedoch sehr verschieden sind, und demnach auch bei ihrer Benutzung eine entsprechende Behandlung und Feuerungseinrichtung erheischen, und da es ferner auch nicht gleichgültig ist, unter welchen besonderen Verhältnissen und für welche Zwecke Dampf erzeugt wird, und endlich, von welcher Beschaffenheit dieser Dampf sein soll (z. B. ob Dampf von hoher oder niederer Spannung gefordert wird) so ist es einleuchtend, daß immer eine Summe von Kenntnissen und Erfahrungen nöthig ist, um in einem bestimmt gegebenen Falle die entsprechend beste Dampfkessel- und Feuerungsanlage zu schaffen.

Obwohl man einige allgemein gültige Grundsätze aufstellen kann, die dem Erbauer zur Richtschnur dienen müssen, so sprechen stets noch so viele besondere Umstände mit, daß es in der That keine geringe Aufgabe ist, die hier zu lösen bleibt. Man denke nur an die große Mannigfaltigkeit der Brennstoffe, die für einen gewissen Zweck sich ganz gut eignen, in einem andern Falle dagegen so gut wie unbrauchbar sein können; ferner an die Verschiedenheit des Materials, aus welchem die Kessel hergestellt

sind, welches zwar in fast allen Fällen Eisen, aber dennoch vielfach verschieden sein kann. Ein weiterer Umstand ist das Kesselspeisewasser, dessen Eigenschaften manche Kesselkonstruktion, so empfehlenswerth dieselbe für reines, destillirtes Wasser sonst sein mag, von vornherein ganz ausschließt. Dazu kommt noch die gute oder mangelhafte Konstruktion, die bessere oder schlechtere Ausführung, die gute und aufmerksame, oder schlechte und nachlässige Behandlung von Kessel und Feuerung u. s. w.

Beispiele von der Anordnung der Vor-, Unter- und Innenfeuerung folgen bei den besonderen Kesselformen.

2. Der Kofst.

Wie schon oben bemerkt, ist der Kofst der wichtigste Theil des Feuerungsraumes und von großer Bedeutung für eine gute Verbrennung.

Da man schon lange sich der Einsicht nicht hat verschließen können, daß unsere Feuerungen noch mit bedeutenden Mängeln behaftet sind, haben einsichtsvolle Techniker in dem Streben nach Vollkommenerem auch schon lange dem Kofste ihre besondere Aufmerksamkeit zugewandt und neue Konstruktionen erfunden. So sind eine große Zahl von Kofsteinrichtungen zur Ausführung und Anwendung gelangt, von denen — nach ihren Erfindern — die eine immer besser als die anderen sein sollte. Jeder Erfinder hatte gewöhnlich nur einen, von ihm gerade beobachteten Uebelstand zu beseitigen sich zur Aufgabe gestellt, was ihm denn auch in der Regel gelang; daß dabei aber wieder andere Mißstände hervorgerufen waren, mußte erst wieder die Erfahrung lehren. Dadurch entstanden oft derart verwickelte Einrichtungen, daß bei genauerer Abwägung der Vor- und Nachtheile sich schließlich der einfachste Kofst dennoch als der beste zu erkennen gab. Auf einzelne Besonderheiten wird später näher eingegangen werden. Charakteristisch für eine jede Feuerung ist die Lage und die Form des Kofstes, sowie die dadurch bedingte oder davon abhängige Beschickung desselben mit dem Brennstoff.

So sehr verschieden die vielen im Gebrauche stehenden Kofste aber auch sind, so lassen sich alle auf zwei Grundformen zurückführen, welche mit geringen oder größeren Abänderungen bei jeder Feuerung zu finden sind; diese sind:

I. der Plan-Kofst,

II. der Treppen-Kofst.

Der erstere, der Plankofst, ist der älteste und vorbereitetste, da er für alle Fälle und für jedes Brennmaterial paßt, sobald es nicht staub- oder pulverförmig ist.

Der Treppenkofst dagegen ist nicht für alle Fälle anwendbar, für manche Brennmaterialien jedoch ganz besonders gut passend und dann recht vortheilhaft zu verwenden.

I. Der Planrost.

Der Planrost bildet, wie es schon der Name sagt, eine Ebene, die aber keinen ununterbrochenen Zusammenhang hat, sondern durch die leeren Zwischenräume für den Luftzug unterbrochen ist, so daß nur die oberen Begrenzungsflächen aller die Durchbrechungen begrenzenden Stege in ein und derselben Ebene liegen. Sehr kleine Roste, wie sie z. B. für Stubenöfen im Gebrauche sind, bestehen in der Regel aus einem einzigen Gußstücke von der Form eines Stabgitters. Für große technische Feuerungen werden die Planroste aus einzelnen flachen Stäben von Guß- oder Schmiedeeisen gebildet, die mit ihren dazu besonders geformten Enden (Köpfen) hochkantig auf sogenannte Rostbalken oder Rostträger aufgelegt werden und dadurch den Vortheil bieten, sich leichter und sicherer von Schlacken reinigen zu lassen; auch können einzelne Stäbe, die gebrochen oder gesprungen sind oder sich krumm gezogen haben, leicht durch neue ersetzt werden.

Die Rostebene ist entweder horizontal oder mehr oder weniger geneigt.

Unter totaler oder Gesamtrostfläche versteht man die ganze, von den zu einem Roste zusammengefüigten Roststäben gebildete Fläche; unter freier Rostfläche dagegen die Summe aller freien Rostspalten, durch welche die Verbrennungsluft zu dem Brennstoff treten kann. Den Unterschied zwischen der Gesamt- und der freien Rostfläche nennt man auch wohl todte Rostfläche.

Die freie Rostfläche, deren Verhältniß, zur Gesamtrostfläche keineswegs gleichgültig ist, wird dadurch gebildet, daß die einzelnen Stäbe breitere Köpfe erhalten als die Stäbe dick sind, wodurch die Spaltenweiten zwischen je zwei zusammengeschobenen Stäben sich selbst regelt; bei sehr langen Stäben, welche durch die ungleiche Erwärmung sich leicht krumm ziehen und dadurch Veranlassung geben, die Spaltenweite ungleich zu machen, bringt man auch in der Mitte noch kleine Verdickungen an, welche, ebenso wie die Köpfe, dazu dienen, die Spaltenweite unveränderlich, d. h. überall gleich weit, zu erhalten.

Ein guter Planrost hat folgenden Anforderungen zu genügen:

1. er muß eine genügende Größe haben, um auf ihn in der Zeiteinheit so viel Brennmaterial bringen zu können als nothwendig ist, um in dem Kessel eine geforderte Dampfmenge zu erzeugen;
2. er muß die hierzu nöthige Luftmenge durchlassen;
3. er soll durch seine Spalten keine, oder doch nur möglichst wenig Kohlen unverbrannt in den Aschenraum durchfallen lassen, muß dagegen von Asche und Schlacken leicht gereinigt werden können und
4. er muß möglichst dauerhaft sein, sich nicht verziehen, nicht abschmelzen oder verbrennen.

- 1) Was zunächst die, für einen bestimmten Zweck erforderliche Rostgröße anbetrifft, so wird dieselbe, ebenso wie die davon und von dem Brennmaterial abhängigen Abmessungen der Roststäbe später noch eingehender behandelt werden.

Hier sei nur vorläufig bemerkt, daß ein Rost keine, für seine Bedienung unbequeme Größe haben darf. Dies bezieht sich hauptsächlich auf seine Länge, welche man, um den Rost bequem und angemessen beschicken und ihn sicher und schnell von Asche und Schlacken reinigen zu können, nicht größer als $1\frac{3}{4}$ bis höchstens 2 m machen sollte.

Die Breite wird nicht so leicht unbequem groß, sie ist in der Regel abhängig von den Abmessungen des Kessels. Bei einer zu bedeutenden Breite zerlegt man dieselbe zweckmäßiger Weise in zwei Hälften, d. h. man bildet zwei getrennte, dicht neben einander liegende Roste mit besonderen Heizthüren, was auch für die zweckmäßige Bedienung des Rostes von Vortheil ist, wie später gezeigt werden wird.

- 2) Um der Forderung zu genügen, daß der Rost die nöthige Verbrennungsluft durch seine Spalten treten lasse, hat man des Verhältniß ausfindig zu machen gesucht, welches zwischen der freien und der totalen Rostfläche eines guten Rostes einzuhalten ist. Hierbei gehen die Ansichten weit auseinander. Manche Techniker verfechten die Ansicht, daß ein Rost niemals zuviel Luft durchlassen könne, dies ist jedenfalls ein Irrthum, wie es andererseits ein Fehler wäre, wenn der Rost zu wenig Luft durchließ.

Da man ja leicht berechnen kann, wie viel Luft ein gegebener Brennstoff nöthig hat um vollständig zu verbrennen, man auch durch einen Versuch unschwer ermitteln kann, wie viel Zeit das betreffende Brennmaterial gebraucht um auf dem Roste ganz verzehrt zu werden, so kann man auch leicht die Luftmenge berechnen, welche in der Zeiteinheit durch den Rost streichen muß. Da nun der Querschnitt das durch den Rost fließenden Luftstromes gleich der freien Rostfläche, also bekannt ist oder doch gewählt werden kann, so bleibt nur die Bestimmung der Geschwindigkeit übrig, mit welcher die Luft durch die Rostspalten strömt. Gehemmt wird der Luftstrom zwischen den Roststäben nur durch die Reibung der Luft an den Roststabflächen, und diese ist bei der geringen Geschwindigkeit von wenigen Metern zu vernachlässigen. Da außerdem die Luft, so wie sie aus den Rostspalten an das glühende Brennmaterial tritt, bedeutend erhitzt und dadurch auf das Drei- bis Vierfache ihres ursprünglichen Volumens ausgedehnt wird, wodurch der, durch den Rost ziehende Luftstrom eine Rückstauung erfährt, wohingegen das Brennmaterial auf dem Roste, wo es behufs bester Verbrennung stets in einer gewissen

Schichthöhe aufgetragen und erhalten werden muß, dem Luftstrom einen viel größeren Widerstand entgegensetzt, als der Durchgang durch die Rostspalten, so hat es gar keinen Sinn, die freie Rostfläche sehr groß zu machen. Man findet sie bisweilen ebenso groß wie die todte, d. h. das Verhältniß der freien zu der Gesamtrostfläche gleich 1 : 2 was ganz unnützlich groß ist und unter Umständen sogar schädlich werden kann. Berücksichtigt man alle Umstände, so ergibt sich, daß es wohl stets genügt, wenn die freie Rostfläche gleich $\frac{1}{4}$ von der Gesamtrostfläche genommen wird; für Holz und Torf, welche keine Schlacken zurücklassen, genügt $\frac{1}{5}$. Höchstens dürfte für Kohlen, die eine leicht fließende Schlacke geben und dadurch die Spalten leicht verstopfen, das Verhältniß gleich $\frac{1}{3}$ zu nehmen sein.

Es wird allerdings durch den über der Spaltfuge liegenden Brennstoff deren Oeffnung verkleinert, so daß der Gesamtdurchlaß für die Luft nicht der freien Rostfläche entspricht. Bei der höchst unregelmäßigen Form der Brennstoffstücke indeß, bei welcher nicht Fläche an Fläche sich auf den Rost legt, sondern vielfach Ecken und Kanten, macht die Bedeckung der Spalten nicht soviel aus, zumal wenn man berücksichtigt, daß die über den Spalten liegenden Stücke von der auftreffenden Luft sehr bald ausgehöhlt werden müssen, so daß ein unbehinderter Austritt der Luft rasch erfolgt. Auch sind die gerade auf dem Roste liegenden Kohlen (Kohlens) größtentheils porös, so daß die Luft in dieselben eintritt und sie auch im Innern verbrennt.

Ein enger Durchlaß für die Luft dürfte übrigens mit Rücksicht auf den Nutzeffekt, d. h. auf die Wärme-Ausnutzung einem weiten vorzuziehen sein. Ein Rost bleibt nicht immer gleichmäßig mit dem Brennstoffe bedeckt; da wo der letztere niedriger liegt, oder wo der Rost ganz davon entblößt ist, wird ein Ueberschuß von Luft einströmen, der auf die Temperatur der weiter ziehenden Verbrennungsprodukte abkühlend wirkt und dadurch die Wärmeabgabe an den Kessel vermindert, nebenbei auch die Entwicklung der Wärme schwächt, da weniger Luft durch den übrigen Brennstoff strömt. Durch einen großen Durchlaß kann mehr Luft ziehen als durch einen kleinen, sofern der Brennstoff keinen Widerstand entgegensetzt, und somit wird ersterer mehr abkühlend wirken und größere Wärmeverluste verursachen als letzterer. Auch das Folgende wäre hier noch geltend zu machen: Der auf dem Roste liegende glühende Brennstoff strahlt auch Wärme nach unten, und diese geht meistens verloren, da sie sich in der Erde verbreitet. Die Stärke der Ausstrahlung steht im geraden Verhältniß

zur freien Kofstfläche; durch Verkleinerung derselben wird demnach auch der Wärmeverlust geringer.

Wenn ein genügend großer Gesamtdurchlaß als erstes Erforderniß eines guten Kofstes aufgestellt wird, so geschieht dies nicht nur mit Rücksicht auf eine lebhafte Verbrennung, sondern insbesondere auch auf eine vollkommene, d. h. beste Verbrennung. Diese Verbrennung, d. h. eine solche bei vollständiger Umwandlung des Brennstoffs in Kohensäure und Wasserdampf mit geringstem Sauerstoff-Überschuß ist bedingt durch die Schichthöhe des Brennstoffs bei einer gegebenen Zugstärke, d. h. der Menge der in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit der Brennstoffschicht strömenden Luft. Kann die Luft den Brennstoff doppelt so rasch durchströmen, so muß dieser beiläufig die doppelte Schichthöhe besitzen, damit kein Ueberschuß von abkühlender Luft in die Verbrennungsprodukte gelange. Würde man hingegen bei schwachem Zuge eine hohe Schicht halten, so bliebe die Verbrennung unvollkommen, und in den Verbrennungsprodukten würden sich noch unverbraunte Theile vorfinden.

Schwacher Zug kann entstehen entweder bei einem, für die gegebenen Verhältnisse zu niedrigen Schornstein, oder wenn dessen Kanal durch den Rauchschieber verengt wird, oder wenn rückwärts die Luft verhindert wird, in ausreichender Menge zu dem Brennmaterial zu gelangen. Letzteres kann geschehen, sowohl durch enge Kofstspalten, wie durch das Zustellen von Thüren am Kofstschornstein. Bei zu kleiner freier Kofstfläche ist somit die Wärmeentwicklung schwach, und es darf für vollständige Verbrennung die Brennstoffschicht nicht hoch sein.

Bei starkem Zuge muß die Brennstoffschicht höher sein, die Luft erfährt somit einen größeren Widerstand beim Durchströmen des Brennstoffs als bei schwachem Zuge und niedriger Schicht, und deshalb kann auch im ersten Falle die freie Kofstfläche etwas kleiner sein.

Gasarme Brennstoffe verlangen für eine vollkommene Verbrennung eine höhere Brennstoffschicht als gasreiche; letztere werden somit eine größere freie Kofstfläche beanspruchen als erstere.

Kleine Stücke legen sich dichter aneinander als große, und setzen dem Durchgange der Luft einen größeren Widerstand entgegen als jene. Behufs vollkommener Verbrennung muß jedoch eine höhere Lage von großstückigen Brennstoffen angewendet werden und damit gleicht sich die Wirkung wieder ziemlich aus. Somit kann auch die Stückgröße als ohne Einfluß auf die freie Kofstfläche angesehen werden.

Um die Luft recht vielfach vertheilt und verzweigt dem Brennstoffe zuzuführen, damit sie diesen allseitig treffen und durchdringen könne,

hat man den Kofien statt der geraden Spalten auch zickzackförmige, sternförmige oder sich rechtwinklig schneidende Fugen gegeben in der Meinung, daß dadurch eine bessere Verbrennung erzielt werden könne. Es ist aber nicht anzunehmen, daß dieses Ziel damit zu erreichen ist. Sobald die Luft durch die Fuge dringend auf die Kohlenstücke trifft, breitet sie sich nach rechts und links aus und gelangt so auch zu den seitlich über der Stabfläche liegenden Stücken; außerdem findet auch wegen der Volumenzunahme durch die Erhizung und durch die Diffusion ein Eindringen der frisch zufließenden Luft und der außerhalb der Hauptströmung befindlichen mehr ruhenden Gase statt; wodurch alle auf dem Kofte liegenden Kohlenstückchen verbrennen müssen, wenn auch vielleicht die unmittelbar auf der Kofstablfläche ruhenden etwas weniger rasch, als die übrigen. Daher läßt sich aus einer so weit mehr vertheilten Luftzuführung ein wirklicher Gewinn nicht ableiten.

- 3) Der Bedingung, daß nicht zu viele Kohlen unverbrannt durch die Kofspalten durchfallen, wird dadurch entsprochen, daß man dieselben eng macht. Man ist hierin soweit gegangen, daß man Kofte antrifft, die nur 3 Millimeter weite Spalten zeigen. Solche Kofte lassen aber auch die Asche schlecht durch und um diesen Mangel wieder aufzuheben, werden die Kofstäbe nicht ganz dicht an einander geschoben. Größere Schieferstücke und Schlacken gehen allerdings auch nicht durch weitere Spalten hindurch, sondern müssen in jedem Falle von oben vom Kofte entfernt werden. Die zusammenschmelzende Asche kann jedoch leichter in breite Fugen hineinfließen und sich darin festsetzen, als in enge Spalten und in diese um so weniger, als die Schlacke doch nur mäßig weich wird. Enge Spalten werden auch bei hartender Kohle vorzuziehen sein, da sie das Eindringen der weich gewordenen Kohle ebenso wie das der Schlacken verhindern.

Bei schlangen- und zickzackförmigen Fugen und solchen, welche die Staboberfläche auch quer theilen wird die Entfernung eingeflossener Schlacke mehr Schwierigkeiten verursachen, als beim graden glatten Stabe. Kurze und leichte Stäbe werden beim Abstoßen der Schlacke leichter aus ihrem Lager herausgerissen als lange und schwere.

Einzelstäbe gestatten die Entfernung tief eingedrungener Schlacke besser, als unter einander verbundene (sogenannte Stabbündel), da sich der Einzelstab für sich lüften und bewegen läßt.

- 4) Ein Kof wird eine um so größere Dauer besitzen je niedriger die Temperatur ist, in welcher er erhalten bleiben kann. Auf seine Oberfläche wirkt nun immer eine hohe Glühhize ein, welcher das Eisen an

sich auf die Dauer nicht Widerstand leisten kann. Das Gußeisen schmilzt, und das Schmiedeeisen erweicht und oxidiert sich rasch. Wollte man einen Kofst aus ganz dünnen Eisenschienen herstellen, so würde derselbe in ganz kurzer Zeit vernichtet werden.

Die Wärme zieht von der Auflage des Brennstoffs nach unten und bringt dadurch den ganzen Stab in eine hohe Temperatur. Würde dieselbe daraus nicht in irgend einer Weise abgeleitet oder entfernt, so käme nach einiger Zeit der ganze Stab in Glut und würde bald zerflört sein.

Auf den Wärmeverlust des Kofststabes wirken nun zwei Umstände ein und zwar erstens die Wärme-Ausstrahlung nach unten, nach dem Boden des Aschenfalles. Die Größe dieser Wirkung hängt von der Temperatur des Bodens ab, sie ist um so größer, je niedriger diese ist. Ein tiefer Aschenfall befördert die Wirkung, niedrige vermindern sie; in letzterem Falle läßt sich durch Unterstellen von Gefäßen mit Wasser, welches sich in offenen Gefäßen ja nur bis zu 100° C. erwärmen kann, die Ausstrahlung vergrößern. Zweitens wird dem Stabe Wärme durch die vorbeiströmende Luft entzogen; diese Wirkung hängt ab von der Größe der Berührungsfläche des Stabes mit der vorbeiziehenden Luft, also von der Höhe des Stabes. Ein hoher Stab erwärmt die Luft stärker, als ein niedriger, daher muß ein hoher Stab haltbarer als ein niedriger sein.

Die Bedingungen für die Erhitzung eines Kofststabes sind nach seiner ganzen Länge dieselben; überall wird dieselbe Menge von Wärme auf dem Stabe erzeugt, er wird demnach auch überall die gleiche Temperatur annehmen. Um nun den Stab an allen Punkten gleichmäßig abzukühlen, wird man demselben überall eine gleiche Höhe geben müssen. Die Erhöhung in der Mitte mit Verjüngung nach den Enden hin ist deshalb nicht zweckentsprechend, denn Rücksicht auf Festigkeit erheischen diese Ausführung am wenigsten, da die Tragkraft eines Kofststabes nur in sehr geringer Größe in Anspruch genommen wird. In Bezug auf Kühlung der Kofste durch die vorbeiziehende kalte Verbrennungsluft werden also schmale aber gleichmäßig recht hohe Kofststäbe die besten sein.

Wie weit man bezüglich der Höhe der Kofststäbe noch mit Vortheil gehen kann, würde sich am besten durch Versuche bestimmen lassen, denn eine Grenze hat das Höhermachen der Kofststäbe jedenfalls, so daß, wenn jene überschritten wird, wenigstens keine Zunahme der abkühlenden Wirkung weiter herbeigeführt wird. Es ist bekannt, daß man trotz der guten Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle eine Eisenstange an einem Ende in Schweißhitze bringen und sie am andern Ende mit bloßer Hand halten

kam. Die Wärme schreitet eben nur mit einer gewissen Langsamkeit durch Leitung in dem Metalle vorwärts; daher wird ein noch so hoher Kofstab unter Umständen nicht vor dem Abschmelzen oder dem Verbrennen seiner oberen Fläche, welche mit dem glühenden Brennstoff in unmittelbarer Berührung bleibt, geschützt sein.

Die Temperatur an der Oberfläche des Stabes hängt von der Menge der Wärme ab, die durch die Verbrennung daselbst erzeugt und auf den Stab übergeführt wird, sowie auch von der Geschwindigkeit, mit welcher diese Wärme nach unten abgeleitet, oder durch die vorbeiziehende Luft und durch Ausstrahlung nach dem Boden dem Kofstabe entzogen werden kann. Hierbei wird sich immer ein gewisser Gleichgewichtszustand einstellen, bei dem aber eine um so höhere Temperatur herrscht, je mehr Wärme an der Auflagefläche des Brennstoffs zur Entwicklung kommt. Ein genügend hoher Kofstab wird aber stets unten dunkel und unnachgiebig bleiben und daher seine Form beibehalten, auch wenn er oben ins Glühen kommen sollte. Man findet gegossene Kofstäbe, die eine überall gleiche Höhe von 15 bis 16 Zentimeter bei einer durchschnittlichen Länge von einem Meter besitzen, oben 12 und unten 5 Millimeter dick sind und sich in Lokomotivfeuerungen ganz gut bewähren und in der Regel über ein Jahr aushalten. Die Stäbe nehmen jedoch bei der großen Hitze in der Feuerbüchse in Folge der intensiven Verbrennung bei hoher Brennstoffsicht von oben nach unten oft um mehrere Zentimeter ab, sei es durch Abschmelzen oder durch Verbrennen, wobei indeß die Fuge immer gleich offen bleibt, also ohne daß sich an den Seitenflächen abgeschmolzene Theilchen ansetzen. Wenn derartig hohe Stäbe in dem Maße einer Abnutzung durch die Einwirkung starker Hitze unterworfen sind, so ist es wohl zweifellos, daß niedrige Stäbe hier sehr schnell einer vollständigen Zerstörung anheim fallen würden.

Alles, was das Eisen der Stäbe unterhalb der Auflagefläche für den Brennstoff durch Aufhebung seines Zusammenhanges schwächt, kann nur schädlich wirken. Die Durchlochung oder Durchbrechung der Stäbe um sie durch Luftpumpen kühler zu erhalten, verfehlt nicht nur vollständig ihren Zweck, sondern wirkt gerade in entgegengesetzter Weise, indem sie durch Aufhebung des materiellen Zusammenhanges die Ableitung der Wärme nach unten verhindert und die Berührungsfläche der Luft mit dem Eisen vermindert.

Wenn dessenungeachtet solche Kofste Eingang in die Praxis gefunden und sich, wie Atteste bezeugen, trotz alledem bewährt haben, so beweist dies nur, daß die Bedingungen für die Entstehung sehr hoher Temperaturen

über der Kofstfläche an den Orten ihrer Verwendung überhaupt nicht vorhanden sind. Die verschiedenen Brennstoffe verhalten sich in Bezug darauf nicht nur sehr ungleich, sondern auch der Betrieb und die ganze Feuerungsanlage hat einen großen Einfluß auf die Erzeugung sehr hoher Temperaturen, die z. B. bei Innenfeuerung nur durch Verwendung gasarmer Brennstoffe bei sehr hoher Schicht (Kofst) zu erreichen sind. Gasreiche Brennstoffe, namentlich das Holz, bringen die Wärme vorzugsweise in einer langen Flamme entfernt vom Kofste zur Entwidlung; auf dem Kofste selbst, brennt nur wenig Kohle, die Temperatur ist in Folge dessen hier verhältnißmäßig niedrig. Holzfeuer wird wohl auch ganz schwache Kofste nicht zum Schmelzen bringen. Fast ebenso verhalten sich Torf, Braunkohlen und selbst bei den jüngeren Steinkohlen bleibt die Temperatur noch mäßig hoch. Die Kofst, als den größten Gegensatz bildend, erzeugen die Wärme jedoch fast ganz innerhalb ihrer Masse selbst; daher denn die große Glut auf dem Herde, die auf den Kofst zerstörend wirken muß. Aber auch die Art und Weise des Betriebes bei demselben Brennstoff läßt eine verschiedene Glut auf dem Herde, entstehen, was z. B. die Lokomotivfeuerung erkennen läßt. Je stärker der Zug, um so höher muß die Brennstoffschicht für die richtige Verbrennung sein; je kleiner der Feuerherd, um so stärker muß der Zug für eine bestimmte Wärmeentwicklung sein und um so höher muß der Brennstoff aufgeschichtet werden. Die in dem Brennstoff selbst entwickelte Wärme und somit auch die Ueberführung derselben auf den Kofst ist dann bedeutend vermehrt.

Nach dem Vorstehenden kann man daher allgemein sagen: Kohlenstoffreiche Brennstoffe und starker Zug wirken mehr zerstörend auf den Kofst ein, als gasreiche Brennstoffe und schwacher Zug. Je nach Umständen werden deshalb auch die leichtesten Kofste lange Dauer haben können, doch für alle Fälle können sie nicht dienen; allgemein brauchbar sind nur schwere und hohe Kofste.

Die Frage: ob durch besondere Einrichtung der Kofste, d. h. der Kofststäbe sich eine Brennmaterial-Ersparniß überhaupt herbeiführen lasse? beantwortet der auf dem Gebiete der Heizung sehr erfahrene Professor Meidinger in Karlsruhe in seiner schätzenswerthen Abhandlung über „Die Verbrennung über dem Kofste“ in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure wie folgt. Derselbe sagt:

„Bestehen ökonomische Wirkungen der Kofste mit Rücksicht auf die Rußbarmachung der durch die Verbrennung entwickelten Wärme? — Unleugbar, wenn auch nicht gerade in dem Sinne, wie die Erfinder neuer Kofstformen oft behaupten. Wir sehen ab von dem Brennstoff-

verluste, der bei zu weiten Kofsfugen in Folge Durchfallens unverbrannter Kohlentheilchen entsteht. Wir haben aber bereits gefunden, daß bei weiten Fugen die Ausstrahlung der Wärme der glühenden Kohlen nach dem Boden des Aschenkastens größer ist, als bei schmalen Fugen, sowie auch das Durchströmen abkühlender Luft bei Entblözung von Brennstoff. Indem wir auch deshalb schmalen Fugen (abgesehen von dem verringerten Durchfallen unverbrannter Theilchen) den Vorzug ertheilen mußten, gaben wir damit schon zu erkennen, daß der Kofst durch seine Gegenwart an sich Wärmeverluste vermindert. Er ist unten immer weniger heiß als der glühende Brennstoff auf demselben, deshalb Temperaturdifferenz und Wärme- strahlung nach dem Boden kleiner. Wenn der Kofst aber nicht ander- weitig noch Wärme verlore, so würde er auch unten allmählig in die Blüthhitze gelangen und dann der hohe und niedrige Stab gleich viel Wärme nach unten strahlen. Durch die vorbeiziehende Luft wird nun dem Kofste dauernd alle die Wärme entzogen, die seine Temperatur weiter zu erhöhen sucht. In dieser Speiseluft wird die Wärme in den Brenn- stoff eingeführt und folchermassen wieder gewonnen. Der Kofst wirkt also in der Weise, daß er die nach dem Aschenbehälter ausgestrahlte Wärme vermindert, indem er sie durch seine feste Masse hindurch in die Luft und von da wieder über den Kofst gelangen läßt.

Diese Wirkung des Kofstes hängt von der Größe seiner ganzen senkrechten Fläche ab, somit ganz wesentlich von der Höhe der Stäbe. Die Herstellung von Kofsten mit zahlreichen hohen schmalen Stäben und schmalen Fugen muß als durchaus rationell, der ökonomischen Wirkung der Kofste am meisten entsprechend, angesehen werden.

Ueber die mögliche Größe der Nutzwirkung eines Kofstes kann man sich folgendermassen Rechenschaft geben. Angenommen: 1 kg. Kohle bedarf für vollständige Verbrennung zu Kohlenäure und Wasser 24 kg. Luft (Verbrennung bei doppelter Luftmenge). Da die spezifische Wärme der Luft beiläufig $\frac{1}{4}$ ist, so erwärmen sich 24 kg. in derselben Weise wie 6 kg. Wasser. Nehmen wir nun an, durch die Wirkung des Kofstes würde die Speiseluft um 100° C. erwärmt. Dieselbe hat dann 600 Wärmeeinheiten aufgenommen, was, den kalorimetrischen Effekt der Kohle zu 7000 W. E. angenommen, 8,6 % der entwickelten Wärme ausmacht. Werden bei gutem Zuge auf 1 qm Kofstfläche in der Stunde 100 kg. Steinkohlen verbrannt, so bedarf jedes Kilogramm 1 qdm, das entspricht fast genau einem Kofstabe von 90 cm Länge, 8 mm oberer, 3 mm unterer Dicke und etwa 10 cm mittlerer Höhe, und 3 mm Fugendbreite. Die Fläche derselben, an welcher die Luft

vorbeiströmt, ist 0,17 gm. Die Annahme, daß die an einer so großen Fläche, die sich in einer mittleren Temperatur von gewiß mehreren Hundert Graden befindet, in der Stunde vorbeistreichende Luft von 24 kg. sich bis zu 100° C. erwärmen könne, hat nichts Unwahrscheinliches. Sei die Erwärmung der Luft nun auch eine geringere, so bleibt immerhin ein nicht ganz unbedeutender Wärmegewinn durch die Kofswirkung übrig, der übrigens um so geringer ist, je kleiner die senkrechte Gesamtoberfläche des Kofses. Beides steht aber nicht in demselben Verhältnis, da die Wärmeabgabe an die Luft in geringerem Grade zunimmt, als die Oberfläche der Kofse. Die Größe des Wärmegewinnes bei verschiedenen Kofsen ließe sich experimentell durch unterhalb der Kofse aufgestellte Gefäße mit Wasser ausfindig machen. Der eine Kof wird das Wasser in gewisser Zeit mehr erwärmen als der andere; man findet auf diese Weise für die ganze unterhalb des Kofses bestrahlte Fläche eine Anzahl Wärme-Einheiten, deren Differenz die ökonomische Wirkung des weniger ausstrahlenden Kofses unmittelbar anzeigt.

Die hier angestellte Untersuchung kann sich nur beziehen auf Feuerungen außerhalb des zu heizenden Objekts, im Hinblick auf Kesselheizungen also auf solche unterhalb des Kessels. Bei Innenfeuerungen dringt die gesammte nach unten gestrahlte Wärme durch die Kesselwand in das Wasser und wird auf diese Weise vollständig gewonnen. Eine starke Unterstrahlung erscheint hier sogar vorteilhaft, weil die derartig dem Brennstoff entzogene Wärme nicht späterhin Heizfläche in Anspruch nimmt. Die niedergefallene Asche muß nur oft herausgezogen werden, da sie als schlechter Wärmeleiter den Durchgang der Wärme hindert.“

Kofstah-Formen. Wie schon oben angeführt, werden die Plankofse aus einzelnen Stäben zusammengesetzt, welche sich mit ihren Enden auf querliegende Kofsträger stützen. Die Oberflächen sämtlicher, einen Kof bildenden Stäbe kommen dabei in ein und dieselbe Ebene zu liegen.

Die Stäbe, sowie die Träger werden meistens aus Gußeisen hergestellt. Die Länge der Kofstäbe ist abhängig von der Koflänge; kleine Kofse bestehen nur aus einer Stablänge, größere werden aus zwei oder mehreren Lagen von Stäben gebildet, so daß ein großer Kof bei kurzer Stablänge bisweilen aus vier hintereinander folgenden Stab-Lagen besteht.

Die Zahl der nebeneinander zu legenden Stäbe richtet sich nach der Stabdike. Je größer die Breite des Kofses und je geringer die Dike der Stäbe, desto mehr sind davon erforderlich, um die verlangte Kofbreite zu erhalten.

Bei der Herstellung eines Kofstes muß vor allen Dingen dafür Sorge getragen werden, daß den einzelnen Stäben Raum gegeben werde, um sich frei ausdehnen zu können, weil sie andernfalls aufeinander drückend, sich verbiegen und die Träger oder das Kesselmauerwerk auseinanderdrängen würden. Dies ist nicht bloß wegen der Volumvergrößerung erforderlich, welche die Stäbe durch Erwärmung erfahren, sondern auch mit Rücksicht auf den Umstand, daß das Gußeisen bei häufiger und starker Erhitzung einer dauernde Volumvergrößerung zeigt, die nach den Beobachtungen von Brix in linearer Richtung 2 bis $3\frac{3}{4}$ Prozent betragen kann.

Der Querschnitt der Kofststäbe ist in der Regel ein langgestrecktes Trapez um der vorbeistreichenden Luft eine möglichst große Berührungsfläche darzubieten. Die Stäbe sind oben, je nach ihrer Größe, um 3 bis 6 Millimeter stärker als unten, also die Kofstspalten unten weiter als oben, was den Zweck hat, daß die Asche sowie kleine Schlacken und Kohlentheilchen, welche oben zwischen die Spalten gerathen sind, auch leicht in den Aschenraum fallen und die Spalten nicht verstopfen können.

Die Enden oder Köpfe der Kofststäbe sind weniger hoch als der übrige Theil des Stabes, damit dessen Schwerpunkt unter die Auflagefläche zu liegen komme, um einem Umkippen oder Schiefstellen der Kofststäbe vorzubeugen. Die Köpfe werden dagegen um soviel dicker als die Stäbe gemacht, wie der Zwischenraum zwischen zwei Stäben, also so groß wie die Spaltenweite sein soll.

Figur 7 zeigt einen Theil eines Planrostes wie er früher allgemein ausgeführt wurde. Es sind a die Köpfe, b die Verdickungen in der Mitte der Stäbe die ebenso wie die Köpfe die Spaltenweite bestimmen. Die Zwischenräume zwischen den Kofsträgern c sollen den Stäben eine freie Ausdehnung gestatten. Es ist aber leicht einzusehen, daß Schlacken und Kohlenschiefer, welche zwischen die Köpfenden gerathen, die freie Ausdehnung der Stäbe leicht hemmen können und aus diesem Grunde formt man in neuerer Zeit die Kofststäbe zweckmäßiger Weise so, wie

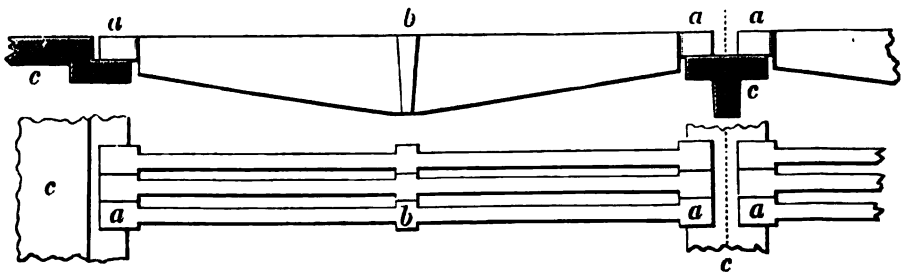


Fig. 7.

Figur 8 angiebt. Die Stäbe dieses Koftes sind an einem Ende a haftenförmig ausgefchnitten und greifen über den durchbrochenen Kofsträger c, wodurch ihre Lage gefichert ift; am andern Ende b find die Stäbe abgefchrägt und ruhen lofe auf einem entfprechend abgefchrägten Kofsträger, auf welchem fie fich in der Längenrichtung frei verfchieben können, ohne durch Schlacken daran gehindert zu werden. Auch bilden die Köpfe a der Stäbe nicht, wie bei dem alten in Figur 7 gezeichneten Kofte eine fo große todtte Koffläche, fondern geftatten der Verbrennungsluft, ebenfo wie der Afche, mehr freien Durchgang.

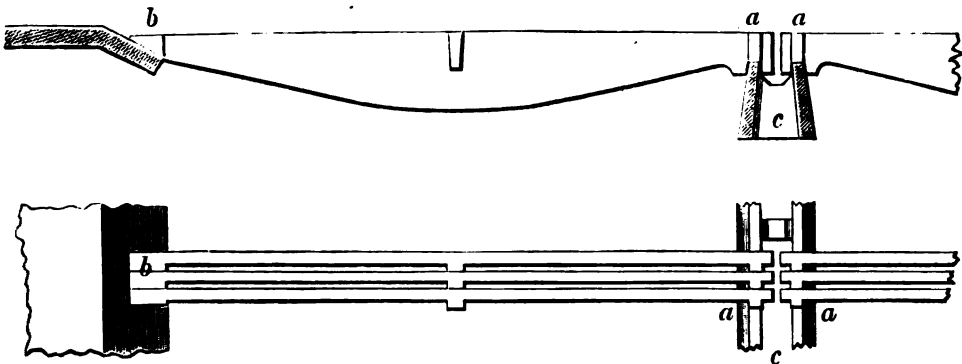


Fig. 8.

Derfelbe Zweck wird auch erreicht durch den in Figur 9 dargeftellten Kof, welcher befonders in England gebräuchlich ift. Bei demfelben find die

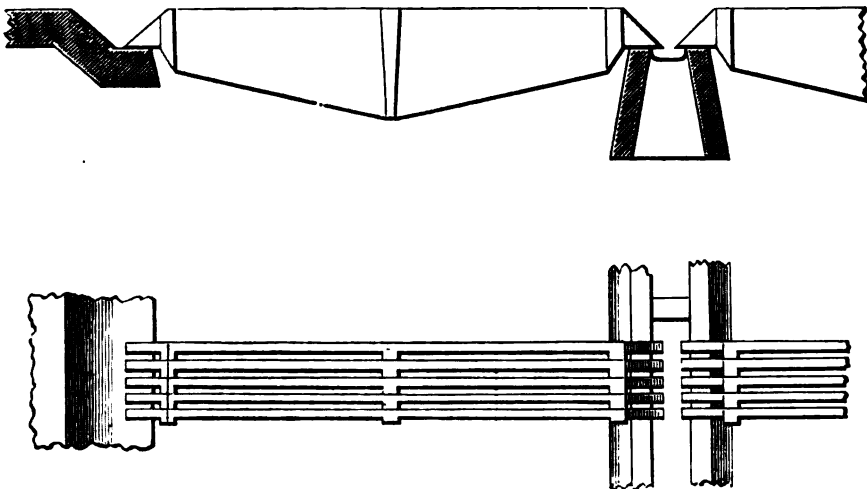


Fig. 9.

Abschrägungen der Köpfe beiderseitig oben angebracht, wodurch die etwa zwischen die Köpfe gerathende Schlacke eine Ausdehnung der Stäbe nicht hindert, sondern dieselbe gelockert und nach oben gedrückt wird.

Figur 10 zeigt den Mehl'schen Kofst. Bei diesem ist in sehr zweckmäßiger Weise der freien unbehinderten Ausdehnung der einzelnen Stäbe dadurch Rechnung getragen, daß zwei benachbarte Stablagen gar keinen

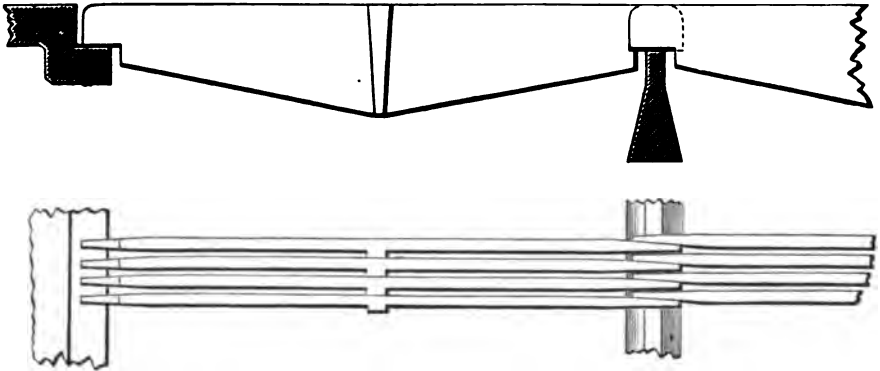


Fig. 10.

Zwischenraum zwischen ihren Köpfenden frei lassen, in welchen sich Schlacke einkeilen könnte. Anstatt bei andern Kofststäben die Köpfe verdickt sind, nimmt hier die Dicke des Stabendes ab, so daß die Stäbe mit ihren Enden zwischen einander greifen und sich somit frei ausdehnen können, wodurch zugleich die Spaltenweite gesichert wird. In der Mitte der Stäbe sind wie bei anderen Kofsten Verdickungen zu demselben Zwecke angebracht, der mittlere Kofsträger zeigt oben nur eine schmale Auflagefläche, um der Luft und der Asche einem möglichst freien Durchgang zu gestatten.

Früher gab man den Kofststäben in der Mitte eine größere Höhe als an den Enden, vermuthlich um einer Durchbiegung nach unten vorzubeugen. Eine solche ist aber wegen der sehr geringen Belastung eines einzelnen Stabes durch das Brennmaterial überhaupt nicht zu befürchten. Eine große Höhe des Stabes hat nur den Zweck die Abkühlungsfläche desselben zu vergrößern, und da nun ein Kofststab in der ganzen Länge einer gleichen Erhitzung ausgesetzt ist, so ist auch an allen Punkten eine gleich große Abkühlung wünschenswerth. Hieraus folgt, daß es richtiger ist, die Kofststabhöhe überhaupt groß und überall gleich hoch zu nehmen, sowie jede unnütze Vergrößerung der todten Kofstfläche zu vermeiden. Daher macht man die Verdickungen der Stäbe in der Mitte nicht mehr, wie bei allen alten Stäben oben breit und

unten schmal, sondern umgekehrt, oder man läßt diese am besten gar nicht bis zur Oberkante hinaufreichen.

Ein Beispiel eines neueren, diesen Anforderungen genügenden Kroststabes stellt Figur 11 dar. Derselbe zeigt bei *a* einen hakenförmigen Kopf, bei *b*

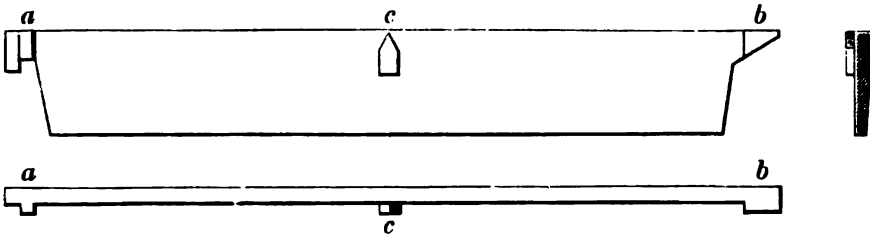


Fig. 11.

eine abgechrägte Auflagefläche und bei *c* eine, nach oben zugespitzte Verdichtung zur Sicherung einer gleichmäßigen Spaltweite.

Um einerseits die Kroststäbe durch die vorbeiströmende Luft möglichst abzukühlen und andererseits das Durchfallen kleiner Kohlentheilchen durch die Krostspalten soweit es angeht zu beschränken, hat man die Spaltenweite immer kleiner und die Stabdicke immer geringer gemacht, wodurch die Haltbarkeit der gegossenen Stäbe natürlich geringer wird; die Folge davon ist, daß man auch die Länge der Stäbe nicht mehr so groß wie früher nehmen darf. Solche dünne und kurze Stäbe haben aber auch nur ein geringes Gewicht und gerathen deshalb beim Schüren des Feuers leicht in Unordnung, fallen dabei auch wohl gelegentlich in den Aschenraum — und dies veranlaßte die Anwendung von Kroststäben wie Figur 12 zeigt, die zwar schon längere Zeit unter dem Namen Champagne-Kroststäbe bekannt sind. Der hier dargestellte Stab ist als ein, aus drei ungleich hohen durch Querstege mit einander verbundenen Stäben bestehendes Bündel anzusehen, welches aber in einem Stücke gegossen ist. Ein solcher Stab hat eine größere Haltbarkeit, liegt sicherer in seinem Lager als drei einzelne Stäbe und kann deshalb in einer größeren

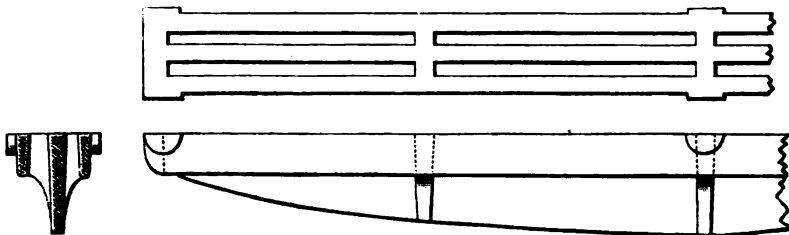


Fig. 12.

länge ausgeführt werden. Ein zweites Beispiel eines solchen Kofststabes zeigt www.k13.lib.de derselbe besteht aus zwei, oben in der ganzen Länge und weiter

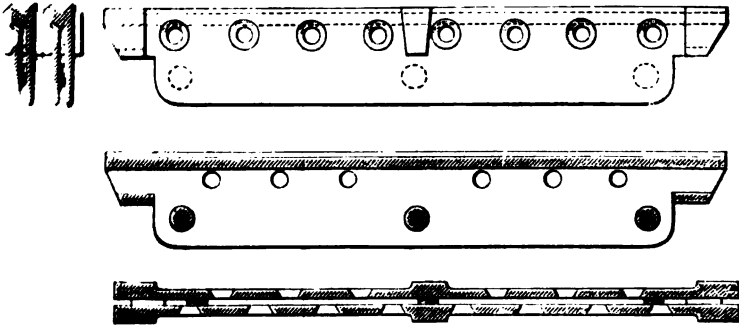


Fig. 13.

unten noch durch drei Querstege mit einander verbundenen Wangen. Die Oberfläche des Stabes ist aber nicht eben, sondern zeigt eine stumpfwinkelige, der Länge nach hinlaufende Furche, die den Zweck haben soll, den glühenden Kohlen weniger Berührungspunkte zur Erhitzung des Stabes zu bieten, indem man voraussetzt, daß sich die Furche mit Asche anfüllt, welche als schlechter Wärmeleiter, dem Stabe mehr Schutz gegen übergroße Erhitzung gewähren soll. Groß kann dieser Schutz gewiß nicht sein, weil beim Schüren und Zusammenschieben der Kohlen die Furche doch nicht immer mit Asche gefüllt bleiben wird.

Um der kühlenden Luft, welche zwischen die Wangen tritt, einen Ausweg zu schaffen, sind beide Wangen oben, dicht unter dem Verbindungsstege mit verfestigt gestellten Löchern versehen, damit die Luftströme nicht auf einander treffen. Die kühlende Wirkung der zwischen die Wangen tretenden Luft kann aber auch nicht bedeutend sein, weil die wenigen verhältnismäßig kleinen Löcher höchstens verhindern, daß die Luft zwischen den Wangen sich nicht staut; die nothwendige zweimalige Richtungsänderung der durch die Löcher strömenden Luft muß deren Geschwindigkeit bedeutend verzögern und kann den Luftstrom, welcher durch die oben offenen Spalten zwischen zwei Stäben fließt, nur hemmen. Viel besser würde es sein, wenn sich zwischen den mit einander verbundenen Wangen ebenfalls ein durchgehender, d. h. oben ganz offener Spalt befände. Die Wangen könnten dann etwas stärker sein, weil sich die Spaltenzahl verdoppeln würde.

Die Erkenntniß des Umstandes, daß die Oberfläche der Kofststäbe bedeutend stärker erhitzt wird, als der untere Stabtheil, in Folge dessen ein Stab leicht springt, oder sich krumm zieht, hat Mehrere veranlaßt, die Ober-

fläche des Stabes mit Einschnitten zu versehen, wodurch zugleich die freie Krostfläche vergrößert wird und der Stab länger und größer gemacht werden kann.

Der Gedanke ist jedenfalls sehr richtig, weil die, durch die Einschnitte gebildeten kleinen Köpfchen sich unabhängig von dem übrigen Stabe frei ausdehnen können, ohne in dem Stabe erhebliche Spannungen zu verursachen, aber auch dieses Auskunftsmittel hat seine Schattenseiten. Zunächst ist die Reinigung eines solchen Krostes von Schlacken auf alle Fälle schwieriger als eines nur aus glatten Stäben zusammengesetzten Krostes mit nur parallelen geraden Spalten. Was aber die Vergrößerung der freien Krostfläche anlangt, so kann letztere auch durch glatte Stäbe leicht in ausreichender Größe erhalten werden. Eine bessere Vertheilung der Verbrennungsluft durch die Querspaltungen, wie sie bei solchen Stäben als Empfehlung hervorgehoben wird, ist aber kaum zu erwarten, auch nicht nöthig, da die aus den Spalten tretende Luft wegen ihrer bedeutenden Ausdehnung durch die Erhitzung, und bei der großen Unregelmäßigkeit der Kohlenstücke, sogleich in alle Zwischenräume zwischen die Kohlen gedrängt, also zu einer Ausbreitung gezwungen wird.

Als ein Beispiel eines solchen viel verbreiteten Krostes sei hier der Polygon-Krost von Selwig & Lange angeführt der in Figur 14 dargestellt ist. Die Stäbe dieses Krostes sind unter sich alle gleich, haben aber ver-

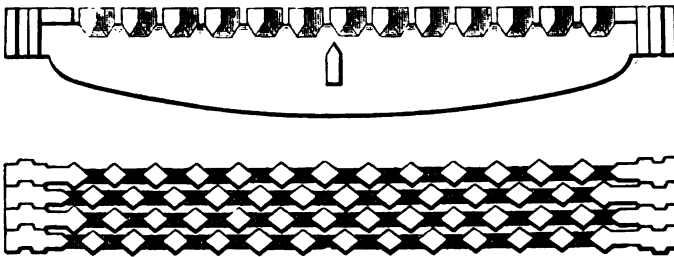


Fig. 14.

schieden geformte Enden, lassen sich jedoch, wie die Figur zeigt, zu einer rechteckigen Fläche zusammenlegen.

Alle bis jetzt hier angeführten Kroststäbe sind aus Gußeisen hergestellt und daher, wenn ihre Dicke sehr gering ist, leicht zerbrechlich. Man fertigt deshalb dünne Kroststäbe auch aus Schmiedeeisen an, und damit dieselben eine gesicherte Lage erhalten, d. h. beim Schüren nicht so leicht in Unordnung gerathen und gegen seitliche Verbiegung geschützter sind, vereinigt man zwei

bis drei Stäbe durch Vernietung zu einem Stabbüchel, bei welchem durch dazwischen gefügte kleine Platten die Spaltenweite unverändert erhalten wird. Solchen Kofststäben wäre ebenso, wie den durch Guß hergestellten Stabbücheln nur der Vorwurf zu machen, daß sich in ihren unveränderlichen Spalten leichter Schlacken festsetzen, diese also die Spalten verstopfen können, als bei den Kofsten, die nur aus losen Eisenstäben bestehen.

Ein schmiedeeiserner Kofststab der eben beschriebenen Art ist in Figur 15 dargestellt. Derselbe besteht aus Walzeisen von flach trapezförmigem Querschnitt;



Fig. 15.

je drei Schienen von der Stablänge sind durch zwei Nieten mit zwischen-gefügter dreieckiger oder trapezförmiger Platte, deren Dicke gleich der Spaltenweite ist, zu einem Packel oder Bündel vereinigt. Die Nietköpfe sind auf einer Seite versenkt, auf der andern treten sie jedoch so weit aus der Stabfläche hervor, daß die Stäbe aneinandergeschoben ebenso weite Spalten freilassen, wie die durch die dreieckigen Platten gebildet.

Aus dem Vorstehenden dürfte zur Genüge hervorgehen, daß es nicht sehr viel auf die Form des Kofststabes ankommt, sobald der Kofst nur den oben angeführten Anforderungen genügt, nämlich daß er

1. die nöthige Menge Verbrennungsluft in guter Vertheilung zu dem Brennstoff treten,
2. möglichst wenig unverbrannte Kohlenstückchen in die Asche fallen,
3. sich leicht von Asche und Schlacken reinigen lasse und
4. möglichst dauerhaft sei.

Allen diesen Anforderungen genügt aber ein einfacher glatter Stab, der dünn und hoch ist und eine angemessene Länge hat, etwa der in Figur 11 dargestellte, ebensogut, oft sogar besser, als andere Stäbe von weniger einfacher Form.

Ueber das Verhältniß der freien zur Gesamtrostfläche sind bereits oben Angaben gemacht worden; es erübrigt hier nur noch die Bemerkung, daß man das passende Verhältniß stets einhalten kann, gleichgültig, ob man dicke

oder dünne Stäbe anwendet; denn je dicker der Stab gemacht wird, desto breiter muß man die Spalten wählen, wenn nur das Verhältniß der Spaltenweite zur Stabdicke dasselbe bleibt, wie das Verhältniß der freien zu der todten Koflfläche. Man wird demnach die Abmessungen von Spaltenweite und Stabdike nur dem zu verbrennenden Material anzupassen nöthig haben.

Enge Spalten sind unter allen Umständen vortheilhaft, weil sie eine gute Luftvertheilung und auch eine wirksame Kühlung der Stäbe herbeiführen. Da aber enge Spalten dünne Stäbe bedingen, diese jedoch leichter zerspringen und in Unordnung gerathen, so muß man bei backender, sowie bei stark schlackender Kohle stärkere Stäbe, also auch weitere Spalten wählen, weil die Koflstäbe durch das Aufbrechen der Backkohle und das häufigere Abschladen mehr zu leiden haben, als bei Sandkohlen und solchen, die nur wenig Schlacken zurücklassen.

Für klare und staubige Kohlen müßten naturgemäß die engsten Spalten angewendet werden; doch da man dieselben nicht wohl schmaler als 4, höchstens 3 mm nehmen kann, so würden immer noch sehr viele Kohlentheilchen unbenutzt in den Aschensfall gerathen. Andererseits findet auch die Luft bei diesen, sich immer sehr dicht lagernden Brennstoffen nur schwierig einen Durchgang, so daß es eines kräftigen Zuges bedarf, um dieselben zu vollständiger Verbrennung zu bringen.

Ein kräftiger Zug bei staubigem Brennmaterial hat aber wieder den Nachtheil, daß dadurch viele Brennstofftheile unverbraunt in den Schornstein gerissen werden, und so ist es leicht einzusehen, daß Staubkohlen nur unter erheblichen Verlusten auf Planrosten verwendet werden können.

Es entsteht nun die Frage: „unter welchen Umständen sind diese unvermeidlichen Verluste am geringsten?“

Die Praxis beantwortet dieselbe einfach durch den Ausspruch: „Man mache die Staubkohlen mit Wasser naß, bevor sie auf den Kofl gebracht werden!“

Es ist aber an und für sich immer nachtheilig, nasse Brennstoffe zu verwenden, weil damit immer ein Wärme-Verlust verknüpft ist, der dadurch herbeigeführt wird, daß das Wasser in Dampf verwandelt werden muß, was wie bekannt nur unter Bindung beträchtlicher Wärmemengen geschieht. Indem sich aber der Wasserdampf mit den Heizgasen mischt, vergrößert er deren Volumen, dünkt ihre Temperatur herab und vermindert erheblich ihre Wirksamkeit. Im vorliegenden Falle jedoch sind die direkten Verluste durch unverbraunt bleibende Kohlentheilchen größer, sobald man staubige Kohlen im trockenen Zustande verbrennt, als wenn man sie naß macht.

Massen Staubkohlen und zwar auch die mageren, baden nämlich im angenehmsten Zustande zu breiigen, mehr oder weniger fest zusammenhängenden Klümpchen zusammen, von welchen nur wenig durch die Spalten fällt und die selbst ein lebhafter Zug nicht nach dem Schornstein entführt. Solche zusammenhängende Klumpen gestatten auch der Luft einen leichteren Durchgang.

Das Naßmachen der Kohlen hat aber nur in diesem einzigen Falle mehr Nutzen als Schaden; großstückige Kohlen anzufeuchten, führt immer zu Verlusten. Wenn der Schmied seine Kohlen auf dem Feuer von außen naß macht, so verfolgt und erreicht er damit einen ganz anderen Zweck, nämlich den, die Verbrennungsluft nicht durch den Kohlenhaufen hindurch zu blasen, sondern dieselbe auf eine kleine Stelle im Innern des Kohlenberges zu richten, um daselbst eine möglichst große Hitze zu erzeugen. Die äußeren Kohlen des Haufens werden durch das Benetzen abgekühlt und baden hohlfugelförmig zusammen; in der Höhlung dieser zusammenhängenden Kruste, die nach außen gegen Abkühlung schließt, verbrennen nun die glühenden Kohlen im Innern unter dem Einfluß der hineingepreßten Gebläseluft unter Entwicklung einer sehr hohen Temperatur. Von einer ökonomischen Ausnutzung der hierbei verbrannten Kohlenmenge kann selbstverständlich aber gar keine Rede sein, weil das Ziel dieses Verfahrens nur die Erreichung eines hohen Hitzegrades auf einer verhältnißmäßig kleinen Stelle ist.

Wichtiger als die Form, ist das Material und die Beschaffenheit der Oberfläche bei den Roßstäben namentlich im Bezug auf ihre Brauchbarkeit und Dauer. Die meisten Roßstäbe werden aus Gußeisen gefertigt. Das zu verwendende Gußeisen darf aber kein leichtflüßiges, aber auch kein phosphorhaltiges sein, weil dieses in der Kälte leicht bricht. Die Roßstäbe müssen auch gut gekühlt sein, wenn sie im Feuer nicht springen sollen, weil ihre Temperatur im Gebrauche oben und unten sehr ungleich ist.

Damit aber nicht Schlacken an der Oberfläche der Stäbe festbrennen, was um so leichter geschieht, je sandiger und rauher dieselbe ist, so muß die Oberfläche der Roßstäbe möglichst glatt und dicht sein. Mit recht gutem Erfolge hat man deshalb die Roßstäbe oben glatt geschliffen. Fast eben so gut bewähren sich Hartgußstäbe, d. h. solche mit sehr glatten und harten Oberflächen die durch Schalenquß erzeugt werden.

Anstatt die oberen Flächen der Roßstäbe mit Längsfurchen zu versehen, wie es vielfach geschieht (s. Figur 13) ist es besser, dieselben konvex und möglichst glatt zu machen, weil die Schlacken an solchen Roßstäben sich nicht leicht festsetzen und auch leichter davon abgehoben werden können. Hierbei

verdient die Querschnittsform nach Figur 17 einen Vorzug gegen die Form nach Figur 16. Den Kohlen wird durch solche Kofsttaboberfläche die

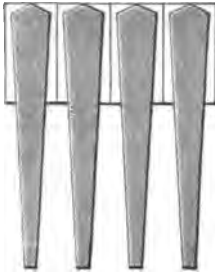


Fig. 16.

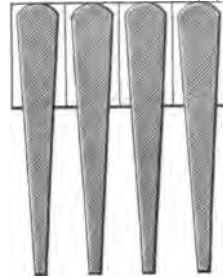


Fig. 17.

Gelegenheit genommen, die todte Kofstfläche zu vermehren. Die ganz unregelmäßig geformten Kohlenstücke haben fast keine einspringenden, sondern meist nach außen springenden Flächenwinkel und daraus ergibt sich, daß die Stücke nur mit mehr oder weniger ebenen Flächen auf dem Kofste ruhen. Ist nun die Kofststabfläche konvex-abgerundet, so kann auch die Verührung zwischen den Kohlenstücken und der Kofstoberfläche fast nur in Ecken und Kanten erfolgen und somit wird hierdurch in viel einfacherer und zweckentsprechenderer Weise dafür gesorgt, daß die aus den Kofstspalten tretende Luft sich sogleich vielfach vertheilt und überall an die Kohlen tritt, wozu sie durch ihre Ausdehnung in Folge der, über dem Kofste herrschenden hohen Temperatur ohnehin gezwungen wird.

Das Ergebnis aus vorstehenden Betrachtungen ist, daß die besten Kofststäbe für Planroste die einfachsten sind. Macht man die Kofststäbe zum Zwecke einer guten Abkühlung dünn und hoch bei angemessener Länge, versieht sie oben mit einer glatten abgerundeten Auflagefläche für die Kohlen und fertigt sie aus einem möglichst widerstandsfähigen Material, so hat man das in dieser Beziehung eben Erreichbare.

Die Planroste werden meist horizontal oder nur wenig nach hinten geneigt angeordnet. Letzteres geschieht namentlich bei Innenfeuerungen, wo man bei genau horizontaler Kofstlage sonst nicht die nöthige Höhe für die Feuerbrücke erhalten würde, um zugleich in einem zweckmäßigen Abstände von der Kesselwand entfernt bleiben zu können.

Einige Fälle, in welchen man auch einen Planroste eine starke Neigung von 50° und mehr giebt, sollen später bei einigen besonderen Kesselkonstruktionen näher besprochen werden.

II. Der Treppentrost.

Ein Hauptübelstand bei einem Planroste der gewöhnlichen Anordnung ist, daß man bei seiner Beschickung mit frischem Brennstoff, sowie beim Schwören des Feuers und dem Abziehen der Schlacken jedesmal die Feuerthür öffnen muß. Hierbei strömt stets eine ziemlich beträchtliche Menge kalter Luft in den Verbrennungsraum ein, welche die Feuergase abkühlt und Veranlassung zu Rauch- und Rußbildung giebt, also Verluste herbeiführt. Leicht brennende Kohlen und andere ähnliche Brennmaterialien, welche schnell herunter brennen, erfordern ein sehr häufiges Öffnen der Heizthür und vermehren dadurch diese Verluste.

Das Bestreben, hier Abhilfe zu schaffen, hat zur Anwendung des Treppentrostes geführt der diesen Mangel nicht hat und auch noch andere Vorzüge in sich vereinigt.

Es sei hier jedoch gleich die Bemerkung vorausgeschickt, daß ein Treppentrost nur für kleinstückiges, bis staub- und pulverförmiges, überhaupt nur geringwerthiges Brennmaterial mit Vortheil anwendbar ist.

Bei einem Treppentrost liegen die einzelnen Roststäbe nicht in Richtung der Länge des Rostes, sondern quer dazu und zwar so, daß sie einer Treppe ähnlich, nach der Feuerbrücke hin abfallend breite, niedrige Stufen bilden, die sich theilweise überdecken. Der Neigungswinkel der Rostebene mit der Horizontalen richtet sich nach der Beschaffenheit des Brennstoffs.

Das Eintragen des Brennmaterials bei einem Treppentrost erfolgt in der Regel durch einen Kumpf- oder Fülltrichter, dessen untere Öffnung sich unmittelbar über der höchsten Stufe des Rostes befindet. Wird der Fülltrichter immer bis eben mit Brennstoff angefüllt, so sinkt dieser, die Trichteröffnung stets geschlossen erhaltend, eigenes Gewicht frei auf den Rost herab und fällt in dem Maße wie die Verbrennung auf dem Roste fortschreitet. Die Stufen bilden ein ganz gleichmäßiges Nachrutschen der Kohlen über den Rost hinweg, weil man dessen Neigungswinkel immer um einige Grade nimmt, als der natürliche Neigungswinkel des anzuwendenden Brennstoffs beträgt: man muß daher durch Stechen und Schwören zwischen ein gleichmäßiges Niedergehen des Brennmaterials herbeiführen, ist Unregelmäßigkeit zeigt.

Man sieht aber, daß zunächst, um frisches Brennmaterial das Öffnen einer Feuerthür gar nicht nöthig, als ein Hineinlassen kalter Luft auch nicht möglich ist.

Ein Treppentrost verhindert, bei entsprechender Anordnung vollständig, daß unverbrenntes Brennmaterial in den Abzug

weil dasselbe nur vorwärts von Stufe zu Stufe bis zu seiner vollständigen Verbrennung niedergeht, und darin besteht ein zweiter Vorzug, den der Treppenrost dem Planroste gegenüber besitzt. Diese gute Eigenschaft macht ihn daher zur Verbrennung von staubigen, erdigen Braunkohlen, Torfgrus, Loh, Sägespänen u. s. w. besonders gut geeignet, sodaß man ihn mit großem Vortheil zur Verbrennung solcher leichten, geringwerthigen Brennstoffe benutzen kann.

Einen gut eingerichteten Treppenrost für Braunkohlenfeuerung, für welche ja die meisten Treppenroste im Gebrauche stehen, zeigt Figur 18.

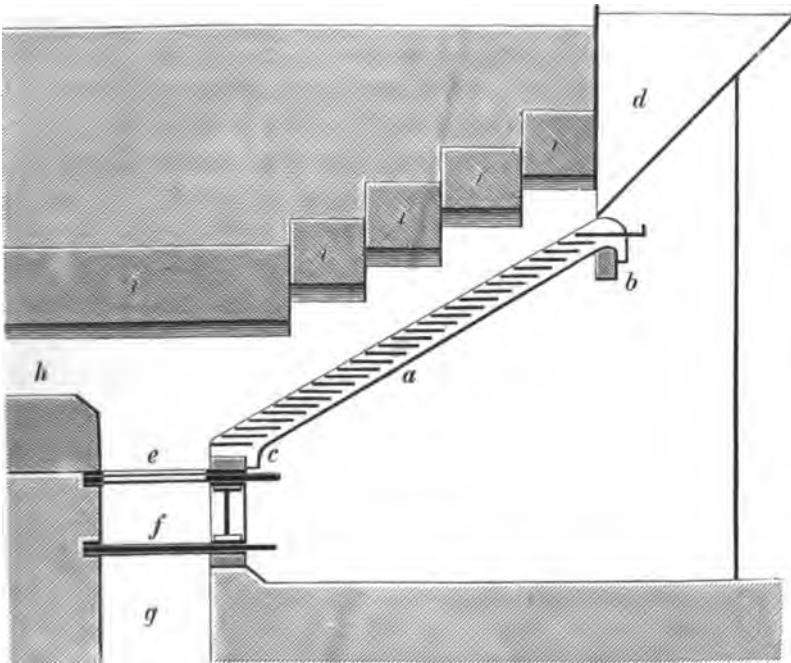


Fig. 18.

Es bedeutet a den Rost, b und c die eisernen Träger desselben, d den Fülltrichter, e einen kurzen aus einzelnen Schiebern gebildeten Planrost zur schließlichen Verbrennung der bis dahin gelangten aber noch nicht vollständig verbrannten Kohlentheilchen. f sind mit diesem parallele die Luft abschließende, d. h. nicht durchbrochene Schieber, welche die Asche und Schlacken von dem kleinen Planroste zunächst aufzunehmen haben. Diese Plattenschieber überdecken eine Oeffnung g, die sich über den Aschenkanal befindet. h ist die Feuerbrücke und i ist feuerfestes Mauerwerk, welches den ganzen Rost gewölbartig überdeckt.

Der Kofz selbst besteht aus drei oder vier parallelen Wangen mit zwei oder vier dazwischen befindlichen Stäben. Zur Aufnahme und Unterstützung der aus Plattenentriemen gebildeten Kofzstäbe bedürfen die Wangen vorderseitig angebrachte Klappen, welche die Lage der einzelnen Stäbe sichern und in solchen Entfernungen angebracht sind, daß zwischen je zwei aufeinander folgenden Stäben oder Stufen Abstände von etwa 20 mm sein sollen, während die Bordertanten der Stufen einen Winkel von etwa 30° gegen die Horizontale bilden.

Die Dicke der Stäbe beträgt je nach ihrer Länge 8 bis 12 mm und ihre Breite 100 bis 120 mm. Bei dem angegebenen Neigungswinkel überdeckt jeder Stab den darunter liegenden um etwa 48 mm, so daß kein Kohlenstückchen direkt durch Herabrollen in den Kofzraum fallen kann. Eisenklappen, welche rückwärts rollen, bleiben auf den Stufen liegen.

Die Länge der Stäbe, d. i. die lichte Weite zwischen zwei Wangen beträgt 0,4 bis 0,6 m, die Dicke der Wangen 25 bis 30 mm und ihre Breite 100 bis 120 mm.

Anstatt die Stäbe lose zwischen die Wangen einzulegen, findet man auch Wangen und Stäbe schraffenartig in zusammenhängenden Stücken gegossen, man darf dann aber die Stablänge nicht zu groß nehmen, weil die freistehenden Stäbenden bei unvorsichtigen Stechen leicht abbrechen können. Zu empfehlen ist eine solche Einrichtung überhaupt nicht.

Wie oben angegeben, soll der Neigungswinkel des Kofzes gegen die Horizontale stets um einige Grade kleiner sein, als der natürliche Böschungswinkel des frei aufgeschütteten Brennmaterials ist, und dies ist von besonderer Wichtigkeit, damit die Kohlenschicht sich oben dicker als unten gestalte. Dies ist nicht nur zweckmäßig damit die Kohlen unten sicher zum Ausbrennen kommen, sondern auch deshalb, weil man im anderen Falle eine gute Bedienung des Kofzes gar nicht in der Gewalt haben würde. Aufgabe ist es nämlich, dahin zu sorgen, daß der Kofz stets und überall mit einer angemessenen hohen, möglichst gleichmäßigen Kohlenschicht bedeckt sei. Wäre der Neigungswinkel des Kofzes größer, als der Böschungswinkel, so wäre man nicht im Stande, immer eine angemessene Schichthöhe zu erhalten, weil jedes Schichten die Schicht nach unten verstärken und verursachen würde, daß immer frische Kohlen bis nach der tiefsten Stelle des Verbrennungsraumes gelangen, also nicht gut ausbrennen würden.

Im Ganzen ist die Bedienung eines Treppenkofzes viel einfacher und leichter, als die eines Plankofzes, und erfordert, wenn der Treppenkofz richtig angelegt ist, auch nicht soviel Aufsicht und Gewandtheit wie ein Plankofz.

Hält man den Fülltrichter nur immer gefüllt und befördert das Herabgleiten der Kohlen über die Stufen nach Erfordern durch Einschieben eines dünnen flachen Schütreisens zwischen die Luftspalten, und sorgt man für rechtzeitige Entfernung von Asche und Schlacken, so findet ununterbrochen eine recht gleichmäßige Verbrennung und zwar ohne Rauchbildung und ohne großen Luftüberschuß statt. Hierbei gewährt die geneigte Lage des Rostes eine bequeme Uebersicht über seine ganze Unterfläche und gestattet, jede einzelne Stelle, an welcher der Rost etwa nur mangelhaft bedeckt ist, leicht heraus zu finden, um dort nachhelfen zu können, was sehr leicht ist. Ist die Neigung des Rostes nicht zu groß, so läuft man nicht Gefahr, durch Nachstoßen frische Kohlen über den ganzen Rost hinweg bis nach dem kleinen Planroste zu schieben, wo ihre Verbrennung nur eine mangelhafte sein könnte. Dieser kleine Planrost hat nur den Zweck, die Asche und Schlacken, sowie die kleinen, etwa noch nicht ganz ausgebrannten Kohlentheilchen aufzunehmen. Haben sich darauf Asche und Schlacken angehäuft, so bringt man dieselben durch Vorziehen der Rostschieber e zunächst auf die Plattenschieber f, schiebt den Planrost wieder an seine Stelle und bedeckt ihn durch Nachstoßen mit einer dünnen Schicht von Asche und Kohlen. Hierauf erst befördert man Asche und Schlacken durch Herausziehen der Plattenschieber durch die Oeffnung g in den Aschenkanal.

Man sieht hieraus, daß auch das Abschladen leicht vor sich geht, ohne den Gang des Feuers zu stören und ohne kalte Luft eintreten zu lassen.

Ist der untere, nicht durchbrochene Schieber f von Asche und Schlacken befreit, so schiebt man ihn wieder ein; durch denselben kann man auch die Luft zu dem kleinen Planroste, je nach Bedarf, ganz oder theilweise absperrern. Sollte z. B. bei dicht bedecktem Roste ein Luftmangel eintreten, so lüftet man die Platten etwas, um durch den Luftzutritt die Verbrennung zu einer vollständigen zu machen. Zweckmäßig angebrachte Schaulöcher gestatten leicht, den Gang des Feuers öfter zu beobachten.

Ganz frei von Mängeln ist indeß ein Treppenrost auch nicht, doch sind dieselben nicht erheblich, nur muß man ihn nicht für Brennmaterialien anwenden, für welche er sich nicht eignet. Ein Mangel des Treppenrostes besteht darin, daß er die Asche nicht selbst durchfallen läßt, sondern daß sich dieselbe mit den brennenden Kohlenstückchen mischt und auf dem Roste verbleibt, bis sie erst am Ende des Rostes ausgestoßen werden kann. Mittels eines breiten Schütreisens, das man dicht auf den Roststäben unter den Kohlen hindurch zieht, muß man die Asche ablösen und nach und nach auf den Planroste befördern.

Ein weiterer Nachtheil ist der, daß die brennenden Kohlen mit einer großen todtten Auflagefläche in Berührung sind und sich dadurch stark abkühlen, in Folge dessen auf einem Treppenroste nur da eine lebhaftere Verbrennung stattfindet, wo die Luft durch die Spalten streicht, während die grade auf den breiten Stufen aufliegenden Stücke zunächst nur verkohlen. Doch auch dieser Uebelstand ist nicht so bedeutend, da man Treppenroste fast nur in Vorfeuerungen anwendet, wo man die Temperatur leicht genug auf die nothwendige Höhe bringen kann; auch schützt diese Bedeckung der Stäbe dieselben vor rascher Zerstörung. Endlich bleiben die Kohlen auch nicht immer auf derselben Stufe liegen, sondern fallen durch das Nachstoßen auf die schon in Glut befindlichen Kohlen der niedrigeren Stufe, wo sie verhältnißmäßig schnell ausbrennen.

Daß sich Treppenroste für dichte, schwere und großstückige Brennstoffe nicht eignen, ist schon angeführt worden, sie sind also unbrauchbar für Kohls, Anthrazit und Steinkohlen, am wenigsten aber für solche Steinkohlen, welche schlacken, backen oder auch nur sintern, denn ein Treppenrost gestattet kein Aufbrechen zusammengebackener Kohlenklumpen und kein Abstoßen und Losbrechen festgebrannter Schlacken, ohne sogleich in Unordnung zu gerathen. Auch würde er selbst, sowie das, den Rost überspannende Ofenmauerwerk bei der hohen Verbrennungstemperatur, welche die Steinkohlen entwickeln, nur von sehr geringer Dauer sein.

Treppenroste werden besser breit und kurz, als lang gemacht, weil sich dann die Verbrennung besser und gleichmäßiger regeln läßt; sie sind daher für Innenfeuerungen wenig geeignet.

Auch bei den Treppenrosten kommen einige Abweichungen hinsichtlich ihrer Bauart vor. So hat man, um z. B. das Feuer sofort vom Kessel entfernen zu können, den ganzen Rost um eine horizontale Achse drehbar eingerichtet; mittels eines Hebels kann man den ganzen Rost sofort umkippen, wobei die daraufliegenden Kohlen in den Aschenfall stürzen u. s. w.

Bequem für das Anzünden des Feuers ist die Anbringung einer Thür oder Klappe am untern Theile des Fülltrichters. Auch ein Blechchieber zum Verschlusse der unteren Oeffnung desselben, der sich durch Schraube und Handrad genau und sicher reguliren läßt, wird zweckmäßig angebracht.

3. Besondere Feuerungseinrichtungen.

Der größte Mangel, welcher einem Planroste anhaftet, besteht wie früher dargelegt darin, daß die Verbrennung auf demselben keine ununterbrochen gleichmäßige sein kann, weil das Feuer periodisch zu schüren, der Rost nach Erforderniß auch von Asche und Schlacken zu reinigen, sowie

frisches Brennmaterial einzutragen ist. Alles dies kann nur bei geöffneter Heizthür geschehen; durch diese strömt aber eine große Menge kalter Luft ein, welche den Verbrennungsraum abkühlt und dadurch zu Rauch- und Rußbildung Veranlassung giebt.

Beim Treppenrost fällt dieser Uebelstand weg, weil ein Oeffnen der Heizthür nicht nöthig ist; derselbe ist aber wie gesagt, nur für leichte und geringwerthige Brennmaterialien anwendbar und passend. Um nun der Vortheile, die ein Treppenrost gewährt, auch bei anderen Brennstoffen theilhaft zu werden, hat man schon seit einer Reihe von Jahren versucht, den Planrost so einzurichten, daß er ohne Heizthür, mithin ähnlich wie ein Treppenrost, bedient werden kann. Dazu ist erforderlich, daß der Brennstoff zunächst stetig auf den Rost geschafft werde, was bei einer gewissen Stückgröße der Kohlen recht wohl durch einen Schütt- oder Fülltrichter erfolgen kann. Um aber den Brennstoff mit einer Geschwindigkeit, welche der Aufzehrung der Kohlen auf dem Roste entspricht, darauf ununterbrochen vorrücken zu lassen, dafür stehen nur zwei Wege offen. Entweder muß man die auf dem horizontalen oder doch nur sehr wenig geneigten Planroste aufgegebenen Kohlen durch mechanische Mittel weiterbefördern, oder man muß dem Planroste eine so starke Neigung geben, daß die Kohlen darauf durch ihr eigenes Gewicht in dem Maße nachrücken, als ihre Verbrennung fortschreitet.

Den ersten Weg haben viele englische Techniker eingeschlagen und eine Anzahl von sogenannten mechanischen Heizern konstruirt, die zum Theil auch ganz beachtenswerthe Erfolge erreichen lassen. Diese Einrichtungen sind aber entweder zu verwickelt oder wirken nur mangelhaft, und erfüllen ihren Zweck meist nur bei Anwendung besonderer Kohlen von möglichst gleichmäßiger Stückgröße; alle aber leiden an dem Uebelstande, daß sie eine mechanische Kraft erfordern, und Transmissionswellen mit Zapfenlagern, Riemenscheiben, Rädern u. s. w. in's Kesselhaus gelegt werden müssen, woselbst wegen des nicht abzuhaltenden Staubes und Schmutzes solche Theile nur schwierig in gutem Gange erhalten werden können, was häufigere Ausbesserungen und Betriebsstörungen unvermeidlich macht.

Der zweite Weg, den Planrost so stark zu neigen, daß die aufgebrachten Kohlen durch ihr eigenes Gewicht nachrutschen, ist auch mehrfach und ebenfalls mit Erfolg beschritten worden. Es liegt wohl auf der Hand, daß dieser Weg der einfachere ist, schon weil man keinen besonderen Mechanismus und keine denselben bewegende Kraft gebraucht, zumal auch kein mechanischer Heizer erfunden werden dürfte, der einen lebendigen ganz entbehrlich zu machen im Stande ist. Wenn bei einem entsprechend geneigten Planroste

über von der Haut des lebendigen Heizers Nachhilfe wie bei einem Dampfmaschine geleitet wird, so kann auf solche Weise recht wohl auch auf einem Kaminfeuer eine gute Verbrennung erzielt werden.

Es mögen hier von dergleichen Feuerungen die beiden besten angeführt werden, welche in Deutschland schon einige Verbreitung gefunden haben, obwohl sie nicht ganz frei von Mängeln sind.

Die erste derselben, die Ten-Brand-Feuerung, ist schon seit 30 Jahren bekannt. Ihr Erfinder, der Fabrikbesitzer Ten-Brand in Arlen hat dieselbe 1860 für Lokomotiven konstruiert und später vielfach für stehende Kessel eingerichtet.

Diese Feuerung erfordert eine besondere Kesselkonstruktion und muß zu ziemlich beträchtlichen Ausbesserungen führen, wie leicht einzusehen ist.

Die Figuren 19 und 20 zeigen eine Ten-Brand-Feuerung an einem Zwickelkessel. Figur 19 stellt die Feuerung links in der Vorder-

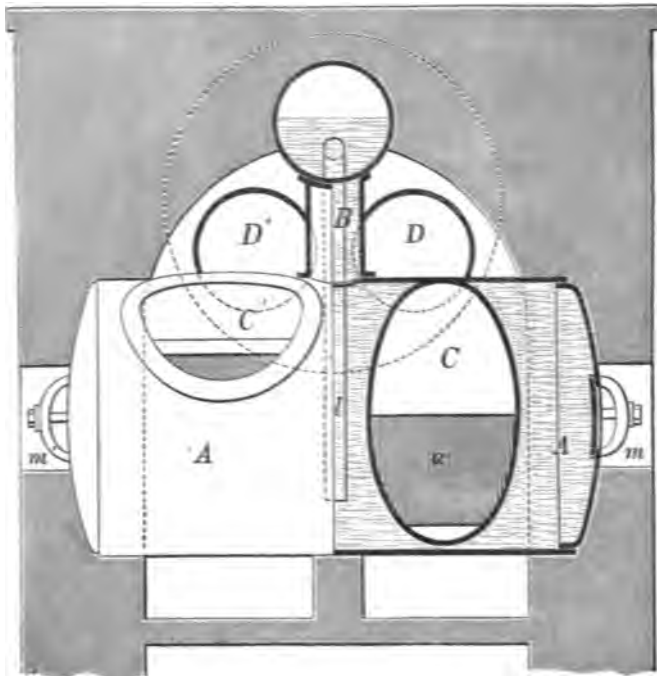


Fig. 19.

Ansicht und rechts im lothrechten Durchschnitte, Figur 20 im lothrechten Längendurchschnitt dar.

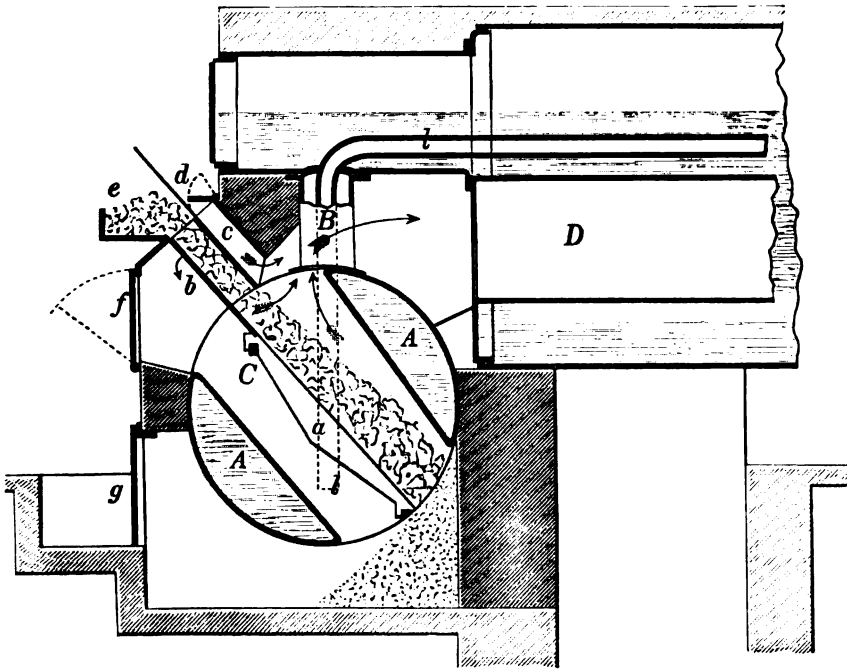


Fig. 20.

Quer vor dem Hauptkessel befindet sich ein kurzer weiter Walzenkessel A, der durch den Stutzen B mit dem Hauptkessel in Verbindung steht. Der Kesselförper A ist von zwei konischen Feuerröhren C und C' von links oben nach rechts unten quer durchdrungen, und in beiden befindet sich eine Feuerung. In der Mitte der Feuerröhren ist ein stark geneigter Planrost a, dessen obere Fortsetzung die Feuerplatte b bildet. Letztere ist die Sohle eines gußeisernen Kastens mit einer zur Feuerplatte parallelen Zwischenwand, welche mit der oberen Decke und den Seitenwänden des Kastens einen Kanal c bildet, durch welchen Luft über die Kohlenschicht gelangen kann. Die durch ein Scharnier drehbar gemachte Klappe d gestattet eine Regelung dieser Oberluft.

Die Kohlen gelangen von einem Fülltrichter e auf die Feuerplatte und gleiten durch ihr Eigengewicht nach und nach über den Rost hinweg.

Der Zutritt der Verbrennungsluft unter den Kofst kann durch die Klapptür f geregelt werden.

Die Kohlen werden hierbei auf dem oberen Kofstheile entgast und kommen weiter unten als Kohls zu vollständiger Verbrennung. Asche und Schlacken, die sich am Ende des Kofstes anstauen, bilden hinten den unteren Abschluß der Feuerung und müssen nach Erfordern vorsichtig entfernt werden, damit vom Kofste nicht unverbraunte Kohlen in die Asche fallen.

Die vom unteren Kofstheile nach vorn zurückschlagenden Flammen und Feuergase müssen ihren Weg über den oberen Kofst und die frischen Kohlen hinweg nehmen, wo sie sich mit den daraus entwickelten Gasen und der Oberluft mischen, was zu einer rauchfreien und guten Verbrennung ohne großen Luftüberschuß führt, sobald Alles wie erforderlich, zusammenpaßt, nämlich: Schichtdicke, Zugstärke, Temperatur und Luftmenge. Die Feuergase treten hierauf in die Flammrohre, d. h. in die Feuerzüge des Kessels.

Die Reigung des Kofstes muß der zu verbrennenden Kohle angepaßt sein und beträgt 45° bis 50° . Damit nicht zu viel klare Kohle durch die Kofstspalten falle, sind die Kofststäbe an der oberen Hälfte mit horizontalen Querrippen versehen, wodurch der Kofst in der Seiten-Ansicht das Aussehen eines Treppenkofstes gewinnt. Diese Querrippen sollen auch das Zustromen der Unterluft beschränken, weil zum Entgasen der Kohlen nicht so viel Luft erforderlich ist wie unten, wo die Verbrennung eine sehr lebhaft ist und eine hohe Temperatur erzeugt. Das Oeffnen einer Feuerthür fällt hier fort, weil die Kohlen selbstthätig nachrutschen; ein Schüren im Allgemeinen ist nicht erforderlich, da sich die Schichtdicke der Kohlen durch die Anstauung der Asche unten von selbst regelt, wenn die Entfernung von Asche und Schlacken in richtig bemessener Weise erfolgt.

Ein Aufbrechen der Kohlenschicht aber, wie solches bei backender Kohle nothwendig wird, ist hier nicht angänglich, da man nur von unten durch die schmalen Kofstspalten etwas nachhelfen, oder das Schüreisen durch den Kanal für die Oberluft einführen muß, was immerhin recht unbequem wird und das Feuer stört. Der Kofst, weil schwer zugänglich, läßt sich auch schlecht beobachten.

Der Kesselförper A muß stets mit Wasser vollständig gefüllt sein. Das Rohr l, welches durch den Stutzen B hindurch geht, führt das Wasser vom hinteren Kesselfeile in den Kesselförper A, aus welchem das Gemisch von Wasser und Dampf durch den Stutzen nach dem Hauptkessel strömt.

Da hier die obere Mündung des Feuerrohrs und der Scheitel des Kesseltörpers A die Stelle der Feuerbrücke vertritt, gerade da, wo außen die größte Hitze herrscht und sich im Innern stets mit Dampfbläschen gemischtes Wasser befindet, so ist leicht einzusehen, daß hier die Vernietung leicht durchbrennen muß und kostspielige Ausbesserungen nicht ausbleiben können. Um eine möglichst schnelle Ueberführung des entwickelten Dampfes nach dem Hauptkessel herbeizuführen, hat man zwar diesen Kesseltheil durch Stützen auch noch zu beiden Seiten mit dem Hauptkessel in Verbindung gesetzt, doch wird dadurch an der Thatsache wenig geändert.

Bei Anwendung einer passenden Kohle kann ein, auf die Ten-Brink-Feuerung gut eingeschulter Heizer damit sehr gute Erfolge erzielen, wie die Berichte über damit angestellte Versuche erkennen lassen, und daher schreiben sich eine Menge von Nachahmungen der Ten-Brink-Feuerung, bei denen auch das Bestreben zu Tage tritt, die Mängel der letzteren zu beseitigen.

Die Abänderungen einer wirklichen Ten-Brink-Feuerung (d. h. Innenfeuerung) können aber niemals zu ganz befriedigenden Ergebnissen führen, und eine derselben ähnliche Außenfeuerung ist eben kein Tenbrink mehr. Außerdem ist aber auch die Ueberlegenheit der Ten-Brink-Feuerung andern gegenüber durchaus nicht darin zu suchen, daß es eine Innenfeuerung ist, sondern daß die Verbrennung dabei mit einem viel geringeren Luft-Überschusse stattfindet, als bei den gewöhnlichen Planrosten. Der Vorzug der Feuerung besteht also darin, daß sie eine Schüttfeuerung ohne Heizthüren ist. Die mannigfachen Abänderungen und Nachahmungen der Ten-Brink-Feuerung sind im Allgemeinen nur als mehr oder weniger gelungene Versuche zu bezeichnen, die guten Erfolge dieser Feuerung, auch durch andere Kesselkonstruktion zu erreichen. Nun wird aber eine Innenfeuerung stets ihre großen Bedenken behalten. Die Tenbrink'sche Anordnung aber als Außenfeuerung, wobei die Feuerbrücke bald durch ein weites Querrohr, bald durch viele enge, entweder grade oder auch gebogene Wasserröhren ersetzt ist, erfährt dadurch ebenfalls keine Verbesserung.

Zu verwickelten Kessel-Einrichtungen zu schreiten, um Vortheile zu erstreben, die man sich durch eine einfachere und solidere Bauart ebenso gut verschaffen kann, bleibt immer bedenklich; es kann davor nicht dringend genug gewarnt werden.

Die zweite, oben erwähnte Schüttfeuerung für Steinkohlen ist die,

F. G. A. Donneley in Hamburg vor einigen Jahren patentirte Feuerung mit Wasserröhrenrost, wovon Figur 21 einen Durchschnitt zeigt.

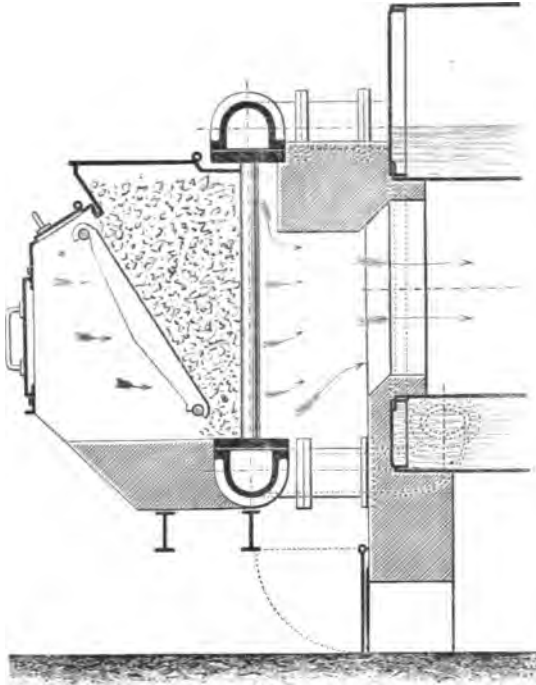


Fig. 21.

Diese Feuerung hat zwei Roste, von denen der eine aus lothrecht stehenden Wasserröhren gebildet ist, welche unten und oben mit dem Wasserraume des Kessels durch horizontale Knieröhre in Verbindung stehen. Vor diesem Wasserröhrenrost befindet sich, sehr steil abfallend ein gewöhnlicher Stabrost, der mit den Wasserröhren eine Art Korb oder Kumpf bildet, in welchen die Kohlen eingetragen werden und daselbst zur Verbrennung kommen. Die hierzu nöthige Luft strömt von vorn durch den Stabrost ein, während die Heizgase durch den Wasserröhrenrost hindurch ziehen, so daß der letztere die Stelle der Feuerbrücke vertritt.

Die Dicke der Kohlenschicht nimmt von oben nach unten ab, die von oben herabsinkenden Kohlen werden zunächst erwärmt und entgast, und gelangen weiter unten als Kohls zu vollständiger Verbrennung, während Asche und Schlacken durch die unter dem Stabroste belassene Spaltöffnung beseitigt werden müssen.

In dem Zwischenraume zwischen den Wasserröhren und den Feuerzügen des Kessels befindet sich oben eine Art hängender Feuerbrücke die nur etwa $\frac{2}{3}$ der lichten Höhe des Wasserröhrenrostes für den Durchgang der Heizgase frei läßt. Es werden dadurch die, aus der frischen Kohle entweichenden Gase gezwungen, ihre Richtung nach unten zu nehmen, wo sie sich mit den sauerstoffhaltigen Gasen aus den tieferen Kohlschichten mischen und zu vollständiger Verbrennung kommen. Bei passender Kohle ist die Verbrennung eine rauchfreie mit nur geringem Luftüberschuß.

Der Zwischenraum, der oben die Feuerbrücke enthält, hat unten eine verschließbare Klappe um ihn von Zeit zu Zeit von Flugasche reinigen zu können.

Da der Wasserröhrenrost in dieser Feuerung der höchsten Hitze ausgesetzt ist, so folgt, daß in den Röhren eine außerordentlich lebhafte Dampfbildung vor sich gehen, und eine starke Wasserzirkulation stattfinden wird, die einen Kesselsteinbeschlag wohl nicht zulassen dürfte; gut ist es auch, daß die Rohrverbindungen der Einwirkung des direkten Feuers entzogen sind.

Auch diese Feuerung darf man wohl von Mängeln nicht ganz freisprechen, obgleich der oben angegebene Zweck hier offenbar viel einfacher und natürlicher erreicht wird, als bei der Ten-Brink-Feuerung; namentlich ist das Kohleneintragen bequemer, die Feuerung ist auch besser zu übersehen und leichter in einem regelrechten Gange zu erhalten, weil die Verbrennungsluft nur auf einem Wege nämlich durch die Kohlen hindurch zum Feuer zu treten hat; denn alle Feuerungen mit mehr als einer Luftzuführung erfordern einen verständigen und aufmerksamen Heizer.

Die Regulirung des Feuers erfolgt nur durch richtige Handhabung des Rauchschiebers; die Beförderung der Asche und Schlacken nach unten und die Reinigung des Rostes von etwa anhaftenden Schlacken geschieht durch ein schwertartiges Schützeisen, womit im Nothfalle auch das Feuer vom Kessel durch den unteren Spalt entfernt werden kann.

Daß man aber jedes Brennmaterial in der Donneley'schen Feuerung gleich gut verbrennen könne, wird wohl nicht anzunehmen sein, jedenfalls keine Klar- oder Grußkohlen; ebenso dürften auch Kohlen mit sehr zähflüssiger Schlacke den Wasserröhren-Rost stark angreifen. Der Letztere, sowie die Verbindung der Röhren untereinander und mit dem Kessel sind Theile, die von allzulanger Dauer nicht sein können. Die Erfahrung weniger Jahre berechtigt noch nicht dazu, der Feuerung in dieser Hinsicht den Vorrang von der Ten-Brink-Feuerung zu geben, obwohl ihr in anderer Beziehung gewisse Vorzüge gegen jene mit Recht zukommen.

Seit einigen Jahren wird mehrfach eine Rostfeuerung empfohlen, welche in der That als eine Verbesserung der gewöhnlichen Planrostfeuerung zu

bezeichnen ist, indem bei ihr das nachtheilige Offenhalten der Heizthüren bei Eintragen der Kohlen, sowie beim Schüren und Abschlacken auf ein geringes Maas zurückgeführt wird.

Das ist die patentirte „Cario-Feuerung.“ Dieselbe beruht auf der Anwendung einer langen muldenförmigen Schaufel zum Eintragen der Kohlen, wie solche zum Beschieben der Gasretorten in den Gasanstalten schon sehr lange im Gebrauche ist, und auf einer sattelähnlichen Form des Rostes, welcher aus quergelegten, stumpfwinkelig geköpften Roststäben gebildet wird. Die beiden nach links und rechts abfallenden Winkelschenkel des Rostes sollen gegen die Horizontale so geneigt sein, daß die im Scheitel des Winkels aufzutragenden Kohlen selbstthätig hinabgleiten und sich über den Rost gleichmäßig ausbreiten, so daß gar kein Schüren erforderlich sein soll.

Figur 22 zeigt die an einem Zweiflammrohrkessel angebrachte Cario-

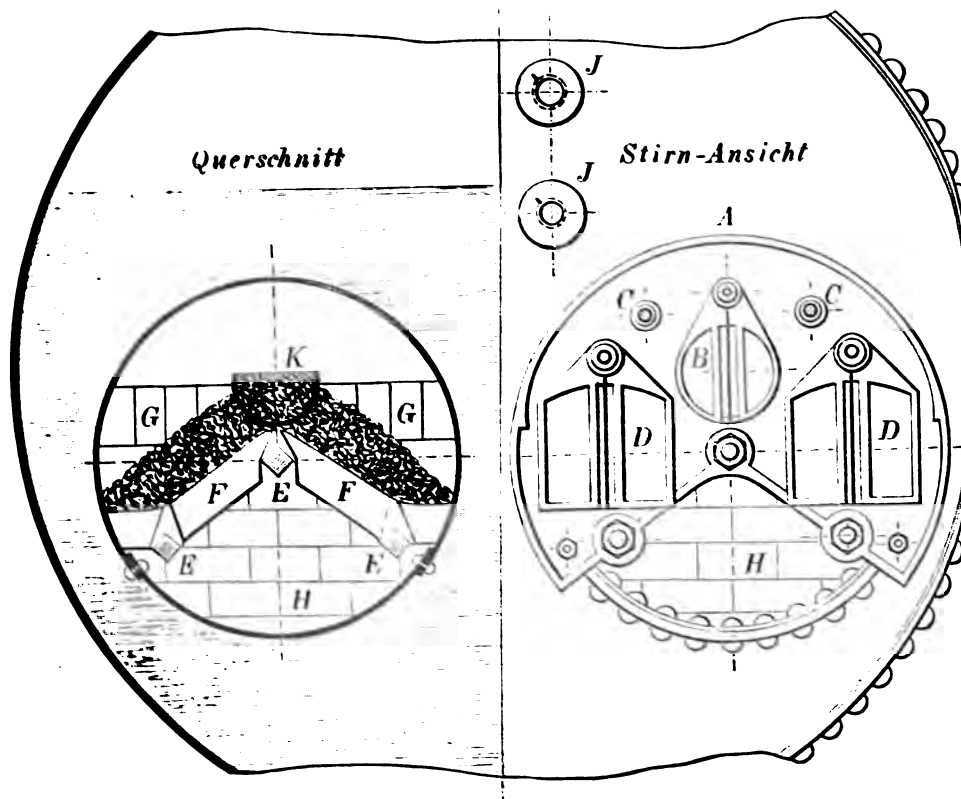



Fig. 22.

Feuerung; links ist Kofst und Kessel im Querschnitt mit der, auf den Kofst zwischen die Kohlen eingeschobenen, muldenförmigen Kohlenschaufel dargestellt, während rechts die Ansicht der Kesselstirn mit dem Feuergefchränt und den nöthigen Oeffnungen zu sehen ist.

Es ist A das Feuergefchränt des rechts befindlichen Flammrohrs, B die Kohlenthür, C sind zwei Schaulöcher, D zwei Schlackenthüren, E sind die längsgehenden Kofstbalken, F der Kofst von  förmiger Gestalt, G die Feuerbrücke, H der Aschenfall, J die Stützen für den Wasserstandszeiger und K die muldenförmige Kohlenschaufel im Querschnitt und mit Kohlen gefüllt.

Der Kofst hat wegen beiderseitiger Neigung eine größere Breite, was bei Innenfeuerung oft sehr erwünscht ist. Der Neigungswinkel ist dem Böschungswinkel des Brennstoßes angepaßt, so daß dieser in gleichmäßiger Schicht auf dem Kofste liegen bleibt, wenn er auf dessen oberer Kante bei K aufgeschüttet wird.

In der vorderen Stirnwand sind die Kohlenthür B und die Schlackenthüren DD angebracht. Dieselben sind zweitheilig und beide Theile pendeln um einen in der Mitte über der Thür angebrachten Drehzapfen. Beim Einschieben eines Geräthes in die Thürspalte drängt dieses selbst die Thürehälften aus einander so weit wie die Dide des Geräthes es beansprucht; nach dem Herausziehen desselben fallen die Thüren selbstthätig wieder zu. Die Oeffnungen C dienen zur Beobachtung des Feuers und sind mit Glimmerplatten verschlossen.

Zum Aufschütten der Kohlen dient die muldenförmige Schaufel K, die so lang wie der Kofst mit Kohlen gefüllt wird und am vorderen Ende keilartig zugespitzt ist, damit sie sich leicht zwischen die Kohlen einschieben lasse. Diese Kohlenmulde wird außerhalb, vor der Feuerung in beliebiger Weise mit Kohlen gefüllt, durch den Spalt der Kohlenthür eingeschoben und innen durch Umdrehen um ihre Längsachse über dem Rücken des Kofstes ausgeschüttet. Dabei schneidet die Mulde mitten durch die glühende Kohlenschicht, drängt diese zu beiden Seiten auf dem Kofst abwärts und schüttet oben in die entstandene Furche ihren Inhalt aus. Dadurch nun, daß hierbei die Kohlen ohne jedes besondere Hinzuthun des Heizers — wenn die Schaufel ordnungsgemäß und richtig angefüllt war — von vorn bis hinten völlig gleichmäßig fallen, auch die helle Glut nicht zugedeckt und abgekühlt wird, daß ferner die zusammengebrannte Kohlenschicht selbstthätig wieder dicht zusammengeschoben, die etwa bakende Kohle hierbei aufgebrochen und aufgelockert und auch der Eintritt schädlicher Mengen kalter Luft verhindert wird, entsteht eine gute wirksame Verbrennung.

Indem so die frischen, kalten nicht auf die glühenden Kohlen, sondern dazwischen gebracht werden, entsteht eine weniger stürmische aber regelmäßige Entgasung, für welche ein Luftmangel leicht zu vermeiden ist; auch ist die helle Glut zur Entzündung und Verbrennung der sich entwickelnden Kohlenwasserstoffgase stets vorhanden, so daß eine Rauch- und Rußbildung nicht statt findet. Der Heizer hat nur für die rechtzeitige Aufschüttung der frischen Kohlen zu sorgen, welche Arbeit hier leichter ist, als bei der Beschickung eines gewöhnlichen Planrostes, da die Kohlen hier nicht geschleudert zu werden brauchen. Die Arbeit des Schürens und Stochens kommt hier in Wegfall, da sie durch die Wirkung der Kohlenmulde ersetzt wird. Der Heizer ist auch wegen der stets geschlossenen Feuerungsthüren nicht der strahlenden Hitze des Feuers ausgesetzt und seine Thätigkeit überhaupt eine weniger anstrengende. Der Gang der Verbrennung ist weniger von der Geschicklichkeit und dem guten Willen des Heizers abhängig.

Die Regelung des Feuers geschieht durch Einstellen des Essenchiebers.

Während die Kohlen auf dem Roste allmählig herabgleiten und verbrennen, sammelt sich die Schlacke auf den tiefsten Stellen des Rostes und wird, sobald dies erforderlich durch die Schlackenthüren D herausgezogen.

Uebrigens kann die Anordnung des Rostes auch umgekehrt, d. h. die Aschenfurche in der Mitte sein, und statt einer Kohlen Thür können zwei, auf jeder Seite eine, angebracht sein, wobei eine abwechselnde Beschickung der seitlich hochstehenden Rostkanten mit je einer geringeren Menge Kohlen nur vortheilhaft wäre, da in diesem Falle die Verbrennung noch gleichmäßiger werden muß.

Ob übrigens alle die vorstehend angegebenen Vorzüge der Cario-Feuerung, die von Seiten der Fabrikanten angegeben werden, sich in der Praxis überall voll bewahrheiten werden, darüber liegen wohl noch nicht genug Erfahrungen vor und muß solches erst noch abgewartet werden; bei Innenfeuerung bedeutet indeß das Eintragen der Kohlen mittels der langen, muldenförmigen Schaufel in der Scheitellinie des Rostes immerhin einen beachtenswerthen Fortschritt.

Man hat die Ten-Brink-Feuerung und ähnliche Einrichtungen, bei welchen erst ein Entgasen oder Abrauchen der Kohlen beabsichtigt, und hierauf erst eine Verbrennung der entwickelten Gase unter Zuhilfenahme von Ober- oder sogenannter Sekundärluft bewirkt wird, Halbgasfeuerungen genannt, zum Unterschiede von dem eigentlichen Gasfeuerungen, bei welchen beide Vorgänge an räumlich getrennten Orten stattfinden, doch ist diese Benennung nur als eine ungenaue zu bezeichnen; wenigstens verdienen dann alle Feuerungen, die mit gasreichen Brennstoffen unterhalten werden,

jenen Namen mit demselben Rechte. Solche Brennstoffe zerfallen sich naturgemäß erst zum Theil in Gas, ehe ihre Verbrennung möglich wird. Ob diese Verbrennung aber vorn oder hinten, oben oder unten, mit Ober- oder mit Unterluft geschieht, ist doch wohl gleichgültig.

Für Dampfkesself Feuerungen, zu welchen man jedes Brennmaterial, das sich am Gebrauchsorte am billigsten stellt, verwenden will, wird mit nur sehr wenigen Ausnahmen immer die direkte, d. h. die Kofstfeuerung die beste bleiben, nur muß dieselbe dem zur Verfügung stehenden Material gut angepaßt sein, und es kann nicht genug empfohlen werden, darüber nur das Urtheil von wirklichen Sachverständigen einzuholen, denn oft bedingen scheinbar geringfügige Nebenumstände oder besondere Eigenschaften eines Brennmaterials eine wesentliche Aenderung der Feuerungs-Anlage, wenn sie das wirklich Erreichbare leisten soll.

Außer diesen Feuerungen sind in den letzten Jahren auch noch einige andere aufgetaucht, welche für gewisse Uebelstände, mit denen die gewöhnliche Planrostfeuerung behaftet ist, Abhülfe schaffen sollen — doch führen dieselben wieder andere Nachtheile mit sich, so daß man sagen kann, daß es eine vollkommene Kofstfeuerung noch nicht giebt, obwohl ganz zweifellos noch Besseres in dieser Hinsicht zu erreichen ist.

B. Gas-Feuerung.

Gasförmige Brennstoffe finden häufig, auch im Großen Anwendung, falls dieselben bequem und billig zu beschaffen sind, oder wenn sich kein anderes Material zur Erreichung eines vorliegenden besonderen Zweckes gleich gut eignet.

Gegenüber den festen, besitzen die gasförmigen Brennstoffe ganz bedeutende Vorzüge, da sie

- 1) leicht in einem ausreichend reinem Zustande erhalten werden können, daher
- 2) bei der Verbrennung weder Asche noch Schlacken hinterlassen und
- 3) unschwer zu vollkommener Verbrennung zu bringen sind.

Der höchste Werth aber liegt bei den gasförmigen Brennstoffen, die wir kurz Brenngase nennen wollen, darin, daß sie mit größter Leichtigkeit in Röhren oder Kanälen an jeden beliebigen Verbrauchsort geführt, zu jeder beliebigen Zeit entzündet und ausgelöscht werden können und dabei die zu erhitzenden Körper wenig oder gar nicht verunreinigen. Diese höchst schätzbaren Eigenschaften sind es, welche die Gasfeuerung besonders in Hüttenwerken und zu metallurgischen Zwecken eine außerordentliche Verbreitung haben finden lassen, und man darf wohl behaupten, daß durch die Gasfeuerung erst eine Menge von technischen Ausführungen, möglich geworden sind, und

zwar mit einer Sicherheit des Gelingens, wie man sie früher nicht für erreichbar hielt.

Mit Ausnahme des Leuchtgases, das man aus den besten dazu geeigneten Brennstoffen beigestellt, weil an dasselbe besondere Anforderungen hinsichtlich der Helligkeit und Leuchtkraft gestellt werden, pflegt man zu Heizzwecken nur geringwertige Brennmaterialien in Brenngas zu verwandeln, während man gute Brennstoffe in der Regel billiger und besser direkt verbrennt. Sie man aber Brennmaterialien, welche zu direkter Verbrennung untauglich sind, doch noch verwerten will und wo es nicht an Platz für die Anlage fehlt, da wird man mit Vortheil Gasfeuerung anlegen und benutzen können.

Ein Wärmeverlust ist mit der Gasfeuerung allemal verbunden, welcher sich aber meist auf den Wärmebetrag beschränkt, welchen die Gase auf dem Wege vom Orte ihrer Erzeugung bis nach dem Orte ihres Verbrauches durch Abstrahlung erleiden; denn die Wärme, die erforderlich ist, um das Gas aus dem Brennstoffe frei zumachen, muß unter allen Umständen angewendet werden, gleichgültig, ob das Brennmaterial erst vergast und darauf als Gas, oder direkt verbrannt wird. Auch wird der erst genannte Verlust gewöhnlich wieder aufgewogen durch eine vollständigere Verbrennung des Gases im Vergleich mit der Verbrennung der Brennstoffe in ihrem festen Zustande. Je länger nun der Weg ist, den das Brenngas zu machen hat, desto geringer ist der Verlust sein.

Das Verfahren, alles Werthvolle des Brennstoffes in Brenngas umzusetzen, müßte nun darin bestehen, daß man denselben zunächst der trockenen Destillation unterwirft, d. h. ihn unter Luftabschluß erhitzt, um Wasserstoff und Kohlenwasserstoff herauszuziehen (ihn entgast) und hierauf den zurückgebliebenen festen Kohlenstoff (Kohls) unter Zuführung von Luft in Kohlenoxid verwandelt. Das Gemisch dieser drei Gase würde dann das Brenngas geben. Kühlt man dasselbe ab, damit sich der Wasserdampf kondensire, so hätte man das Brenngas — so weit dies möglich ist — konzentriert und dasselbe würde wesentlich bestehen aus Kohlenoxid, Kohlenwasserstoff und aus Wasserstoff — letzterem als unvermeidlicher Verunreinigung.

Dieses Verfahren würde aber noch umständlicher, als die Leuchtgasbereitung sein und hätte den Nachtheil, daß sich mit dem Wasserdampf auch zugleich alle kondensirbaren Kohlenwasserstoffe (Theer) ausscheiden würden, wie als Brennstoff sehr werthvoll sind, und daß der Wärmeverlust durch Abstrahlung am größten wäre.

Aus diesem Grunde schlägt man ein einfacheres Verfahren ein. Man legt den Brennstoff in einen Generator, d. i. in eine Art Schachtofen in sehr hoher Schicht ein, und verbrennt ihn darin unvollkommen zu Kohlen-

oxid, das mit dem Stickstoff der Verbrennungsluft mit Wasserdampf und mit wechselnden Mengen von Kohlenwasserstoff gemischt, das Brenngas liefert.

Dieses Brenngas leitet man nun durch längere oder kürzere Kanäle nach dem Orte des Gebrauchs, woselbst es aus Schlitzen, die entweder aus feuerfesten Steinen oder wohl auch aus gußeisernen Hohlkörpern gebildet sind (den sogenannten Brennern) ausströmt und entzündet wird.

Die zur Verbrennung nöthige Luft muß möglichst hoch erhitzt zu dem Brenngase treten, besonders wenn dasselbe weit abgekühlt ist.

Für hüttenmännische Zwecke, wobei es nur auf hohe pirometrische Wirkungen ankommt, geschieht dies zweckmäßig durch Siemens'sche Regeneratoren; dies sind weite Kanäle, die rost- oder gitterartig mit Schamottesteinen ausgefüllt werden und von denen zwei parallel so angeordnet sind, daß beide abwechselnd, einerseits mit dem Ofen und andererseits mit dem Schornsteine oder der freien Luft in Verbindung gebracht werden können.

Bei der Dampfkesselheizung kann indeß von solchen Regeneratoren kein Gebrauch gemacht werden, weil die von den Kesseln nach dem Schornsteine abziehenden Heizgase bereits soweit abgekühlt sind, daß sie nur noch eine Temperatur besitzen, welche zur Zugerzeugung grade noch ausreichend ist. Die nothwendige Erhitzung der Verbrennungsluft für die Gasfeuerung bei Dampfkesseln muß daher auf Kosten der Feuerung selbst erfolgen. Man leitet zu dem Behufe die Luft durch einen, im Ofenmauerwerke, das durch die Feuerung stark erhitzt wird, angelegten Kanal bevor sie sich mit den, den Brennern entströmenden Brenngasen mischt und deren vollkommene Verbrennung bewirkt.

Hierbei liegt aber die Gefahr nahe, daß die Luft, sobald sie nicht hoch genug erhitzt ist, um die Verbrennung der Brenngase einzuleiten und zu unterhalten mit den letzteren explosive Gasgemische erzeugt, die recht gefährlich werden können. Außerdem muß, da die Zugkraft des Schornsteins in der Regel nicht ausreicht, um die dicke Brennstoffschicht im Generator zu durchdringen, der Zug künstlich verstärkt werden. Dies kann durch einen Ventilator oder durch einen Erhaufstor geschehen, doch hat Beides seine Nachtheile, beide Maschinen erfordern eine Transmission und Betriebskraft.

Zweckmäßiger wendet man daher anstatt solcher ein Dampfstrahlgebläse an; ein solches ist viel einfacher, versagt nicht und ist leicht aufzustellen, kann aber auch nur in Thätigkeit treten, sobald man schon Dampf hat, und der hierbei geopfert Dampf erfordert ebenfalls einen entsprechenden Aufwand von Brennmaterial.

Ein zur Erzeugung von Brenngasen dienender Generator unterscheidet sich von einer gewöhnlichen Kofseuerung in der Regel nur durch einen

bedeutend größeren, d. h. tieferen Feuerraum, weil der Brennstoff in einer sehr hohen Schicht eingetragen werden muß, damit er unvollständig verbrenne.

Die Veseitigung von Asche und Schlacken ist bei einem Generator schwieriger als bei der gewöhnlichen Kofstfeuerung, zumal das zur Vergasung sehr grobe, geruchwerthige Brennmaterial meist mehr von solchen Rückständen hinhält, als ein guter Brennstoff. Die Schlacken können hier nicht wohl durch die Eintragsöffnung entfernt, sondern müssen durch eine Spalte am Hesse abgezapfen werden; nur braucht das hier gewöhnlich ohne Nachtheil erst in größeren Zwischenpausen zu geschehen. Je näher der Generator der Feuerung gelegen ist, desto mehr behalten die Brenngase ihre hohe Entzündungstemperatur und sind dann leichter zur sicheren und vollkommenen Verbrennung zu bringen, auch wenn die Speiseluft nicht sehr hoch vorgewärmt ist. Es ist aber leicht einzusehen, daß die ganze Kesselfeuerungs-Anlage mehr Raum und eine umsichtigere Aufsicht und Wartung erfordert, als die gewöhnliche Kofstfeuerung; auch sind häufigere Unterbrechungen des Betriebes mit mehr oder weniger Unbequemlichkeiten, Nachtheilen und Verlusten verknüpft.

II. Die Heizkanäle.

Die Kanäle, welche die Heizgase aus dem Feuerraume aufzunehmen und den zu heizenden Körpern zuzuführen haben und welche Feuerzüge, oder Züge genannt werden, müssen eine angemessene Größe in Beziehung auf Querschnitt und Länge haben.

Eine passende Größe ist deshalb nothwendig, damit die Gase Gelegenheit finden, durch eine ausreichend große Verührungsfläche ihre Wärme an die zu heizenden Körper möglichst leicht abzugeben. Dies wird am besten zu erreichen sein, wenn man die Gase möglichst lange mit den Kesselfwänden in Verührung läßt, und das ist der Fall, wenn die Feuerkanäle recht weit und recht lang gemacht werden. Dabei müßte man aber voraussetzen, daß auch alle Theilchen der heißen Gase mit den zu heizenden Kesselfwandungen wirklich in Verührung treten, und ihre Wärme abgeben können. Macht man aber die Züge sehr weit, so wird die Geschwindigkeit des Heizgasstromes sehr verringert, und dann tritt ein Umstand ein, bei dem der angegebene Zweck weniger vollkommen erreicht werden kann, als bei engeren Kanälen.

Sind die Heizkanäle nämlich weit, so ist die von den Heizgasen berührte Fläche zwar groß und den dieselben berührenden Gasen reichlich Gelegenheit zur Wärmeübertragung gegeben, aber da die Strömung nur von einer geringen Geschwindigkeit ist und die Feuerluft wegen der Reibung an den Wänden sich dort noch viel langsamer fortbewegt, als im Innern

des Zugquerschnitts, so fließt die Hauptströmung der Heizgase, die sich dabei in der Mitte bildet, schneller vorwärts, als die äußere, mit den abkühlenden, d. h. die Wärme aufnehmenden Kanalwänden in Berührung befindliche Hülle des Stromes, und es wird viel Wärme ungenützt dem Schornsteine zugeführt.

Zu einer wirksamen Wärmeübertragung ist aber erforderlich, daß die Lufttheilchen, welche durch ihre Berührung mit der Kesselwand bereits einen großen Theil ihrer Wärme verloren haben, möglichst bald außer Berührung mit der Wandung treten um immer neuen, noch heißen Gastheilchen Platz zu machen, damit auch diese ihre Wärme abgeben können. Durch weite gerade Kanäle, welche sich parallel mit der Kesselwand hinziehen, wird dies aber sehr beeinträchtigt, denn es ist eine bekannte und leicht zu beobachtende Erscheinung, daß sich in Mitten eines weiten Feuerkanals stets eine heißere sich schneller bewegende Strömung wie ein Kern bildet, während die äußere, schon stark abgekühlte Hülle des Heizgasstromes mehr oder weniger zurückbleibt oder ruht.

Die abgekühlten und spezifisch schwerer gewordenen Lufttheilchen werden sich zwar nach und nach zu Boden senken und dafür die heißen Gastheilchen nach oben steigen, dies geschieht indeß ziemlich langsam im Vergleich mit der Geschwindigkeit, mit welcher sich der Heizgasstrom vorwärts bewegt und dieser Umstand kann auch nur dann günstig für die Wärmeübertragung sein, wenn sich die zu heizende Kesselwand oberhalb des Zuges befindet, was doch gewöhnlich nur für geringe Strecken zutrifft.

Hierdurch erklärt es sich auch leicht, daß Heizflächen, welche von der Feuerluft von unten berührt werden, unter sonst gleichen Umständen viel wirksamer sind als andere und namentlich solche, welche oben von den Heizgasen bestrichen werden, und zwar aus mehreren Gründen. Einmal, weil die Gastheilchen, welche ihre Wärme an der zu heizenden Wand verloren haben, also kälter geworden sind, herabsinken und neuen, heißen Lufttheilchen Platz machen, die nach Abgabe ihrer Wärme auch wieder sich entfernen u. s. w. und zweitens, weil solche Wände sich nicht mit Flugasche belegen können und drittens, was das Wichtigste ist, weil diese Kesselwände ihre Wärme schneller durch Uebertragung an das im Inneren befindliche Wasser verlieren und immer gleich wieder befähigt sind, neue Wärmemengen aufzunehmen. Diejenigen Wassertheilchen nämlich, welche die von außen erhitzte Kesselwand benetzen, können die Wärme schnell aufnehmen; sie werden dadurch spezifisch leichter als die benachbarten kälteren Theilchen und steigen vermöge ihrer leichten Verschiebbarkeit nach oben, stets neuen, an ihre Stelle tretenden Wassertheilchen Platz machend.

Wasser in einem Gefäße gleichmäßig zu erhitzen, gelingt nur durch gute Vermischung der erwärmten mit den noch kalten Wassertheilchen, und diese Mischung vollzieht sich sehr leicht von selbst, wenn man dem Gefäße die Wärme am Boden zuführt. Die erwärmten Theilchen steigen auf, kalte treten an ihre Stelle, um, nachdem sie erwärmt sind ebenfalls aufzusteigen, u. s. f., wodurch eine fortwährende Vermischung von wärmeren und kälteren Wasserschichten eintritt. Dies geht so lange fort, als das Wasser noch wärmeaufnahme-fähig ist und bis alle noch weiter zugeführte Wärme zur Dampfbildung verbraucht wird: alsdann tritt derselbe Vorgang nur noch stürmischer auf, indem statt der erwärmten Wassertheilchen die viel leichteren Dampfbläschen aufsteigen, wie es die Erscheinung des Kochens oder Siedens zeigt.

Mehr oder weniger lothrechte Heizflächen haben nur einen mittleren Werth, sobald die Heizgase parallel mit ihnen hinstreichen. Heizflächen aber, die den Boden eines Feuerzuges bilden, d. h. sich unterhalb eines solchen befinden, haben kaum irgend einen Werth, da wegen der schlechten Wärmeleitungs-fähigkeit des Wassers und besonders des Dampfes, der sich naturgemäß über dem Wasser ansammelt, von oben fast keine Wärme eindringen kann und eine Mischung nicht eintritt, weil das wärmere, also spezifisch leichtere Wasser immer die oberste Schicht bilden wird. Man ist gar nicht im Stande, Wasser in einem Gefäße gleichmäßig zu erhitzen, sobald man denselben nur Wärme von oben zuführt, wozu man sich mittels eines Reagenzgläschens leicht überzeugen kann.

Macht man aber die Feuerzüge sehr eng, so müssen dieselben bedeutend länger gemacht werden, damit die Heizgase so viel Wärme als möglich an die Mauerwände abzugeben im Stande sind, weil enge Kanäle wegen ihres geringen Umfanges den Heizgasen nur eine kleine Berührungsfläche bieten. Will man unter Benützung enger Kanäle doch eine große feuerberührte Fläche erhalten, so müßte man den weiten Zug in viele kleine parallele Kanäle zertheilen (Feuerrohrbündel). In engen und langen Kanälen wachsen aber die Widerstände für die Bewegung des Gasstromes in doppelter Beziehung und verursachen einen trägen Zug. Ein lebhafter Zug ist aber sowohl für eine gute Verbrennung als auch für eine wirksame Wärmeübertragung notwendig und günstig.

Um gute Feuerzüge zu erhalten, darf man sie sonach weder zu eng, noch zu weit machen und muß den Heizgasen auf ihrem Wege in den Feuerzügen recht viel Veranlassung geben sich unangenehm zu vermischen, aber auch gleichzeitig dafür Sorge tragen, daß die Lebhaftigkeit des Zuges darunter so wenig als irgend möglich leide.

Die Heizgase geben ihre Wärme am besten ab, wenn ihr Strom möglichst rechtwinklig gegen die Kesselwand gerichtet ist, weil sich dabei die Heizgase wegen der dabei entstehenden Wirbelbewegungen ununterbrochen mischen, in Folge dessen fortwährend neue Gastheilchen mit der Kesselwand in Berührung treten und Wärme abgeben.

Vielfache Richtungsänderungen vermindern zwar den Zug, doch kann man diese Einbuße durch Vergrößerung des Zugquerschnittes an solchen Stellen leicht wieder ausgleichen.

Nur bei Innenfeuerung wird der ganze Feuerzug von der Kesselwand begrenzt; sonst wird in den meisten Fällen immer ein Theil des Zug-Umfangs von Mauerwerk gebildet und dieses muß dabei einen beträchtlichen Theil der Wärme aufnehmen. Damit diese aber nachträglich dem Kessel möglichst zu Gute komme, muß man eine solche Wand durch Isolirung von dem Erdboden und der Mauer-Außenfläche so viel es geht vor Abkühlung nach außen, d. h. vor Wärmeverlusten schützen. Hieraus folgt wieder, daß die Wandungen derjenigen Feuerzüge, welche sich bis zum Glühendwerden erhitzen können, aus möglichst feuerfestem Steinmaterial herzustellen sind, damit sie eine möglichst lange Dauer haben.

Was die Form des Querschnitts der Feuerzüge anlangt, so kann dieselbe sehr verschieden sein, auch ist dieselbe von mehr nebensächlicher Bedeutung; es sind dabei aber alle spitzen Winkel wohl zu vermeiden, und wo man freie Wahl hat, da gebe man einem Feuerzuge eine lichte Weite, die nicht weniger als 10 und nicht mehr als 15 Zentimeter beträgt und berücksichtige den Umstand, daß die Feuergase stets mehr oder minder große Mengen von Flugasche mit sich führen, die sich auf den unteren Kanalbegrenzungsflächen, namentlich aber da ablagern, wo durch eine Vergrößerung des Kanalquerschnitts eine Verminderung der Zuggeschwindigkeit herbeigeführt wird.

Von vielen Technikern wird empfohlen, die Feuerzüge innen recht glatt herzustellen, um die Reibung der Gase an den Wandungen zu vermindern, weil durch eine vermehrte Reibung der Zug geschwächt werden muß.

Wenn man aber bedenkt, daß eine rauhe Kanalwand nur die schnelle Vormwärtsbewegung derjenigen Lufttheilchen hemmt und verzögert, welche gerade mit der Wandung in unmittelbarer Berührung sind oder sich nur in geringer Entfernung davon befinden, während die davon mehr entfernten Lufttheilchen wegen ihrer leichten Verschiebbarkeit sich kaum gehindert der Hauptströmung anschließen können, so erscheint es als unwichtig, die innern Feuerzugwandungen besonders glatt herzustellen; im Gegentheil wird durch Rauheit der Ritze sogar erreicht, daß die Wandungen sich nicht in dem Maaße er-

higen, als wenn bei glattem Zustande derselben immer neue Lufttheilchen mit ihr in Berührung kommen; denn es ist doch nicht Zweck der Feuerzüge, das Mauerwerk, wohl aber den Kessel zu heizen. Dagegen soll die Wärme, welche vom Mauerwerk unvermeidlicher Weise angenommen wird, durch Strahlung und Leitung dem Kessel mittelbar zugeführt werden: diese Wärme muß daher durch möglichst gute Isolirung zusammen gehalten werden und darf nicht verloren gehen. Während für den Schornstein eine innen recht glatte Wandfläche möglich ist, um das rasche Aufsteigen der Luftsäule zu fördern und zu begünstigen, so empfehlen sich gerade innen rauhe Wände für die Feuerzüge.

Wenn es nun aber auch nachtheilig auf den Zug wirkt, wenn der Heizgasstrom mehrfache Richtungsänderungen erfährt, so wird dadurch auch erreicht, daß sich die Gase unauzgesetzt gut vermengen und für eine schnelle Wärmeabgabe geeigneter werden.

Damit die Wärme-Übertragung an die Kesselwände recht erleichtert und vollkommener werde, müssen die Heizgase in den Feuerzügen nicht nur Kesselwände treffen, welche ganz von Wasser benetzt sind, sondern das benetzende Wasser muß auch in fortwährender Bewegung nach oben begriffen sein, um die darin enthaltenen Luft- und die sich entwickelnden Dampfblasen so rasch wie möglich von der Kesselwand abzulösen und nach dem Dampfraume abzuführen, weil Luft und Dampf die Wärme fast gar nicht leiten, auch nur wenig Wärme gebrauchen und aufnehmen können, um auf die Temperatur zu gelangen, welche der Dampfspannung entspricht. Wasser ist zwar ebenfalls ein schlechter Wärmeleiter, doch wird im Wasser schon durch einen geringen Temperatur-Unterschied eine Strömung erzeugt, und da das Wasser mehr Wärme gebraucht, um seine Temperatur um eben so viel wie der Dampf zu erhöhen, so wird die, von dem dichten Wasser und von immer neuen Theilchen desselben berührte Kesselwand viel schneller die Wärme der Heizgase aufnehmen und auf das Wasser übertragen, als wenn die Kesselwand von Luft und Dampf belegt wäre.

Die beste Zugführung wird demnach diejenige sein, bei welcher die Heizgase die Kesselwände möglichst rechtwinkelig treffen und wobei dieselben zu häufigen Wirbelbewegungen gezwungen werden, welche das beste Mittel sind, die Heizgase gut zu mengen und zu mischen, damit sich nicht ein Kern von heißeren Gasen in einer Hülle von bereits abgekühlter Feuerluft bilde und bis nach dem Schornstein hin erhalte, wodurch die Wärmeabgabe sehr beeinträchtigt wird.

Da ferner auch nur dann eine gute Wärmeaufnahme durch die Kesselwände stattfinden kann, wenn dieselben möglichst rein, d. h. nicht von Rost,

Ruß oder Flugasche u. s. w. belegt sind, so müssen die Feuerzüge auch so angeordnet und angelegt werden, daß dieses Ziel möglichst zu erreichen ist.

Bei einer gut angelegten und gut gewarteten Kesselanlage darf ein Verrosten der Kesselwände von außen überhaupt nicht vorkommen, und wo sich etwa ein solches zeigt, muß durch eine gründliche Untersuchung des Kessels die äußere Ursache dazu gehörig erforscht und sogleich beseitigt werden.

Auswendig am Kessel können nur durch Wasser, welches aus irgend einer Quelle stammend an den Kessel tritt, Roststellen entstehen und wenn die Ursache des Rostens, also das Wasser, nicht vollkommen von den Kesselwänden fern gehalten wird, muß über kurz oder lang eine Zerstörung der Kesselwand die Folge sein. Wasser kann von außen an den Kessel nur kommen durch Austritt aus undichten Stellen am Kessel, ferner durch feuchtes Mauerwerk, in welchem vielleicht das Grundwasser durch Kapillarität aufsteigt, oder durch Niederschlag des Wasserdampfes aus den Heizgasen, wenn dieselben mit sehr kalten Kesselwandungen in Berührung treten, wie dies bei den Vorwärmern und bei Gegenstromkesseln, die durch ganz kaltes Wasser gespeist werden, leicht vorkommen kann. Aus diesem Grunde sind dergleichen Kesselsysteme, und mit Recht, jetzt wohl ganz verlassen.

Ruß soll bei einer guten Kessel- und Feuerungs-Anlage ebensowenig die Kesselwand belegen, und dies kann auch vermieden werden, sobald die Verbrennung auf dem Herde eine gute ist und die Heizgase nicht früher die Flamme abkühlenden Heizwände berühren, bis die Verbrennung vollendet ist. —

Da eine theilweise Belegung mit Ruß aber nicht immer, bei Innenfeuerung sogar nur selten zu vermeiden ist, so müssen die Heizkanäle mit Reinigungs-Öffnungen versehen werden um, wenn erforderlich, eine Reinigung der Kesselwandungen durch Bürsten u. dergl. vornehmen zu können. Diese Öffnungen sind auch durchaus nothwendig, um die Flugasche aus den Feuerzügen zu entfernen, welche niemals, ausgenommen bei Gasfeuerung, ganz zu vermeiden sein wird.

Auf diese, je nach dem Brennstoff sich bald in geringerer, bald in größerer Menge absetzende Flugasche muß sowohl bei der Gestalt und Anordnung der Feuerzüge, als auch bei der Bemessung ihrer Größe entsprechende Rücksicht genommen werden, damit die Asche die Kesselheizfläche nicht theilweise oder ganz bedeckt, oder den freien Querschnitt des Feuerzuges durch größere Ablagerung so einenge, daß der Zug geschwächt wird. Bei Zügen unter dem Kessel kann die Heizfläche nicht leicht mit Flugasche nachtheilig bedeckt werden, und Heizkanäle über dem Kessel sollten überhaupt nicht angelegt werden, da sie aus oben erörterten Gründen fast ganz unwirksam sind.

Heizkanäle: ober, die sich an den Seiten eines Kessels hinziehen, veranlassen leicht eine wenigstens theilweise Bedeckung der Heizfläche mit Flugasche, Man giebt solchen Kanälen deshalb unten eine breitere Basis, oder vertieft sie mit einer grabenartigen Vertiefung oder Furche, die sich erst vollständig mit Asche anfüllen kann, bevor die Kesselheizfläche sich zu bedecken beginnt.

Eine öftere und gründliche Reinigung der Heizkanäle von Flugasche und der Kesselwandungen von Ruß ist für eine gute Dampferzeugung von wesentlicher Bedeutung und darf von einem aufmerksamen und pflichttreuen Heizer durchaus nicht versäumt werden.

Wenn Brennstoffe, welche viel Flugasche geben, wie z. B. leichte Braunkohlen u. s. w. zur Verbrennung kommen, so ist es sehr zweckmäßig, im ersten Zuge einen oder zwei sogenannte Aschensäcke anzulegen, in denen sich ohne Nachtheil eine größere Aschenmenge ansammeln kann, weil hierdurch ein weniger häufiges Ausräumen der Asche aus den Feuerzügen erforderlich wird. Aschensack nennt man eine geräumige Vertiefung in einem Feuerzuge die man zu dem Zwecke anlegt, um darin den größten Theil der mitgerissenen Flugasche aufzufangen. Die durch einen Aschensack entstehende bedeutende Vergrößerung des Zugquerschnitts bewirkt, daß die Zugströmung auf eine kurze Strecke bedeutend verlangsamt wird, in Folge dessen die mitgeführten Aschentheilchen ihre Geschwindigkeit verlieren und wegen ihres höheren spezifischen Gewichts zu Boden fallen; in der Vertiefung kann sich dann eine größere Menge von Flugasche ansammeln, bevor eine Entleerung derselben nöthig wird, und die bereits abgefangene Asche kann natürlich die Züge nicht mehr anfüllen.

Nothwendig ist bei Anlage solcher Aschensäcke nur, daß sie behufs der Reinigung leicht zugänglich gemacht werden, und daß die Oeffnung für eine solche gleich nach der Entleerung gut abgeschlossen und dicht verschmiert wird, damit während des Betriebes durch dieselbe keine Nebenluft in die Feuerung eintrete.

Da, wo ein Feuerzug plötzlich seine Richtung ganz verändert, namentlich wo derselbe sich in eine rückkehrende umwandelt, darf derselbe in seinem Querschnitt nicht zu knapp bemessen werden; auch sind beim Umbiegen der Kanalwandungen alle scharfe Ecken zu vermeiden, und es ist die Ueberführung der einen Richtung in die andere durch einen etwas erweiterten und an den Ecken nach möglichst großen Kreisen abgerundeten Kanal zu bewerkstelligen.

Solche Uebergangspunkte am Ende eines geraden Kanals, wo der Zug in eine entgegengesetzte Richtung übergeleitet wird, sind gewöhnlich ganz passende Stellen zur Anbringung von Aschensäcken, da bei denselben wegen der Querschnittserweiterung und der gleichzeitigen Richtungsänderung die Aschentheilchen am leichtesten ihre Bewegung verlieren und zu Boden sinken.

Damit die Heizgase, deren Volumen aus der zu verbrauchenden Brennstoffmenge und aus ihrer Temperatur leicht zu berechnen ist, die Feuerzüge mit einer angemessenen, d. h. vortheilhaften Geschwindigkeit durchströmen können, müssen die letzteren, wie schon oben auseinandergesetzt wurde, eine entsprechend bemessene Querschnittsgröße haben.

Würde die Temperatur der Verbrennungsluft, die durch den Kofst zum Brennstoff strömt, unverändert dieselbe bleiben, so könnte die Luft mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie durch die Kofstspalten tritt, (etwa zwei bis drei Meter) auch durch die Züge fließen, wenn man den lichten Querschnitt des Feuerkanals oben so groß, wie die freie Kofstfläche macht. Nun kann man aber rechnen, daß die Heizgase bei ihrem Austritt aus dem Feuerraume eine mittlere Temperatur von 1200° C. besitzen, bei welcher ihr Volumen sich etwa vervierfacht hat, und demgemäß müßte man den freien Querschnitt des Zuges auch viermal so groß wie die freie Kofstfläche, das ist also gerade gleich der Gesamtrostfläche machen, wenn man dieselbe geringe Geschwindigkeit, wie sie die durch den Kofst tretende atmosphärische Verbrennungsluft besitzt, durchaus beibehalten wollte.

Nachdem aber der Nachtheil, den sehr weite Feuerzüge besitzen schon angeführt worden ist, und auch kein besonderer Grund vorliegt, die Geschwindigkeit der Heizgase so gering zu wählen, wie diejenige der in den Kofst eintretenden kalten Luft, so wird man leicht einsehen, daß sich nur unter ziemlich willkürlichen Annahmen und Voraussetzungen bestimmte Normen für die Zugweite aufstellen lassen, und so findet man auch bei praktischen Ausführungen nicht selten Abmessungen, die, ob schon von den aufgestellten gewöhnlichen Regeln bedeutend abweichend, sich hinsichtlich der damit erzielten Resultate doch als ganz brauchbar erwiesen haben.

Da die Temperatur der Heizgase von 1200° im Feuerraume bis auf etwa 300° im Fuchse sinkt, so verringert sich auch dementsprechend ihr Volumen und es erscheint hiernach angemessen, die Querschnitte der Feuerzüge in derselben Ordnung, wenn auch nicht in demselben Verhältnisse nach und nach kleiner werden zu lassen. So empfiehlt v. Reiche den Feuerzug, der die heißesten Heizgase führt, $1\frac{1}{2}$ mal so groß, den zweiten Zug $1\frac{1}{4}$ mal so groß und den dritten oder letzten Zug wieder eben so groß wie die freie Kofstfläche zu machen, welchen freien Querschnitt auch der Schornstein erhält.

Dieselbe Regel, wenn auch nicht mit gleichen Worten ausgedrückt, wird übrigens schon sehr lange und fast allgemein bei Bestimmung der Zugweiten befolgt. Auch berechnet man die Querschnittsfläche mit Hilfe derselben Formeln, welche zur Berechnung der Schornsteinweiten dienen, indem man für die Geschwindigkeit und Temperatur der Heizgase diejenigen abgeschätzten

Größen in die Formel einstellt, welche für den betreffenden Zugquerschnitt maßgebend sind. Als größte Geschwindigkeit der Heizgase in den Feuerzügen pflegt man 5 bis 6 Meter in der Sekunde anzunehmen.

Noch weniger, als über den Querschnitt, läßt sich über die zweckmäßigste Länge der Heizkanäle eine allgemein gültige Regel aufstellen, wie dies bei den außerordentlich mannigfachen und grundverschiedenen Kesselsystemen gar nicht auffällig sein kann. Die Länge des Feuerzuges ist oft eine geringe, wie z. B. bei Feuerrohrkesseln und dann wieder eine sehr große, namentlich bei langen Walzen- und Flammrohrkesseln, wenn es bei denselben auf möglichst weitgehende Ausnutzung der Heizgase ankommt. Bei mäßig langen Kesseln bestimmt sich die Zuglänge gewöhnlich dadurch, daß man sie gleich der dreifachen Kessellänge macht, was wegen der Lage des Schornsteins, der in der Regel in der Nähe des hintern Kesselendes steht, bequem und passend ist. Der erste Zug geht dann vom Roste bis zum hintern Ende, der zweite Zug läuft wieder nach vorn und erst der dritte geht hinten nach dem Fuchs und endlich nach dem Schornstein.

Auf die Zuglänge hat die Beschaffenheit der Heizfläche den entscheidendsten Einfluß, während die Geschwindigkeit der Heizgase durch den Zugquerschnitt bedingt wird. Bei guten Heizflächen braucht der Zug nur kurz, bei schlechter Heizfläche muß er lang sein, wenn eine möglichst ausgiebige Wärmeübertragung erreicht werden soll. Eine Regel in Bezug auf die Kanal- oder Zuglänge heißt: Die Gesamtlänge eines Feuerzuges soll nicht mehr, als höchstens 30 Meter betragen und das dürfte wohl auch das äußerste Längenmaß sein, welches man noch mit einigem Nutzen einem Heizkanale geben darf; es muß die Heizfläche schon eine recht schlechte sein, wenn die Heizgase auf einem so langen Wege noch nicht die Temperatur angenommen haben, die sie zu einer hinreichenden Zugerzeugung im Schornsteine noch nothwendigerweise besitzen müssen.

Oft wird ein Heizgasstrom in zwei Hälften zertheilt oder gespalten, welche dann getrennt aber in paralleler Richtung an dem Kessel hingeführt werden, wie z. B. bei einem Kessel mit zwei Flammrohren mit Innenfeuerung, bei welchem der erste (doppelte) Zug in den beiden Flammrohren vom Roste im vordern Kessellende durch den Kessel hindurch bis zum Ende desselben geht, aber nur als eine Zuglänge gerechnet werden kann. Am Ende vereinigen sich die Heizgase aus beiden Flammrohren und ziehen gemeinschaftlich in einem Kanale, der sich unter dem Kessel befindet nach dem Kopfe des Kessels, um sich hier wieder in zwei Hälften zu spalten, welche die beiden Seitenflächen des Kesselmantels bestreichend, sich hinten abermals

vor ihrer Einmündung in den Fuchs zu einem Strome vereinigen, um schließlich durch den Schornstein abzufließen.

Ein Querschnitt durch einen in solcher Weise eingemauerten Kessel zeigt fünf Feuerkanäle die aber nur als 3 zu gelten haben weil, wie in der nachstehenden Figur 23 ersichtlich, die ersten beiden mit I und die beiden

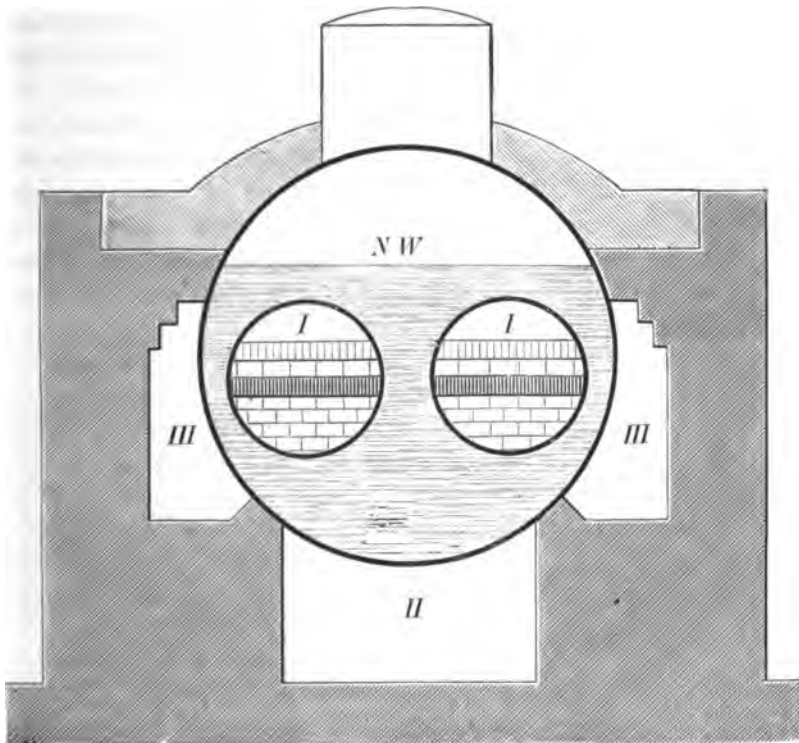


Fig. 23.

mit III bezeichneten Feuerzüge nur um eine größere Heizfläche bestreichen zu können, je in zwei, sonst gleichwerthige Hälften getheilt sind.

Dies könnte man auch so ausdrücken, daß bei mehrfachen Feuerzügen nur die Strecken derselben als Länge zu rechnen sind, in welchen die Temperatur vom Rost bis zum Fuchs gerechnet, nur abnimmt.

Daß die Feuerzüge namentlich am Anfange wo die höchste Hitze herrscht, aus feuerfesten Manermaterial, d. h. aus Chamottesteinen und mit Mörtel aus magerem Lehm aber nie mit Kalkmörtel hergestellt werden müssen, ist selbstverständlich und wurde auch bereits gesagt. Auch

werden die Feuerzüge besser durch Ausstragung der Steine, als durch Wölbung gebildet und hervorstehende Ecken der Ziegel in den Feuerzügen brauchen nur in soweit abgestuft zu werden, als sie beim Austräumen der Flugasche etwa hinderlich werden könnten.

III. Die Zug-Erzeugung.

Soll die Verbrennung auf dem Roste wie gewünscht, eine ununterbrochene sein, so muß das Feuer stetig mit der nöthigen Verbrennungsluft gespeist werden. Dies geschieht durch den sogenannten Zug, womit man die Luftströmung bezeichnet, die sich allemal schon von selbst einstellt, wenn die kalte Luft durch den Rost zum Brennstoff tritt und dort unter Aufnahme der entstehenden flüchtigen Verbrennungsprodukte durch das Feuer eine hohe Temperatur annimmt. Hierdurch wird dieses Gasgemisch leichter als die kalte Luft der Umgebung und in Folge des Auftriebs, den jeder leichtere Körper in einer dichteren, d. h. spezifisch schwereren Flüssigkeit erfährt, bewegen sich die Gase nach oben.

Bei einem ganz offenen Feuer würde dieser Luftstrom aber ganz unregelmäßig sein und die nächste Umgebung sehr belästigen; es würde auch der eigentliche Zweck der Feuerung — nämlich die Zuführung und Uebertragung der erzeugten Wärme auf bestimmte Körper nur unvollkommen erreicht werden.

Man leitet deshalb die in dem Verbrennungsraume erzeugten Heißgase durch Kanäle (die sogenannten Feuerzüge) zu den zu erhitzenden Körpern, woselbst ihre Temperatur durch die Wärmeabgabe an diese sich vermindert und führt die so benutzten Heißgase, damit sie die Umgebung nicht belästigen, durch eine lothrechte oben offene Röhre in die freie Luft ab.

Eine solche senkrechte, oben offene Röhre, die als Fortsetzung des Feuerzuges zu betrachten ist, nennt man Esse, Kamin oder Schornstein. Der Schornstein bildet das einfachste und natürlichste Mittel zu einer geregelten Zugerzeugung.

Die Ursache des Zuges im Schornsteine ist also eine in demselben aufwärts gerichtete Luftströmung, welche nun in doppelter Weise das Zufließen kalter Luft zum Brennstoffe durch den Rost bewirkt. Einmal hat eine jede in Bewegung befindliche Luftmasse das Bestreben, hinter sich einen luftverdünnten Raum zu erzeugen und bewirkt dadurch, daß andere Luft hinten nachströmt, um diese Verdünnung wieder auszugleichen. Auf solche Weise wird von der bewegten Luft im Schornsteine die äußere Luft durch den Rost in den Verbrennungsraum eingesaugt.

Durch die Verbrennung auf dem Roste aber wird die dort befindliche Luft durch die Wärme ausgedehnt, also leichter. Zur Herstellung des Gleich-

gewichts wird sie von der äußeren kälteren Luft nach oben gedrängt und entweicht mit einer Temperatur aus dem Schornsteine ins Freie, welche höher als diejenige der äußeren Luft an dessen Mündung sein muß, weil sonst kein Auftrieb mehr möglich ist. Der Zug wird daher um so stärker sein müssen, je größer der Temperaturunterschied zwischen der Feuerluft und der äußeren Luft ist; daher wird auch der Zug und somit auch die Verbrennung sehr lebhaft, so bald das Feuer erst einige Zeit im Gange ist. Mit der Höhe des Schornsteines nimmt die Stärke des Zuges zu, da die in Bewegung befindliche leichtere Luftmasse eine größere ist. Diese Zunahme des Zuges erfolgt aber nicht in dem geraden Verhältnisse der Schornsteinhöhe, sondern in einem Verhältnisse, welches gleich ist der Quadratwurzel aus dieser Höhe. Dabei kommt jedoch nur die senkrechte Höhe in Betracht; alle von der lothrechten Richtung abweichenden Kanäle (Schleifungen) haben auf den Zug keinen Einfluß, als daß sie durch Vergrößerung und Vermehrung der Reibung, die der Gasstrom an den Kanal-Wänden erfährt, die Lebhaftigkeit des Zuges schwächen.

Was die Weite des Schornsteines anlangt, so ist dieselbe durchaus nicht gleichgültig. Die Erfahrung lehrt, daß die engen, sogenannten russischen Schornsteine unserer Stubenöfen viel besser ziehen, als die weiten, deutschen Schornsteine. Bei den engen Öfen wird der ganze Raum von warmer Luft erfüllt und ein Aufsteigen der ganzen Luftsäule veranlaßt, während dies bei den weiten Schornsteinen nicht der Fall ist; bei diesen kann auch kalte Luft von oben einfallen, welche der benachbarten warmen Luft Wärme entzieht und durch ihre entgegengesetzte Bewegungsrichtung den Zug schwächt.

Ebenso ist auf den Zug auch die Beschaffenheit der Schornsteinwände von großem Einfluß. Je glatter die Wände sind, d. h. je weniger Hindernisse sie den lothrecht aufsteigenden Rauchgasen bieten, desto besser wird der Zug sein. Da ferner die Temperatur der in dem Schornsteine enthaltenen Luft von der Temperatur der Schornsteinwände abhängig ist, so folgt, daß die Schornsteinwände aus möglichst schlechten Wärmeleitern bestehen sollen, um die Abkühlung der Luft zu verhüten; da wir gesehen haben, daß der Zug um so stärker sein wird, je höher die Temperatur der aus dem Schornsteine abfließenden Rauchgase ist. Würden letztere den Wärmelüberschuß, den sie im Vergleich mit der Temperatur der äußeren Luft haben müssen, durch die abkühlenden Schornsteinwände ganz verlieren, so könnte der Schornstein gar keinen Zug erzeugen. Es erklärt sich so, daß z. B. eiserne Schornsteine, welche man bei vorübergehenden Feuerungsanlagen wegen der schnellen Herstellung und Aufstellung und wegen der leichteren Fundamentirung hin und

wieder anwendet, durch die rasche Wärmeabgabe nach außen einen schwächeren Zug erzeugen, als steinerne Schornsteine.

So lange die Temperatur der Schornsteinwände und der darin enthaltenen Luft höher, als die der äußeren Luft ist, wird in dem Schornsteine eine aufwärtsgerichtete Luftströmung vorhanden sein; wenn aber die äußere Luft wärmer ist, als die Schornsteinwände und die eingeschlossene Luft, so findet ein abwärts gehender Zug statt. Dieser Umstand macht es oft schwierig, überhaupt ein Feuer zu Stande zu bringen. In solchem Falle hilft man sich gewöhnlich dadurch, daß man unten im Schornsteine selbst durch Entzünden von Stroh, Hobel- oder Papierspänen u. s. w. ein rasch aufflammendes Flatterfeuer erzeugt, um zunächst die im Schornsteine ruhende Luftsäule nach oben hinaus zu drängen und dadurch einen aufsteigenden Luftstrom herzustellen, welcher hierauf erst durch das stärkere Kostfeuer verstärkt und zu einem stetigen gemacht wird. Da die Schornsteinwände aber ihre höhere Temperatur ziemlich lange behalten, so findet fast immer ein aufwärts gerichteter Zug statt.

Bei steinernen, neu gemauerten Schornsteinen tritt noch ein Umstand auf, der eine starke Abkühlung der eingeschlossenen Luft bewirkt, nämlich die Verdampfung des Wassers aus dem Mörtel, so lange derselbe durch Austrocknung und Kohlen säurebildung Wasser ausscheidet. Dieses Wasser kühlt durch seine Verdunstung die Schornsteingase bedeutend ab, und daher muß man bei neuen gemauerten Schornsteinen ein solches Flatterfeuer in der Regel durch einige Zeit unterhalten, wenn man sicher sein will, daß der Schornstein später im Betriebe den nöthigen Zug erzeugt.

Bei großen Feuerungs-Anlagen und da, wo die größte Ersparniß an Brennmaterial geboten, weil es nur für hohen Preis zu beschaffen ist, wo also die Verzinsung eines höheren Anlage-Kapitals geringere Kosten verursacht, als die entsprechende Ausgabe für das mehr aufzuwendende Brennmaterial, führt man den Schornstein doppelwandig auf, indem man die innere Röhre aus porösen, die Wärme schlecht leitenden Steinen dünnwandig herstellt und zwischen dieser und dem aus festen und dichten Steinen aufzubauenden äußeren Mantel einen Zwischenraum von fünf bis sechs Zentimetern frei läßt. Die einen solchen leeren Zwischenraum ausfüllende ruhende Luftschicht ist der beste Schutz gegen Abkühlung des eigentlichen Schornsteines und der eingeschlossenen Rauchgase.

Einigermaßen wird der Zug eines Schornsteins auch beeinflusst durch den Wind, obgleich bei hohen, wie es die Dampf schornsteine sind, nicht in dem Maße, wie bei den Schornsteinen der Wohngebäude, die bald höher, bald niedriger an einander gereiht, zu vielfachen Wirbelbewegungen der Luft Veranlassung geben, welche leicht störend auf den Zug der Schornsteine

einwirken können. Trifft der Wind in horizontaler Richtung auf ein Hinderniß, so wird die Luft durch diesen Widerstand zunächst verdichtet und gezwungen, nach allen Seiten auszuweichen. Dieses Ausweichen wird aber im Allgemeinen leichter zur Seite und nach oben, als nach unten stattfinden, weil die Luft unten durch die vielfachen Bewegungshindernisse angestaut ist, während seitlich und oben die in weniger gestörtem Strome hineinziehende Luft das Ausweichen eher fördert, als hemmt. Hierdurch erleidet die ursprünglich horizontale Richtung des Windes gewöhnlich eine Ablenkung nach unten, welche etwa 15° beträgt.

Durch einen solchen, schräg von oben nach unten streichenden Wind kann der Zug in einem oben weiten Schornstein leicht beeinträchtigt werden, besonders wenn der Schornsteinkopf aus architektonischen Rücksichten eine gefürchte Ausladung und oben einen horizontalen Abschluß, hat wie Figur 24 zeigt, was als durchaus fehlerhaft bezeichnet werden muß.

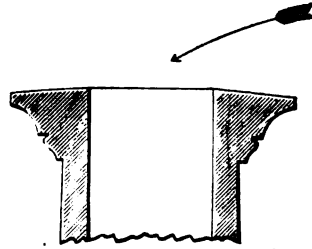


Fig. 24.

Trotz der nach unten geneigten Richtung kann der Wind jedoch, statt den Zug zu hemmen, denselben befördern, wenn eine solche bekrönende Ausladung des Schornsteins entweder ganz fortbleibt, wie bei Figur 25 oder doch so ausgeführt wird, daß der obere Abschluß der Schornsteinwand die Form einer abgekürzten Pyramide oder eines abgestumpften Kegels mit eingebogenen Seiten erhält, wie Figur 26 erkennen läßt.

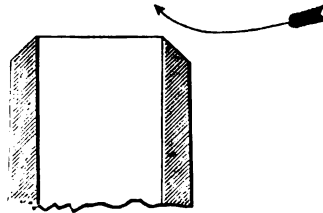


Fig. 25.

Auch die Ueberdeckung der Schornsteinöffnung durch eine, dieselbe etwas überragende Platte welche in angemessener Höhe über der Mündung angebracht ist, kann den Zug befördern.

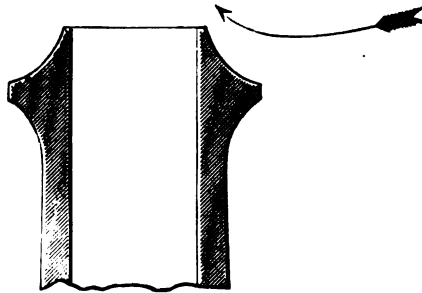


Fig. 26.

Auf solchen Einrichtungen beruhen die vielen Schornstein-Auffätze, durch welche nicht ziehende Schornsteine in gut ziehende verwandelt werden, sobald die Auffätze eine richtige Form haben. Dieselben sind für Schorn-

steine der Wohngebäude oft recht zweckmäßig, aber für hohe Dampfschornsteine nicht wohl anwendbar, weil ihre Abmessungen dem Winde zu große Angriffsflächen bieten, wodurch die Gefahr entsteht, daß ein heftiger Windstoß den Aufsatz abwirft, abgesehen davon, daß dergleichen Aufsätze bei ruhigem Wetter für die im Schornsteine aufsteigende Luftsäule immer ein Hinderniß bilden.

Berechnung der Schornstein-Abmessungen.

Die Luftmenge, welche ein Schornstein abführen kann, hängt ab:

- a) von dem freien Querschnitt desselben und
- b) von der Geschwindigkeit der Luftsäule in demselben.

Das Produkt aus diesen beiden Größen ist die Luftmenge, welche der Schornstein abführt.

Um demnach die Abmessungen des Schornsteins bestimmen zu können, muß man wissen, wie viel Brennmaterial in der Zeiteinheit höchstens zur Verbrennung gelangt, von welchem die Rauchgase durch den Schornstein abzuführen sind.

Da man nun weiß, wie viel Luft erforderlich ist, um ein Kilogramm irgend eines Brennstoffs zu verbrennen, wobei natürlich nicht die rein theoretische Luftmenge, sondern der Sicherheit wegen die doppelte Menge davon in Rechnung zu ziehen ist, so muß man noch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher die Rauchgase dem Schornsteine entströmen, um den freien Querschnitt bestimmen zu können.

Zu diesem Zwecke nimmt man an, daß die Rauchgase dem Schornstein mit zwei, höchstens drei Meter Geschwindigkeit in der Sekunde entweichen und daß die Temperatur der in den Schornstein eintretenden Feuergase höchstens 300° C., bei guter Wärmeausnutzung aber nur 180° bis 240° beträgt, während dieselbe beim Austritt aus der oberen Mündung nur 80° bis 100° ist.

Unter dieser Voraussetzung berechnet man den kleinsten, d. h. oberen freien Querschnitt des Schornsteins nach folgender Formel:

Es ist der freie, kleinste Querschnitt

$$F = \frac{G (V + V_1)}{3600} \cdot \frac{273 + t}{273} \cdot \frac{1}{V}$$

Hierin bedeutet:

F den lichten Querschnitt in qm,

G das in einer Stunde zu verbrennende Brennmaterial in Kilogrammen,

V das Volumen der Luft, welches zur vollkommenen Verbrennung von 1 kg. des betreffenden Brennstoffs theoretisch nothwendig ist,

V_1 das, diesem entsprechende Volumen der Verbrennungsgase, beide gemessen bei 0° und einem mittleren Barometerstande und zwar in Kubikmetern, sowie

t die Temperatur der Gase bei ihrem Entweichen aus dem Schornstein

Für V und V_1 gelten folgende Durchschnittswerthe:

für lufttrockenes Holz	ist $V = 3,8$ und $V_1 = 9,1$
" vollkommen trockenes Holz "	" = 4,6 " = 6,6
" lufttrockenen Torf "	" = 4,3 " = 10,3
" vollkommen trockenen Torf "	" = 5,8 " = 12,4
" Braunkohlen "	" = 7,2 " = 15,5
" bitum. Steinkohlen "	" = 8,5 " = 17,8
" magere Steinkohlen "	" = 8,3 " = 16,9
" trockene " "	" = 7,8 " = 16,2
" Rohrs " "	" = 8,2 " = 17,0.

Soll z. B. der kleinste Querschnitt eines Schornsteins berechnet werden, der die Rauchgase von einer Anlage abzuführen hat, in welcher in einer Stunde 300 kgr. magerer Steinkohle zur Verbrennung kommen, und nimmt man die Temperatur der Gase beim Entweichen aus dem Schornsteine $= 80^{\circ}$ C. und die Geschwindigkeit $= 3$ m an, so wäre

$$F = \frac{300 (8,3 + 16,9)}{3600} \cdot \frac{273 + 80}{273} \cdot \frac{1}{3} = 0,905 \text{ qm.}$$

Es wurde schon oben bemerkt, daß die Stärke des Schornsteinzuges, d. i. die Geschwindigkeit der abziehenden Schornsteingase abhängig ist von der Temperatur der Rauchgase und der Schornsteinhöhe. Was nun diese Temperatur anlangt, so wird dieselbe um so geringer sein, je mehr man von der Wärme der Heizgase wirklich nutzbar gemacht hat; es wäre daher zweckmäßig, diese Temperatur recht niedrig werden zu lassen, die Heizgase also möglichst auszunutzen. Man müßte dann aber die Schornsteinhöhe um so größer nehmen, je niedriger die Temperatur der Rauchgase ausfällt. Hierin liegt in wirthschaftlicher Hinsicht ein Widerspruch; denn was man auf der einen Seite erspart, muß auf der andern wieder durch Opfer erkauft werden, weil die Herstellungskosten eines Schornsteins sich mit der Höhe desselben beträchtlich steigern. Es ist bis heute noch eine ungelöste Aufgabe, durch Rechnung genau die Grenze anzugeben, bis wie weit man die Heizgase ausnutzen, und bis zu welcher Höhe man einen Schornstein auführen muß, damit die Betriebskosten den kleinsten Werth erreichen.

Alle theoretischen Berechnungen, die man über die zweckmäßigste Höhe der Schornsteine u. s. w. anstellt, sind einerseits so verwickelt und andererseits auf einer ganzen Reihe von verschiedenen Annahmen und Voraussetzungen

begründet, die in der Wirklichkeit entweder gar nicht, oder doch nicht gleichzeitig zutreffend sind, so daß es als eine müßige Aufgabe betrachtet werden müßte, hier auf die Schornsteintheorien näher einzugehen. Gleichwohl mögen hier einige Formeln und Regeln Platz finden, die als Ergebnisse von Theorien oder auf Erfahrung begründet, von Autoritäten des Faches aufgestellt sind.

Nach Beclet berechnet man zuerst die geringste Höhe, welche zur Ueberwindung der, annäherungsweise abgeschätzten, Widerstände in der Feuerungs-Anlage nöthig ist mittels der Formel

$$h = \frac{v^2}{20} (13 + 0,06 L) \text{ Meter}$$

worin L die gesammte Zuglänge einschließlich der schätzungsweise angenommenen Schornsteinhöhe h in Metern und v die Eintrittsgeschwindigkeit der Rauchgase in den Schornstein ist; die letztere setzt man für niedrige Schornsteine = 5 m und für hohe 6 m.

Die wirkliche Schornsteinhöhe H wird alsdann mit Berücksichtigung der inneren und äußeren Temperatur nach der Formel:

$$H = \frac{h T_2}{0,96 (T_1 - T_2)}$$

berechnet, worin T_1 die absolute Temperatur der in den Schornstein eintretenden Rauchgase und T_2 die der äußeren Luft bezeichnen.

Nimmt man die mittlere äußere Lufttemperatur zu 10^0 an, so folgt $T_2 = 15 + 273 = 288^0$; es sei ferner die höchste Temperatur der Rauchgase beim Eintritt in den Schornstein = 300^0 und die niedrigste = 180^0 im Mittel also = 240^0 so ist T_1 im Mittel = $273 + 240 = 513^0$.

Es sei z. B. in einem bestimmten Falle $L = 40$ m geschätzt, v werde = 5 gesetzt, so ist $h = \frac{5^2}{20} (13 + 0,05 \cdot 40) = 18\frac{3}{4}$ Meter. Setzt man diese Werthe in die zweite Formel ein, so erhält man

$$H = \frac{18,75 \cdot 288}{0,96 (513 - 288)} = 25 \text{ Meter}$$

Von einem andern Autor, (G. Schmidt) ist zur Berechnung der Schornsteinhöhe folgende Formel aufgestellt worden:

$$H = \left(\frac{7 N}{N + 14} \right)^2$$

und für den oberen lichten Durchmesser des runden Schornsteins die Formel

$$d = 0,22 + 0,1 \sqrt{N}$$

worin N die Anzahl der nominellen Pferdestärken der Dampfmaschine bezeichnet, für welche die Anlage bestimmt ist.

Angenommen ist hierbei, daß eine nominelle Pferdestärke in der Stunde 25 kg. Dampf konsumire und die Rauchgase eine Temperatur von mindestens 160° C. haben.

Die hierdurch erhaltenen Abmessungen genügen innerhalb sehr weiter Grenzen, selbst wenn die Widerstände in den Zügen beträchtlich sind.

Wäre z. B. $N = 100$, so ergibt sich

$$H = \left(\frac{7 \cdot 100}{100 + 14} \right)^2 = 6,14^2 = 37,8 \text{ Meter}$$

und der obere lichte Durchmesser

$$d = 0,22 + 0,1 \sqrt{100} = 1,22 \text{ Meter}$$

Es ist klar, daß man die Schornstein-Abmessungen auch für den Fall nach vorstehenden Formeln berechnen kann, wenn statt der Pferdestärken die Dampfmenge in Kilogramm gegeben ist, welche die Kessel-Anlage liefern soll. Man hat dann nur nöthig, die gegebene Dampfmenge durch die Zahl 25 zu dividiren, um das ideale N zu ermitteln, welches nun in die Formeln einzusetzen ist.

Andere Regeln lauten:

Man gebe den Feuerzügen sowohl als dem Schornsteine einen lichten Querschnitt gleich der freien Kesselfläche, also für Braunkohlenfeuerung $= \frac{1}{3}$ der Gesamtrostfläche und für Steinkohlenfeuerung $= \frac{1}{4}$ derselben.

So wie man den Feuerzug über der Feuerbrücke bis auf etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{2}{3}$ seines erforderlichen Querschnitts verringert, so geschieht das auch oft mit Vortheil mit dem Schornsteinkanal an seiner oberen Mündung.

Was den zweckmäßigen Querschnitt der Feuerzüge und des Schornsteins anlangt, so herrscht darüber im Ganzen eine größere Uebereinstimmung in den von verschiedenen Seiten vorgeschriebenen Regeln, als in Hinsicht auf die Höhe des Schornsteins, welche von einigen Technikern für genügend bezeichnet wird, so bald sie 10 bis 22 Meter beträgt, was aber jedenfalls nur für kleine Anlagen ausreichen dürfte. Für den Stadtbezirk von Berlin ist 19 Meter als die geringste Höhe für Dampf-Schornsteine gesetzlich vorgeschrieben.

Nach Professor Grove soll ein Schornstein für Steinkohlenfeuerung einen geringsten freien Querschnitt haben

der gleich $\frac{1}{4}$ der Gesamtrostfläche ist, wenn seine Höhe 16 Meter,

$= \frac{1}{5}$	"	"	"	"	"	"	"	25	"
$= \frac{1}{6}$	"	"	"	"	"	"	"	36	"

beträgt. Für Braunkohlenfeuerung genügen $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der vorstehend angegebenen Querschnitte. Nach v. Reiche soll die Höhe eines Schornsteines 25 mal so groß sein, wie die kleinste lichte Weite desselben, mindestens aber 16 Meter betragen, und diese Regel soll Geltung haben, so lange die Gesamtrostfläche nicht größer als höchstens 20 Quadratmeter ist.

Hiernach bleibt noch die Frage zu beantworten, welche Form für einen Schornstein die geeignetste ist. Da ein Schornstein um so besser ist, je weniger er die eingeschlossenen Rauchgase abkühlt, so muß eine kreisrunde Querschnittsform die beste sein, weil ein Kreis die kürzeste Linie ist, die eine Fläche von gegebener Größe einschließt; der kleinste Umfang wird also auch die kleinste Abkühlungsfläche bieten. Eine solche macht den geringsten Aufwand an Baumaterial nöthig und, was eine Hauptsache ist, die runde Form bietet dem Winde den geringsten Widerstand dar.

Runde Schornsteine erfordern aber zu ihrer Herstellung Formziegel von so vielen verschiedenen Größen, als die Schornsteinwandung Abfäße erhält, denn es ist wohl leicht einzusehen, daß man die Mauer eines so hohen Baues, wie ein Schornstein es ist, nicht von unten bis oben in derselben Stärke ausführen wird. Solche Formsteine sind aber nicht überall leicht zu beschaffen.

Man baut deshalb auch noch Schornsteine von eckiger Form, und zwar meist von achteckiger, weil sie sich mit den gewöhnlichen, rechteckig geformten Backsteinen noch gut herstellen läßt.

Die viereckige, quadratische Form ist natürlich die schlechteste, weil sie den größten Materialaufwand bedingt und der drehenden Bewegung der aufsteigenden Luftsäule sehr hinderlich ist. Man baut daher auch nur niedrige, und weniger wichtige Schornsteine noch von quadratischem Querschnitt namentlich dann, wenn man keine geschickten Maurer zur Verfügung hat. Wegen der bezeichneten Vortheile werden aber alle größeren, bedeutenderen Schornsteine nur noch rund ausgeführt.

Nächst der Form des Querschnitts kommt noch diejenige des Höhenprofils in Betracht, welches entweder von unten nach oben eine gleiche Weite haben, oder sich erweitern oder verengen kann.

Für eine Erweiterung nach oben ließe sich nur anführen, daß sie der aufsteigenden Luftsäule den geringsten Widerstand leistet; dagegen aber sprechen mehrere, sehr wichtige Umstände, namentlich:

1. die geringe Standfestigkeit eines Schornsteines, welcher oben einen größeren Durchmesser als unten hat,
2. daß eine große Weite oben das Einfallen des Windes sehr begünstigt, also den Zug stört, und
3. weil durch eine solche Form die Abkühlungsfläche vergrößert wird.


Mit Rücksicht auf diese Umstände ist ein nach oben sich verjüngendes Schornsteinprofil offenbar als das beste zu bezeichnen, zumal die Schornsteingase wegen der Abnahme ihrer Temperatur nach und nach ein geringeres Volumen einnehmen, so daß eine Verkleinerung des freien Querschnitts sich als ganz naturgemäß und passend erweist.

Zugkraft der Schornsteine.*)











Der Schornstein ist bei einer Kesselanlage einer der wichtigsten Theile, denn wenn er in seinen Dimensionen nicht richtig bemessen, und etwas zu niedrig und zu eng ist, so hat dies auf die Verbrennung einen sehr wesentlichen Einfluß. Man kann einen den Verhältnissen vollständig entsprechenden Schornstein nur mit genauer Berücksichtigung auch der örtlichen Verhältnisse gut bauen.

Meist wird bei Neuanlage von Schornsteinen darauf gesehen, daß dieselben möglichst billig werden, wobei dann der Durchmesser und die Höhe zu gering bemessen werden, so daß sie höchstens bei günstigem Winde Zugkraft genug besitzen, um den Kohlen die zur Verbrennung nöthige Luft zuzuführen. Sobald aber eine ungünstige Windrichtung eintritt, so wird das Feuer auch bei der größten Aufmerksamkeit des Heizers nur spärlich brennen und gehen eine große Menge Gase, die sich erst bei höherer Temperatur entzündeten, ungenutzt durch die Züge aus dem Schornstein.

Weinlig hat, so viel es ohne größere Unkosten möglich war, verschiedene Schornsteine auf ihre Zugkraft untersucht und giebt nachstehende kleine Tabelle ein Bild über die dabei ermittelten Resultate:

Kessel-System	Heizfläche	Kostfläche	Schornsteinhöhe in m	Schornsteinweite in m	Kostfläche zur Heizfläche wie	Kostfläche zum oberen Schorn- stein-Querschnitt	Temperatur im Kuche ° Cel.	Zug des Schorn- steins in m/m Wassersäule
	6,65	Planrost- Innenfeueg. 0,34	14—15	260 □	1 : 19	1 : 5,0	125	2
"	10,0708	Planrost- Innenfeueg. 0,33	20,0	500 □	1 : 32,4	1 : 1,3	230	8,5
"	28,698	Planrost- Innenfeueg. 0,56	25,00	700Dm.	1 : 51,2	1 : 1,4	250	12,5

*) Jahresbericht des Magdeburger Kesselvereins 1888.

www.libtool.com.cn								
Kessel-System	Heizfläche	Rostfläche	Schornsteinhöhe in m	Schornsteinweite in m/m	Rostfläche zur Heizfläche wie	Rostfläche zum oberen Schornstein-Querschnitt	Temperatur im Rauch ° C/℔.	Zug des Schornsteins in m/m Wasserföhle
   Röhren- kessel-System Stein- müller   "  "  "  "  " 	12,25	Planrost- Unterfeuerung 0,946	20,00	630Dm.	1 : 13	1 : 2,9	240—380	6—8,5
	15,367	Planrost- Vorfeuerung 0,438	Dimensionen waren jetzt nicht zu ermitteln.		1 : 35	—	160	7—8
	50,00	Planrost- Vorfeuerung 2,262	28,24	950Dm.	1 : 22	1 : 3,1	370	12—14
	83,5	Planrost- Vorfeuerung 3,6	40,00	900Dm.	1 : 23	1 : 5,6	320	18
	64,5	Treppenrost 1,84	20,00	550Dm.	1 : 35	1 : 7,7	160	7—10
	43,62	Treppenrost 2,16	33,00	940Dm.	1 : 20	1 : 3,1	290	12—14
	23,712	Treppenrost 0,377	17,25	785 □	1 : 27	1 : 1,25	150	11—12
	46,321	Treppenrost 1,65	25,0	520Dm.	1 : 28	1 : 8,25	335	11
	46,00	Treppenrost 1,4	Dimensionen waren nicht zu ermitteln.		1 : 32,8	—	390	9—10
	50,00	1,66	30,00	800Dm.	1 : 30	1 : 33	90	16—24
	70,50	2,24	31,38	750Dm.	1 : 31	1 : 5	260	16—17
	36,00	Treppenrost 1,60	25,00	700Dm.	1 : 22	1 : 4,1	200	13—16

Wie aus vorstehender Tafel ersichtlich, ist die in Millimeter Wasserföhle angegebene Zuggeschwindigkeit der Gase bei den meisten Schornsteinen eine geringe und es geht daraus hervor, daß die Höhe der Schornsteine den örtlichen Verhältnissen nicht entspricht. Der Querschnitt bei zwei Schornsteinen ist zu klein, es findet bei diesen beiden Anlagen auch nur eine ganz mangelhafte Verbrennung statt und vor dem Treppenrost ist eine hohe Temperatur bemerkbar.

Standfestigkeit des Schornsteins.

Ein Schornstein muß nicht nur eine richtige Weite und Höhe, sondern auch eine gute Standfestigkeit haben, und demgemäß muß er zunächst auf

einem guten Baugrunde errichtet, sodann aus einem guten Baumaterial hergestellt werden, ferner eine angemessene Wandstärke und ein solides Fundament bekommen und endlich von tüchtigen und gewissenhaft arbeitenden Maurern ausgeführt werden.

Mit der sich immer mehr ausbreitenden Gewerbsthätigkeit wächst auch die Zahl der hohen Dampfchornsteine, aber auch ebenso mehren sich die Fälle wo dieselben umstürzen oder doch eine so bedeutende Abweichung von der lothrechten Stellung annehmen, daß sie nicht, oder nur mit einem bedeutenden Aufwande an Mühe und Kosten wieder in die richtige Lage zurückgebracht werden können.

Wenn ein Schornstein in seinem ganzen Zusammenhange eine schiefe Stellung einnimmt, so kann daran ebensowohl ein ungleichmäßiges Setzen des Mauerwerks als auch ein einseitiges Nachgeben des Baugrundes die Ursache sein. Das Erstere vermeidet man durch eine möglichst sorgfältige und nicht zu schnelle Ausführung; auch müssen die Maurer, welche an dem Schornsteine arbeiten, täglich mit ihren Plätzen wechseln dergestalt, daß jeder einzelne sich in einer Schraubenlinie um den Schornstein herum bewegt, weil von den einzelnen Arbeitern niemals eine ganz gleichmäßige Anwendung des Mörtels zu erwarten und daher ein ungleichmäßiges Setzen des Mauerwerks die nothwendige Folge ist, wenn jeder der Arbeiter immer an derselben Schornsteinseite arbeitet.

Falls der Schornstein ohne Gerüst gebaut wird, so ist sorgfältig zu vermeiden, daß beim Aufziehen des Baumaterials immer dieselbe Schornsteinseite belastet werde, weil dies ebensowohl als auch der Druck des, während des Baues immer von derselben Seite wehenden Windes ein Krummziehen des Schornsteins verursachen kann, denn der noch weiche Mörtel giebt nur zu leicht einem solchen ungleichmäßigen Drucke nach.

Ein so hoch emporragendes Bauwerk, wie es ein freistehender Dampfchornstein ist, welches fast nur aus aufeinander geschichteten Backsteinen besteht und nur eine verhältnißmäßig kleine Stützfläche hat, erfordert in erster Linie einen sicheren Baugrund, der, falls er sich nicht in solcher Beschaffenheit vorfindet, erst künstlich verbessert werden muß. Daher muß vor allen Dingen eine sorgfältige Untersuchung des Baugrundes vorgenommen werden, die sich nicht nur auf die gerade zu bebauende Fläche, sondern auch auf die nächste Umgebung und auf eine der Wichtigkeit des Baues angemessene Tiefe zu erstrecken hat.

Ist der natürliche Baugrund, der sogenannte gewachsene Boden, der durch Abgraben des lockeren und des etwa aufgeschütteten Erdreichs bloß zu legen ist, nicht ganz sicher, d. h. besteht derselbe aus preßbarer Erde, oder aus

schwammigem Sande u. s. w., oder ist das Gelände quellenreich, oder enthält weiche Thon- oder Lehmschichten von wechselnder Mächtigkeit, so ist folgende Voricht geboten und es muß der Grund unter allen Umständen entweder mit Pfählen gelegt werden, falls er zu wasserreich ist, oder die Baugrube muß durch einen Schwellen- oder Pfahlrost, oder durch eine nicht zu dünne Lage von Zement Beton genügend befestigt werden. Der natürliche gewachsene Boden ist auf ein Quadratmeter mit nicht mehr, als 20000 kgr. zu belasten.

Ein gemauerter Schornstein besteht:

1. aus dem Fundamente, welches von der Sohle der Baugrube bis zur Mauerhöhe reicht und mit seiner breiten Basis eine der zulässigen Flächenbelastung entsprechend große Grundfläche bedecken muß. Dasselbe wird meist aus möglichst großen aber lagerhaften natürlichen Steinen mit Abtreppungen, am besten mit Zementmörtel ausgeführt. Sind keine natürlichen Steine guter Beschaffenheit zu beschaffen und sollen Backsteine Verwendung finden, so müssen dies sehr gute gebrannte, sogenannte Klinkersteine sein. Auf das Fundament folgt:
2. der Sockel oder das Postament des Schornsteins, welches gewöhnlich und am zweckmäßigsten von quadratischem Querschnitt aus natürlichen oder aus gut gebrannten Backsteinen mit Luftmörtel oder besser auch mit Zement aufgeführt wird. Werden natürliche Steine verwendet, so giebt man dem Sockel ein Futter aus Backsteinen mit Lehmörtel und isolirt dasselbe durch eine etwa 5 Zentimeter weite Luftschicht von dem Sockelmantel. Die quadratische Form eignet sich deshalb am besten für einen Schornsteinsockel, weil die geraden Seitenwände die Anbringung der erforderlichen Oeffnungen für den Fuchs und die Reinigungsthür am besten gestatten, während die vier Ecken der darauf ruhenden Säule eine gute Unterstützung gewähren. Auf den Sockel folgt
3. der Schaft, der wie schon oben auseinandergesetzt wurde, am besten einen runden oder allenfalls einen achteckigen Querschnitt erhält und im ersten Falle aus sogenannten Brunnenziegeln, im zweiten Falle aus gewöhnlichen, aber ebenfalls hartgebrannten Ziegeln aufgeführt wird. Den oberen Abschluß des Schafts bildet
4. der Kopf des Schornsteins, der aber nur dann als ein besonderer Theil erscheint, wenn er sich, sei es aus architektonischen oder aus Zweckmäßigkeitsrückichten von dem Schaft äußerlich abgrenzt. Derselbe wird am besten aus größeren, durch Eisenklammern mit einander verbundenen, behauenen Werksteinen hergestellt, oder im andern Falle durch Gusseisenplatten abgedeckt.

Die Standfestigkeit eines Schornsteins wird, einen guten Baugrund vorausgesetzt und von Erderschütterungen, Ueberschwemmungen, Explosionen und sonstigen außerordentlichen Einflüssen abgesehen, hauptsächlich nur von dem Winde bedroht. Der Wind ist aber eine sehr veränderliche Gewalt, welche für verschiedene Gegenden sehr verschieden heftig auftreten kann.

Man beurtheilt die, von der Geschwindigkeit der Luft abhängige größte Kraft des Windes nach dem Drucke, den derselbe auf die Quadratinheit einer von ihm rechtwinkelig getroffenen Wandfläche ausübt.

Für das mittlere Deutschland wird der größte Winddruck auf ein Quadratmeter nach Weißbach angenommen zu 127 kg.; für England (Glasgow) nach Rankine zu 269 kg.

Der Orkan vom 12. März 1876 übte nach Professor Duetelet in Brüssel einen Druck von 144 kg auf ein Quadratmeter aus. Dieser Orkan warf eine größere Zahl von Schornsteinen um und in Folge dessen haben sich verschiedene Techniker die Aufgabe gestellt, Regeln und Formeln zu finden nach denen Schornsteine zu bauen sind, die vom Winde nicht umgestürzt werden. Diese Aufgabe ist indessen keine so einfache, insofern dabei Faktoren auftreten, die man nicht genau anzugeben vermag oder überhaupt nicht kennt; setzt man aber abgeschätzte Werthe in die Rechnung ein, so kann das Resultat der Rechnung nicht in jeder Beziehung verlässlich ausfallen.

Bei einem Schornsteine ist es nur das Gewicht des Mauerwerks, welches dem Winde Widerstand gegen das Umstürzen leistet. Die Annahme, daß ein Schornstein durch den Mörtel den Zusammenhang eines einzigen festen Körpers erlange, der vor dem Umstürzen erst wie ein Balken durchgebrochen werden müßte, woraus folgen würde, daß in den Lagerfugen auf der vom Winde getroffenen Seite Zugspannungen auftreten, ist jedenfalls eine sehr gewagte und wird in Wirklichkeit schwerlich einmal zutreffend sein. Selbst wenn, was praktisch gar nicht durchführbar ist, die Ausführung mit so großer Sorgfalt erfolgt wäre, daß die Lagerfugen in allen Punkten und Querschnitten ordnungsgemäß mit Mörtel ausgefüllt, die Steine also überall gut mit einander verklebt worden wären, so ist doch die Wahrscheinlichkeit, daß der ursprünglich vorhandene Zusammenhang zwischen den Steinen auch bestehen bleibt, gleich Null. Schon während der Ausführung reicht der unvorsichtige Fußtritt eines Arbeiters, oder ein auf das frische Mauerwerk geworfener Körper hin, den innigen Zusammenhang in der Fuge aufzuheben. Aber wenn auch durch die peinlichste Vorsicht eine derartige Beschädigung sich hätte vermeiden lassen, kann nicht verhütet werden, daß eingebrungenes Wasser im Winter zum Gefrieren kommt und die Fuge sprengt, oder daß bei starkem

... die

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

Da letztere Vorschrift für die Praxis viel bequemer ist, und ihre Befolgung durchaus feste Schornsteine giebt, so ist derselben der Vorzug um so mehr zu geben, als dabei von dem Mörtel keine Zugfestigkeit verlangt wird. Die Vorschrift könnte auch, unbeschadet der Sicherheit dahin abgeändert werden, daß man für die obere geringste Wandstärke nur 200 mm oder 180 mm nimmt, dieselbe dagegen alle 4 m um 50 mm stärker werden läßt.

Ueberall, wo Einstürze von Schornsteinen vorgekommen sind, hat sich nachweisen lassen, daß bei der Berechnung oder dem Entwurfe entweder die Kraft des Windes zu gering geschätzt worden ist und demnach die Wandstärken oder auch die Verjüngung nach oben hin zu schwach genommen war, oder daß man dem Mörtel eine bindende Kraft zugeschrieben hat, die er nicht in allen Punkten besitzt.

Die Einmündung des Fuchses in den Schornstein erfolgt oft unter der Bodenfläche, was in dem Falle ohne Nachtheil ist, wenn dem Fuchs vom Kessel her kein oder doch nur ein mäßiger Fall gegeben zu werden braucht. Dem Fuchs einen Fall zu geben, ist im Allgemeinen zu vermeiden, weil damit stets eine Verminderung des Zuges verbunden ist; wo aber eine solche beabsichtigt wird, da ist der Rauchschieber oder die einen solchen ersetzende Thür oder Klappe stets ein besseres Mittel zur Erreichung dieses Zwecks, als ein Fallen des Fuchses.

Hat ein Schornstein die Rauchgase aus mehreren Feuerungen aufzunehmen, so muß seine Weite natürlich gleich der Summe aller freien Kesselflächen gemacht werden, während die Höhe gleich derjenigen zu nehmen ist, welche für die größte Einzel-Feuerungsanlage erforderlich ist.

Bei der Einführung des Fuchses in den Schornstein soll die Richtungsänderung niemals plötzlich, sondern durch sanfte Abrundung aller Ecken ganz allmählich geschehen, damit von der lebendigen Kraft des Gasstromes so wenig wie möglich verloren gehe.

Münden in denselben Schornstein in derselben Höhe mehr als ein Fuchs ein, so müssen die Rauchgase aus denselben durch trennende Mauerzungen oder Scheidewände erst in die lothrechte Richtung übergeführt werden, bevor sie zusammenfließen, damit der Zug nicht durch Zusammenstoß der Gasströme gestört oder beeinträchtigt werde. Gegenüber der Einmündung des Fuchses bringt man am Sockel des Schornsteins eine Oeffnung an, die entweder mit einer Thür verschlossen, oder leicht zugemauert wird, damit sie leicht geöffnet werden könne. Dieselbe dient zur Reinigung des Schornsteins und des Fuchses von Ruß und Flugasche. Man pflegt zu

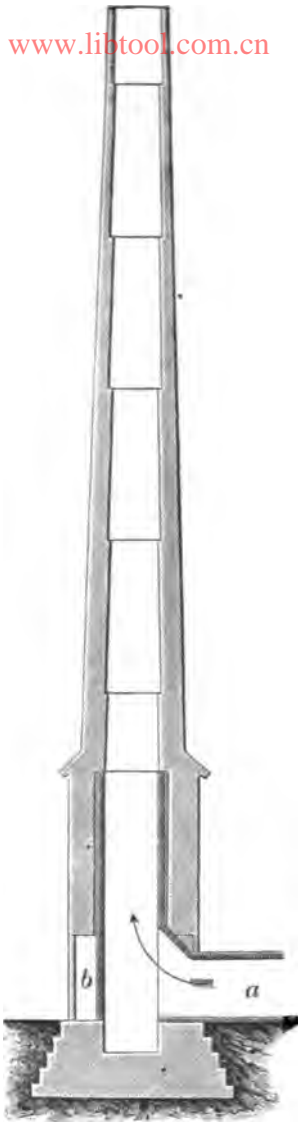


Fig. 27.

Apparat beeinflusst wurde und daß ferner der sogenannte Deflektor des Apparates von seinen Aufhängeketten abgerissen und auf die Mündung des Rauchkanals gestürzt war und so letzteren theilweis verschloß. Dieser Uebelstand wurde durch Beschaffung eines eisernen, statt kupfernen, Deflektors und besserer Aufhängung beseitigt.

dem Zwecke die Sohle des Schornsteinrohrs um 1 bis 2 m tiefer als die Sohle des Fuchses zu legen, wodurch ein Aschenfad in der einfachsten Weise und zugleich an einem passenden Orte gebildet wird.

Figur 27 zeigt einen lothrechten Schnitt durch einen runden Schornstein von 40 m Höhe, 1,8 m oberer und 2,2 m unterer Weite. Der aus natürlichen Steinen aufgeführte Sockel ist mit einem Futter aus Backsteinen versehen und dieses durch eine Luftschicht vom eigentlichen Sockel isolirt. Bei a ist die Einmündung des Fuchses und bei b die durch zwei dünne Mauerwände zugesetzte Reinigungsthür.

Figur 28 zeigt Ansicht und Durchschnitt eines achteckigen Schornsteins mit einem hoch hinaufreichenden Futter, welches ebenfalls durch eine Luftschicht von dem äußeren Mantel abge- sonders ist, und erst im obersten Stockwerke sich mit diesem vereinigt. Bei a mündet der Fuchs ein und b ist die Reinigungsthür.

Gegen den zuweilen höchst belästigenden Aschenauswurf bei Braunkohlenfenerung hat sich der Schomburg'sche Aschenfänger mehrfach als wirksames Hilfsmittel bewährt.

Beispielsweise fand sich bei einem sechs Tage dauernden Versuche, daß in dieser Zeit 66 Centner Asche im Apparat aufgefangen waren, also 11,33 Ctr. in 24 Stunden. Hierbei ist zu bemerken, daß auch der direkte Schieber zum Schornstein etwas geöffnet sein mußte, da sonst die Zuggeschwindigkeit durch den

www.libtool.com.cn

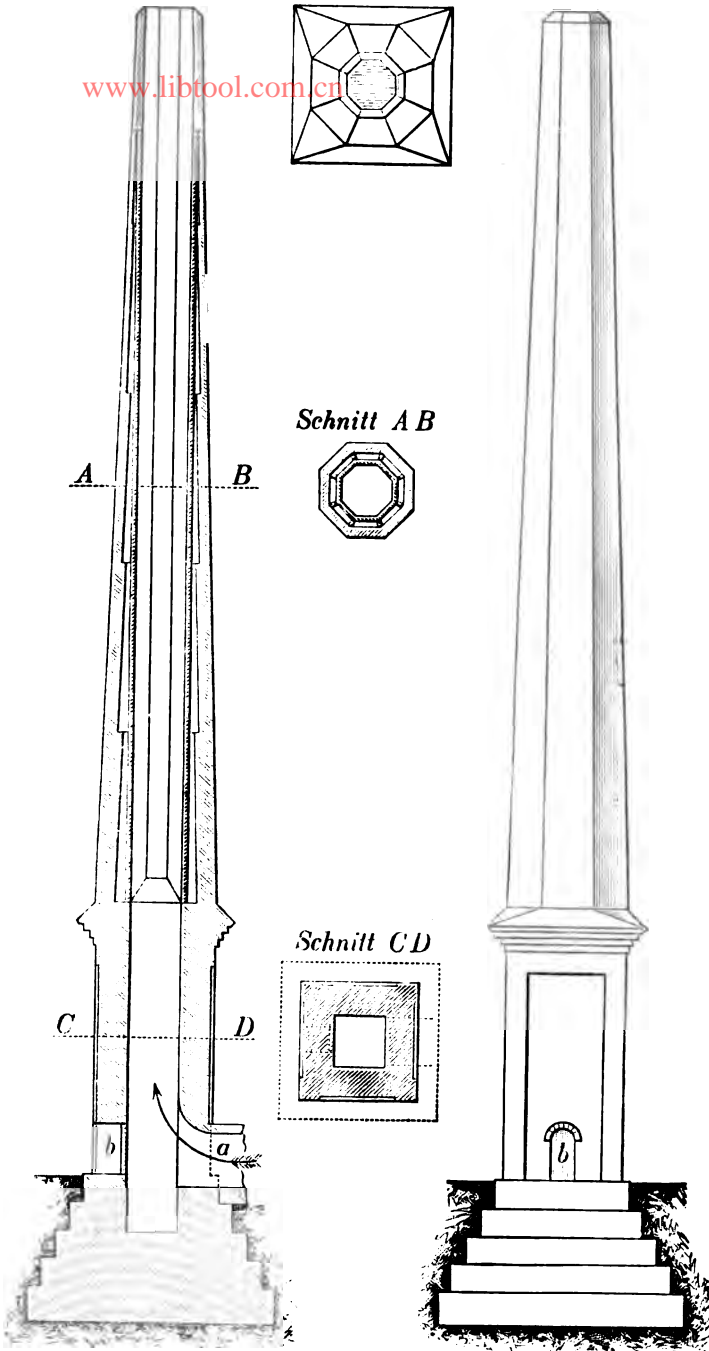


Fig. 28.

Die beifolgende Skizze (Figur 29) vergegenwärtigt die Einrichtung eines Schornburg'schen Aschenfängers, bei welchem man den aufsteigenden Fuchs

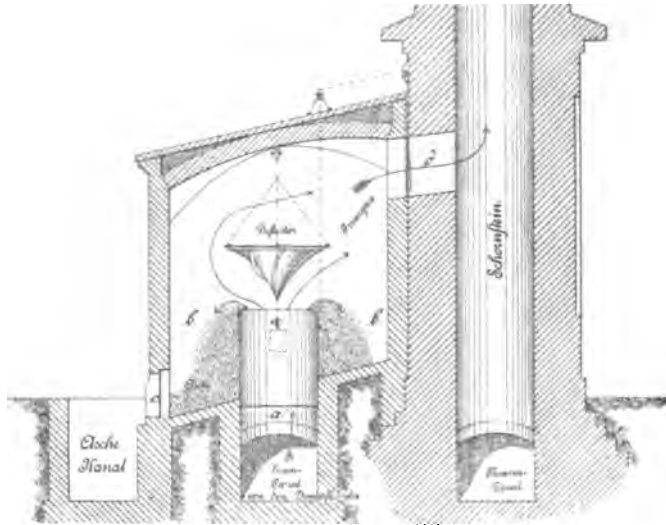


Fig. 29.

a a in einer neben dem Schornstein angebrachten Kammer b b münden läßt und über der Mündung des Fuchses einen schneckenartig gewundenen Regler (Deflektor) aufgehängt hat, welcher von außen durch Kette und Rollen in seiner Höhenlage regulirt werden kann. Die Asche wird durch letzteren Apparat zur Seite geworfen und sammelt sich auf dem schrägen Boden der Kammer b b, um durch die eiserne Thür bei c von Zeit zu Zeit entfernt werden zu können. Durch d entweichen die Rauchgase, welche den Apparat durchstrichen haben, in den Schornstein.

Um die Reinigung des Apparates zu bewirken muß derselbe ganz ausgeschaltet, also die Rauchgase müssen direkt in den Schornstein geleitet werden, was in der Weise geschieht, daß man den im Fuchs angebrachten Schieber zum Aschenfänger und den vom Aschenfänger zum Schornstein führenden Kanal (d) schließt und den direkten Fuchs nach dem Schornstein öffnet.

Zug-Erzeugung durch künstliche Hülfsmittel.

Nicht überall kann man zur Zugerzeugung einen entsprechend weiten und hohen Schornstein aufstellen und man ist in solchen Fällen genöthigt, den erforderlichen Zug auf künstliche Weise zu schaffen.

Bei Lokomotiven und Lokomobilen geschieht dies bekanntlich durch den sogenannten Abdampf, das heißt durch den Dampf, der im Dampfzylinder bereits seine Arbeit verrichtet hat und nun ins Freie entlassen werden muß.

Da dieser Dampf aber noch eine, den Druck der atmosphärischen Luft bedeutend übersteigende Spannung besitzt, so wird dieser Kraftüberschuß zur Zugerzeugung in der Weise benutzt, daß man ihn aus einem Rohre, dem sogenannten Bläserohre, in den kurzen und engen Schornstein der Lokomotive ausströmen läßt, wobei er, durch die große Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, die aus den Kesselzügen austretenden Rauchgase mit Hestigkeit mit sich fortreißt und zum Schornsteine hinaus schleudert. Hierdurch wird ein weit lebhafterer Zug hervorgebracht, als es bei feststehenden Anlagen durch den Schornstein möglich ist.

Die Ausnutzung des Dampfes bei den Lokomotiven ist indeß keine so günstige, wie man sie bei den festen Anlagen findet, bei welchen man die Expansivkraft des Dampfes so weit als möglich ausbeutet. Schon bei den Lokomobilen, wo man den Dampf ebenfalls besser ausnutzt als bei den Lokomotiven, ist der durch das Bläserohr hervorgebrachte Zug wesentlich geringer, weil bei jenen der Abdampf schon sehr matt zum Auspuß gelangt.

Schon lange hat man nun auf Mittel gejonnen, mit welchen man bei stehenden Anlagen einen schlechten Zug zu verbessern im Stande wäre und da man Maschinen besitzt, welche zur Luftbewegung dienen (Gebläsemaschinen, Ventilatoren und Erhaustoren) so lag es nahe, dieselben zur Zugerzeugung bezw. zur Zugverstärkung anzuwenden; allein die hohe Temperatur der Rauchgase und ihre Verunreinigung durch Flugasche u. s. w. war einer zweckentsprechenden Verwendung solcher Maschinen sehr hinderlich, selbst abgesehen von den vielen Umständen, mit denen ihre Aufstellung und ihr Betrieb verknüpft ist.

Seitdem man aber in den Strahlapparaten ein Mittel gefunden hat, auch für feste Anlagen mittels direkten Dampfes dieselbe gute Wirkung hervorzubringen, wie mit dem Lokomotiven-Bläserohr, ohne die Uebelstände, welche Ventilatoren und Erhaustoren im Gefolge haben, mit im Kauf nehmen zu müssen, wird von diesem Mittel häufiger mit gutem Erfolge Gebrauch gemacht, und zwar hauptsächlich zur Zugverstärkung.

Wenn aus irgend einem Grunde der vorhandene Schornstein nicht leistet, was man von ihm verlangt, so ist oft ein Dampfstrahlapparat ganz am Platze, weil er ohne viele Umstände aufgestellt werden kann und auch verhältnißmäßig wenig Betriebsdampf beansprucht, da er ja nur die Aufgabe hat, einen mangelhaften oder nicht genügenden Zug zu verstärken. Derselbe braucht auch vielleicht nicht einmal immer, sondern nur dann in Thätigkeit zu

sein, wenn der Betrieb ein angestrenzter ist. Gerade in solchem Falle die Dampfströmung vollständig in seiner Gewalt zu haben, ist ein Vortheil, der von keinem andern hohem Werthe sein kann.

Um sich hierzu eignendes Dampfstrahlgetriebe besteht aus einem mehrfachen Tufen Systeme, bei welchem ein dünner Dampfstrahl zunächst in eine enge Tufe eintritt; die von diesem mitgerissene Luft bildet einen Strom von grossem Querschnitt der nun in eine weitere Tufe mündet und wiederum Luft mitreißt. Der hierdurch wieder breiter gewordene Luftstrom tritt in eine dritte noch größere Tufe neue Luft mitreißend ein. Zudem sich dieser

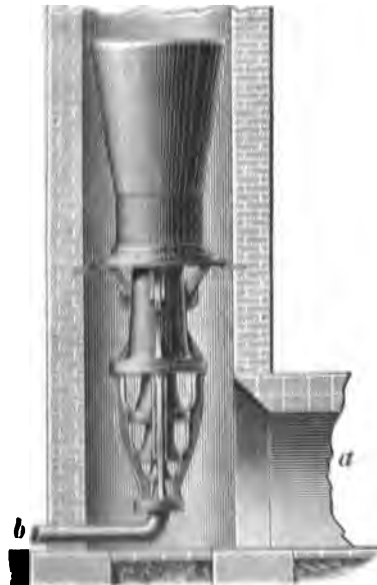


Fig. 30.

Vorgang mehrere Male mit immer weiter werdenden Düsen wiederholt, erfährt die Rauchgasäule im Schornsteine einen ununterbrochenen Nachschub und es wird eine Wirkung hervorgebracht, die dem beabsichtigten Zwecke ganz entspricht und jede Störung des Zuges im Schornsteine, sei es durch widrigen Wind, oder zu niedrige Temperatur der Schornsteingase, oder wegen zu dicker Brennstoffschicht auf dem Roste, oder durch Anhäufung von Flugasche in den Feuerzügen u. s. w. unmöglich macht. Dazu gehört, daß man durch eine Regulirspindel am Dampfrohr den Zug ganz nach Bedarf verstärken kann.

Figur 30 zeigt einen in einen Schornstein eingebauten Dampfstrahl-

Apparat welche Anordnung für den angegebenen Zweck am besten ist. Der Apparat wirkt hier als Exhaustor, indem er kalte Luft durch den Rost anzieht und die Heizzgase durch die Feuerzüge hindurch ansaugt, in die Schornsteinröhre drängt und oben hinausschiebt. Hierdurch werden zu gleicher Zeit die Roststäbe bedeutend abgekühlt, so daß sie eine längere Dauer haben, als bei dem gewöhnlichen trägen Schornsteinzuge. Der Fuchs mündet bei n ein, b ist das Dampfrohr.

Will der Apparat als Gebläse wirken, d. h. Luft in den Feuerungsraum drücken, so ist seine Anordnung die umgekehrte. Die Mündung der weitesten Tufe wird dann mit dem Raume unter dem Roste dicht schließend in Verbindung gesetzt und der Apparat wirkt nun als Unterwindgebläse, wie

solche bei Gasfeuerungen und Gasgeneratoren schon vielfach Anwendung finden.

Ein für diesen Zweck eingerichteter Dampfstrahlapparat ist in Figur 31 dargestellt, in welcher a das Dampfrohr und r das Handrädchen für die Regulirspindel bezeichnet.



Fig. 31.

Nutzwirkung der Feuerungsanlagen.*)

Unter dem Nutzeffekte einer Feuerungsanlage versteht man denjenigen Prozentantheil der erzeugten Wärme, welche auf den zu erwärmenden Körper übertragen wird.

Demnach ist der Nutzeffekt

$$\eta = \frac{100 m}{p}$$

worin m die nutzbar gemachte Wärme in Kalorien und p den absoluten Wärmeeffekt des Brennmaterials bedeutet.

Der Nutzeffekt ist bei den einzelnen Feuerungsanlagen außerordentlich verschieden und wechselt von 30 bis 80 Prozent. Bei Dampfkesseln weiß man, daß derselbe in der Regel zwischen 50 und 70 Prozent schwankt, und nur ausnahmsweise höhere Effekte erzielt werden.

Wie schon im Vorhergehenden an verschiedenen Stellen bemerkt, werden die Wärmeverluste bei Feuerungsanlagen bedingt:

1. durch das Abziehen der Verbrennungsgase mit hoher Temperatur;
2. durch den Luftüberschuß, der zum lebhaften Fortbrennen des Feuers notwendig ist.
3. durch unvollkommene Verbrennung, und zwar:
 - a) Entweichen von brennbaren Gasen;
 - b) Ausscheidung von Kohlenstoff als Flugruß;
 - c) Kohlenabgang in den Aschenfall;
4. durch die Wärme, welche in den Verbrennungsrückständen (Asche und Schlacken) verbleibt;
5. durch Wärmeaufnahme, Leitung und Strahlung des Feuerherdes, der Feuerzüge und alle anderen Theile, welche die Anlage nach Außen begrenzen.

*) Nach Schwachhöfer, Lehrbuch des landw.-chemisch. Technologie. Wien 1883. S. 90 ff.

Zu 1. Die den Verbrennungsgasen innenwohnende Wärme kann in keinem Falle vollständig ausgenützt werden; diese Gase müssen mit einer Temperatur abziehen, welche bedeutend höher ist, als jene der zuströmenden Luft, weil dadurch die Wirkung des Schornsteins bedingt wird. Bei Dampfkesselanlagen bester Konstruktion verlassen die Gase den Kessel mit einer Temperatur von 180 bis 200° C.; bei Anlagen schlechter Art erreicht die Endtemperatur der Gase nicht selten eine Höhe von 300 bis 500° C.

Zu 2. Zum lebhaften Fortbrennen des Feuers ist ein gewisser Luftüberschuß nothwendig, welcher je nach Art der Feuerungsanlage und Beschaffenheit des Brennmaterials verschieden groß sein muß. Bei Gasfeuerungen und sogenannten Halbgasfeuerungen reicht schon die 1,5 bis 1,7fache Luftmenge von der theoretisch berechneten zur vollständigen Verbrennung aus. Bei den gewöhnlichen Kofstfeuerungen, wo die Mischung der aus dem Brennmaterial entwickelten Gase mit der atmosphärischen Luft keine so innige ist, muß die 2 bis 2,5fache Luftmenge zuströmen. Bei unzuwehmäßig konstruirten oder schlecht bedienten Feuerungsanlagen findet man aber nicht selten die 3 bis 4,5fache Luftmenge von der theoretisch berechneten.

Da die Luft mit einer Temperatur von 20 bis 30° C. in den Feuerraum einströmt und bei Dampfkesselanlagen mittlerer Güte mit etwa 250 bis 300° C. in den Schornstein abzieht, so ist der dadurch bedingte Wärmeverlust ein sehr bedeutender. Bei der dreifachen Luftmenge (— zweifachem Luftüberschuß) und bei Verwendung von Steinkohlen entspricht dieser Verlust beiläufig 1000 bis 1400 Kalorien oder 15 bis 20 Prozent der verbrannten Kohle. Unter ungünstigeren Bedingungen steigt dieser Verlust wesentlich höher.

Zu 3. Die brennbaren Gase, welche bei unvollkommener Verbrennung des Torfes und der Mineralkohlen entweichen, bestehen vorzugsweise aus Kohlenoxid, und nur zum geringen Theil aus Kohlenwasserstoffen und freiem Wasserstoff.

Da aber diese letztgenannten Gase einen sehr hohen kalorischen Effekt geben, so bedingt ein Auftreten von nur wenigen Zehntelprozenten im Essengas schon einen beträchtlichen Verlust. Gewöhnlich ist die unvollkommene Verbrennung die Folge von ungenügender Luftzufuhr. Es kann aber auch vorkommen, daß trotz eines bedeutenden Luftüberschusses brennbare Gase im Essengas zu finden sind.

Die Ursache liegt dann nicht allein in der mangelhaften Konstruktion der Anlage, sondern hauptsächlich in der nachlässigen Wartung des Feuers, namentlich in der ungleichförmigen Beschickung des Kofstes.

Bei jeder unvollkommenen Verbrennung geht ferner auch noch Kohlenstoff als solcher verloren, und zwar sowohl in Form von Flugruß, welcher sich

in den Feuerzügen festsetzt, und theils mit den Rauchgasen beim Schornstein hinaus getrieben wird, als auch in Form kleiner, größtentheils verkohlter Kohlenstücke, welche durch die Rostspalten in den Aschenraum fallen oder von den Schlacken eingeschlossen und dadurch an der Verbrennung verhindert werden.

Der Wärmeverlust durch Rußbildung wird gewöhnlich weit überschätzt. Wenn schwarzer Rauch aus dem Schornstein entweicht, so ist das zwar ein sicheres Zeichen der unvollkommenen Verbrennung — die Größe des Verlustes läßt sich aber durchaus nicht einmal annähernd beurtheilen, da der Hauptverlust niemals in dem Kohlenstoff liegt, der als Ruß oder Rauch abgeht, sondern zumeist in den brennbaren Gasen, welche mit dem Rauch entweichen.

Die Größe der zweitgenannten Verlustquelle „das Unverbranntbleiben von Kohlen- oder Kohlstückchen“, ist vorzugsweise von der Art der Kohle, und erst in zweiter Linie von der Beschaffenheit des Rostes abhängig. Unter günstigen Verhältnissen beträgt dieser Verlust nur wenige Prozente, während er im anderen Falle — wenn Kohlen in Verwendung kommen, welche im Feuer zerbröckeln oder deren Asche schmelzbar ist und Schlacken bildet — eine ganz beträchtliche Höhe erreichen kann.

Zu 4. Der Verlust, daß die Asche und Schlacken im glühenden Zustande in den Aschenfall gelangen, und auch Kohlenstücke dort noch weiter fortglimmen, kommt weniger in Betracht, weil die im Aschenraum vorhandene Wärme wenigstens theilweise zur Erwärmung der in den Feuerraum einströmenden Luft verwendet wird.

Zu 5. Der Verlust durch die Wärmefangnahme der Wände und aller übrigen Theile der Anlage kommt nur bei periodischem Betriebe (z. B. bei Dampfkesseln, welche nur tagesüber oder nicht einmal jeden Tag geheizt werden) in Betracht. Bei stetigem Betriebe (wie z. B. in Zuckerraffinerien oder größeren Spiritusbrennereien) ist dieser Verlust kaum nennenswerth.

Biel bedeutender ist der durch Leitung und Strahlung bedingte Verlust. Die Größe desselben hängt lediglich von der Konstruktion der Anlage ab, und kann durch entsprechende Isolirung (doppeltes Mauerwerk mit dazwischen befindlicher stochender Luftschichte oder Ausfüllung des Zwischenraumes mit Asche, Schlacken oder sonstigen schlechten Wärmeleitern) auf ein Minimum reduziert werden.

Versuchsanstellung. In der Regel ist man genöthigt, den Versuch während des gewöhnlichen Betriebes vorzunehmen, wobei folgende Umstände zu berücksichtigen sind.

Beim Beginn des Versuches muß der Dampfdruck bis zur normalen Höhe mit Wasser gefüllt sein und jene Dampfspannung herrschen, bei welcher der Versuch durchzuführen werden soll. Der Aschenfall muß vollständig ausgeräumt und das am Kofte befindliche Brennmaterial bereits so weit abgebrannt sein, daß zur Erhaltung der Dampfspannung ein neuerliches Aufwerfen notwendig ist.

Von nun ab wird das der Feuerung zugeführte Brennmaterial gemessen, das Volumen und die Temperatur des Speisewassers gemessen.

Die Menge des Speisewassers wird am besten mit Hilfe eines Wassermessapparates ermittelt, dessen Fehlerkonstante bekannt ist. Da jedoch solche Meßapparate in den wenigsten Fabriken zu finden sind und die etwa vorhandenen wegen mangelhafter Konstruktion ihren Zweck sehr häufig nicht erfüllen, so begnügt man sich mit der Bestimmung des Wasservolumens im Speisebehälter, oder man berechnet das Volumen des verbrauchten Wassers aus dem Hubvolumen und der Umdrehungszahl der Speiserumpe. Letzteres ist jedoch nur dann zulässig, wenn die Temperatur des Speisewassers unverändert ist, die Dimensionen der Pumpe genau bekannt sind, und man sich von der richtigen Arbeit derselben überzeugt hat.

Am Schlusse des Versuches muß der Wasserstand im Kessel derselbe sein, wie beim Beginn und ebenso die Kohlenfüttung auf dem Kofte. Der Aschenfall wird wieder ausgeräumt und das Gewicht der Rückstände ermittelt. Von der angewandten Kohle, sowie von den Rückständen ist eine möglichst gute Durchschnittsprobe für die chemische Untersuchung zu entnehmen. Von der Kohle ist die Elementaranalyse auszuführen und der absolute Wärmeeffekt auf kalorimetrischem Wege zu bestimmen, während in den Rückständen nur der verbrennliche Antheil zu ermitteln ist, welcher der Einfachheit wegen als Kohlenstoff in Rechnung genommen wird.

Während der ganzen Versuchsdauer muß ferner in gewissen Zwischenräumen die Temperatur und Zusammensetzung der abziehenden Verbrennungsgase, sowie die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der zur Feuerung strömenden atmosphärischen Luft bestimmt werden. Wünschenswerth ist es auch, die Menge des Flußgrußes kennen zu lernen. Endlich ist behufs Ermittlung des mit dem Dampfe übergerissenen Wassers eine Destillationsprobe vorzunehmen.

Zur Erläuterung der Berechnung der Resultate und Schlußfolgerungen, welche daraus gezogen werden können, sind hier drei Beispiele gewählt, von denen das erste den Typus einer gut konstruirten und rationell betriebenen Dampfesselanlage darstellt, das zweite einer mangelhaft eingerichteten und nachlässig gewarteten Anlage entspricht; das dritte endlich ein Bild von dem angestrengten Betriebe einer Kesselbatterie mit Ökonomisier giebt.

I. Beispiel.
www.libtool.com.cn

Vorbemerkungen. Die Anlage besteht aus einem Tenbrint- und einem Flammrohrkessel. Am Versuchstage war nur ersterer im Betrieb. Der Rauchkanal des letzteren war durch die Essenklappe abgeschlossen.

Der Tenbrintkessel besitzt zwei Feuerherde, drei Ober- und sechs Unterkessel. Die Gesamtrostfläche beträgt 2 Quadratmeter und die Gesamtheizfläche 85 Quadratmeter. Das Verhältniß dieser beiden ist daher 1 : 42,5.

Die Querschnittsöffnung bei der Rauchklappe betrug 0,18 Quadratmeter.

Der Heizversuch dauerte bei ununterbrochenem Fabriksbetriebe von 7 Uhr Früh bis 7 Uhr Abends. In diesen 12 Beobachtungsstunden wurden 1812 kg. Kohle verbrannt und damit 16752 Liter Wasser verdampft.

Zur Heizung wurde Ostrauer Kleinkohle verwendet. Die zugeführte Kohle wurde in tarirten Kübeln gewogen und aus jedem derselben eine kleine Menge Kohle für die Untersuchung entnommen. Das Gewicht der gefüllten Kübel wurde jedesmal auf 50 kg. netto eingestellt. Die Zählung und Aufschreibung der Kübel erfolgte doppelt, das erstemal bei der Wage und das zweitemal bei dem Kessel. Zur Beschickung des Rostes sind Rippgefäße angebracht, welche sich in Zapfenlagern drehen und in der Ruhelage die zu den Rosten führenden Füllöffnungen abschließen.

Da ein Abräumen des Rostes nicht thunlich war, so wurde 10 Minuten vor Beginn des Versuches zum letztenmale ungewogene Kohle aufgeworfen. Um 7 Uhr erfolgte die erste Schüttung mit gewogener Kohle. Von nun an wurde in regelmäßigen Perioden von 10 zu 10 Minuten Kohle aufgegeben. Die letzte Schüttung erfolgte 10 Minuten vor Schluß des Versuches. Der Aschenfall war bei Beginn des Versuches vollständig geräumt. Am Schlusse wurde der Verbrennungsrückstand gesammelt, gewogen, und davon für die Analyse eine Durchschnittsprobe entnommen.

Zur Kesselspeisung diente Brunnenwasser, welches mit Natrialkali und Soda behandelt war, und in einem Röhrenvorbärmer mit Abdampf aus der Betriebsmaschine auf 58° C. angewärmt wurde. Die Messung des Wassers geschah im Speisewasserbehälter, und zur Kontrolle wurde auch die Umdrehungszahl der Speisepumpe ermittelt. Der Wasserstand war am Schluß des Versuches derselbe wie bei Beginn. Die Dampfspannung wechselte zwischen 4 und 5 Atmosphären Ueberdruck. Zur Trocknung des abströmenden Dampfes ist ein Dampfammler vorhanden.

Der Kessel war seit der letzten Reinigung und Revision 15 Tage im Betrieb. An dem Versuchstage wurde derselbe um 6 Uhr Früh angeheizt, und um 6 Uhr 50 Minuten war bereits die normale Dampfspannung erreicht. Während des Versuches wurden 6 Rauchgasproben zur Analyse ent-

nommen. Eine jede Probe wurde durch einstündiges Abfugen gewonnen. Das Gasanfaugerohr war im Rauchkanal 2 Meter vom Kessel eingesetzt und gedichtet. Die Essenklappe befand sich noch weitere 2 Meter (gegen den Kamin zu) entfernt.

Die Temperatur der Rauchgase wurde mit einem Wasserstoff-Quecksilberthermometer gemessen, welches neben dem Saugrohr im Rauchkanal eingesetzt und gedichtet war. Vor dem Festsetzen des Thermometers wurde jene Stelle am Querschnitt des Rauchkanals aufgesucht, wo die höchste Temperatur (folglich auch die stärkste Gasströmung) herrschte. Die Mündung des Saugrohres befand sich auf gleicher Höhe mit dem Quecksilbergefäß des Thermometers. Die Temperatur der Rauchgase wurde von 15 zu 15 Minuten abgelesen.

Da die Verbrennung nahezu rauchlos vor sich ging, und nur unmittelbar nach jeder Kohlenschüttung eine sehr schwache etwa zwei Minuten andauernde Rauchwolke am Schornstein bemerkbar war, so wurde von der Bestimmung des Flugrusses Abstand genommen. Zur Ermittlung des mit dem Dampfe übergerissenen Wassers wurden drei Destillationsproben ausgeführt. Bei jeder Probe, welche 50 bis 60 Minuten dauerte, wurden 10 bis 15 Liter Destillat aufgesammelt, gemischt, und davon 800 bis 1000 Kubikzentimeter zur Bestimmung des Trockenrückstandes, und für den gleichen Zweck ungefähr ebenso viel Wasser aus dem Kessel entnommen.

(Die Ergebnisse der Bestimmungen enthält die Tafel S. 134 und 135.)

1) Berechnung des Wärmeverlustes durch das abziehende Gsjengas.

- a) Umrechnung der durch die Gasanalyse gefundenen Volumina der einzelnen Gase auf Gewichtstheile:

	Stückgewicht in Grammen	×	Volumen- theile	=	Gewichts- theile
Kohlensäure . . .	1,9666	×	12,2	=	23,992
Atmosphärische Luft	1,2936	×	38,6	=	49,933
Stickstoff	1,2566	×	49,2	=	61,825

- b) Berechnung des Gewichtes der einzelnen Gasgemengtheile auf 1 Kilogramm der verbrannten Kohle.

In 1 Kilogramm Kohle sind 0,6977 Kilogramm Kohlenstoff enthalten; davon gehen in den Aschenfall 0,0137 Kilogramm, und sind somit verbrannt 0,684 Kilogramm.

3 Kilogramm Kohlenstoff geben bei vollständiger Verbrennung 11 Kilogramm Kohlenensäure, daher

$$0,684 \times 11 = 2,508 \text{ Kilogramm Kohlenensäure}$$

Auf 23,993 Kohlenäure kommen 49,933 Luft, daher

$$\frac{49,933 \times 2,508}{23,993} = 5,219 \text{ Kilogramm Luft.}$$

Auf 23,993 Kohlenäure kommen 61,825 Stickstoff, daher

$$\frac{61,825 \times 2,508}{23,997} = 6,463 \text{ Kilogramm Stickstoff.}$$

Der Wassergehalt des Gases setzt sich zusammen:

1) aus dem Wasser, welches als solches in der Kohle enthalten war
 — 0,167);

2) aus dem Wasser, welches durch Verbrennung des disponiblen Wasserstoffes entsteht ($0,0272 \times 9 = 0,2448$);

3) aus dem Wassergehalt der zur Feuerung strömenden atmosphärischen Luft. 77 Gewichtstheile Stickstoff entsprechen 100 Gewichtstheilen Luft,

$$\text{daher } \frac{6,463 \times 100}{77}$$

8,394 Luft zur Verbrennung verbraucht,

5,219 " im Ueberschuß giebt

13,613 Kilogramm Luft in Summa.

Die zuströmende Luft enthielt 0,8 Gewichtsprocente Wasserdampf)
 $99,2 : 0,8 = 13,613 : x; x = 0,110.$

Auf 1 Kilogramm der verbrannten Kohle entfallen somit Kilogramm Wasser:

0,4118 aus der Kohle	}	Summa = 0,5218 Kilogramm Wasser.
0,1100 aus der Luft		

Zusammenstellung

www.libtool.com.cn

Elementar- zusammensetzung der Kohle	Volumprozentische Zusammen- setzung des trockenen Eßengases		Temperatur des Eßengases	Temperatur und Feuchtig- keitsgehalt der zur Feuerung strömenden Luft	
	Grenzwerte aus 6 Durch- schnitts- Analysen	Mittel während der ganzen Versuchsdauer			
Kohlenstoff 69,77	Kohlen- säure	Min. 8,4	Min. 180	Temperatur Min. 20,2 Max. 28,5	
Wasserstoff 2,72		Kohlen- ogid. 0,0	Max. 230		
Stickstoff 0,46		Min. 13,8	Max. 230		
Wasser chem. gebd. 13,45	atm. Luft	Min. 29,5 Max. 57,1	Im Mittel aus 48 Ab- lesungen während der ganzen Ver- suchsdauer 2000	Mittel aus 12 Ablesungen während der ganzen Versuchs- dauer 25,0°	
Wasser hygroskop. 3,25					Stickstoff 49,2
Asche 10,35					16,70
Absoluter Wärmeeffekt (Kalorimetrisch ermittelt) = 6600 Kalorien	Die Verbrennung erfolgte mit einem Luftüberschuß:			Feuchtig- keitsgehalt der atmosphär. Luft in Gewichts- prozenten 0,8	
Theoretischer Verdampfungswert $\frac{6600}{637} = 10,4$	im Minimum . . . 1 : 1,32 „ Maximum . . . 1 : 2,16 „ Mittel . . . 1 : 1,49				
Theoretisch erforderliches Luftquantum zur voll- ständigen Verbrennung von 1 Kilogramm Kohle = 9,17 Kilogramm.					

der Versuchsergebnisse.

www.tuttoo.com.cn

Verdampfungs- Versuch	Temperatur des Speisewassers	Mittlere Spannung und Temperatur des Dampfes	Mit dem Dampfe über- gerissenes Wasser in Gewichts- prozenten	Gewicht und Zusammensetzung der Rückstände
<p>In den 12 Beobachtungsstunden wurden 1812 Kilogramm Kohle verbrannt und damit 16752 Liter¹⁾ entsprechend 16,484 Kilogramm Wasser verdampft, oder 1 Kilogramm Kohle $\frac{16,484}{1812} = 9,097$ Kilogramm Wasser</p> <p>Bebrauchte Kohle per Stunde und Quadratmeter Heizfläche 75,5 Kilogramm</p> <p>Verdampftes Wasser für Stunde und Quadratmeter Heizfläche 16,2 Kilogramm</p>	<p>Min. 54,4 Max. 62,1</p> <p>Mittel aus zwölf Ableisungen während der ganzen Versuchsdauer 58,0°</p>	<p>Atmosphären- Ueberdruck²⁾ 4,6 entsprechend 155°</p>	<p>Min. 0,9 Max. 1,6</p> <p>Mittel aus drei Destillationsproben 1,3</p>	<p>In den zwölf Beobachtungsstunden wurden 204,76 Kilogramm Rückstände gesammelt, das giebt für 1 Kilogr. der verbrannten Kohle 0,113 Kilogramm, welche nach der Analyse aus 0,0137 Kilogr. Kohlenstoff und 0,0993 Kilogramm Asche bestehen.</p>

¹⁾ 1 Liter Wasser von 58° Celsius = 0,984 Kilogramm.

²⁾ Kilogramm auf das Quadratcentimeter.

c) Berechnung der Wärmekapazität des Gases:
www.libtool.com.cn

	Kilogramm	× spezifische Wärme	= Wärmekapazität
Kohlensäure	2,509	× 0,2160	= 0,542
Atmosphärische Luft	5,210	× 0,2375	= 1,239
Stickstoff	6,463	× 0,2438	= 1,576
Wasserdampf	0,522	× 0,4805	= 0,251
			3,608

d) Berechnung der Wärmekapazität der zugeströmten Luft:

	Kilogramm	× sp. Wärme	= Wärmekap.
Atmosphärische Luft	13,613	× 0,2375	= 3,233
Wasserdampf	0,110	× 0,4805	= 0,053
			Summe . 3,286

e) Berechnung des Wärmeverlustes durch das Gas in Kalorien:

	Wärmekap.	× Temp. in ° Celsius	= Kalorien
Im Gas	3,608	× 200	= 721,6
Durch die atm. Luft zugeführt	3,286	× 25	= 82,2
			Dennoch Verlust 639,4

2) Berechnung des Wärmeverlustes durch den Kohlenabgang in den Aschenfall.

Der Verbrennungsrückstand für 1 Kilogramm Kohle besteht aus:

0,0137	Kilogramm Kohlenstoff	
0,0993	" Asche.	
Kilogramm Kohlenstoff	× kal. Werth	= Kalorien
0,0137	× 8080	= 110,7.

3) Berechnung des Wärmeverlustes durch das mit dem Dampfe übergeriffene tropfbar flüssige Wasser.

Per 1 Kilogramm Kohle wurden:

8,9787	Kilogramm Wasser wirklich verdampft, und
(1,3 Prozent) d. h. 0,1183	" " in tropfb. flüss. Zustande
Summa . 9,0970	übergeriffen.

Kilogramm Wasser	×	(Temp. des Wassers im Kessel)	—	(Speisewasser-Temp.)	= Kalorien
0,1183	×	(155	—	58)	= 11,5.

4) Berechnung des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung der Anlage.

Die Gesamtwärme (W_1), welche zur Dampfbildung beansprucht wurde, ergibt sich aus der Regnault'schen Formel¹⁾

$$1) C = 606,5 + 0,305 T - (t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3 + \dots)$$

$$8,9787 \times [606,5 + 0,305 \times 155 - 58] - 5349,5 \text{ Kalorien.}$$

Alle Verluste zusammen betragen daher

$$\begin{array}{r} \text{(kal. Effekt der Kohle - nutzbar gemachte Wärme = Verlust)} \\ 6600 \quad - \quad 5349,5 \quad = \quad 1250,5 \text{ Kalorien.} \end{array}$$

Daraus ergibt sich der Verlust durch Leitung und Strahlung mit Einzelverluste

$$1250,5 - (639,4 + 110,7 + 11,5) = 488,9 \text{ Kalorien.}$$

Schlüsse.

Von 100 Kilogramm der verbrannten Kohle werden demnach:

$$\begin{array}{r} 5349,5 \times 100 \\ \hline 6600 \end{array} = 81,05 \text{ Kilogramm nutzbar gemacht, und} \\ 18,95 \quad \quad \quad \text{gehen verloren.}$$

Dieser Verlust vertheilt sich wie folgt:

1) durch das Entweichen der heißen Gase

$$\frac{639,4 \times 100}{6600} = 9,69 \text{ Proz.}$$

2) Durch unvollständige Verbrennung, und zwar:

a) Entweichen von brennbaren Gasen und Flugruß 0,00 "

b) Kohlenabgang in den Aschenfall $\frac{110,7 \times 100}{6600} = 1,68 \text{ "}$

3) Durch übergerissenes Wasser . . . $\frac{11,5 \times 100}{6600} = 0,17 \text{ "}$

4) Durch Leitung und Strahlung der Anlage $\frac{488,9 \times 100}{6600} = 7,41 \text{ "}$

$$\text{Summa} \quad . \quad 18,95 \text{ Proz.}$$

II. Beispiel.

Die Anlage besteht aus Siederohrkesseln. Zur Zeit der Versuchsanstellung war nur einer derselben im Betriebe. Der Versuchskessel besitzt eine Gesamtrostfläche von 2,5 Quadratmeter und eine Heizfläche von 90 Quadratmeter. Zur Feuerung wurde Braunkohle verwendet.

Im Uebrigen wurde so vorgegangen, wie bei dem Versuch Nr. 1.

(Tabelle Seite 140 und 141.)

Zu 1. Die den Verbrennungsgasen innenwohnende Wärme kann in keinem Falle vollständig ausgenützt werden; diese Gase müssen mit einer Temperatur abziehen, welche bedeutend höher ist, als jene der zuströmenden Luft, weil dadurch die Wirkung des Schornsteins bedingt wird. Bei Dampfkesselanlagen bester Konstruktion verlassen die Gase den Kessel mit einer Temperatur von 180 bis 200° C.; bei Anlagen schlechter Art erreicht die Endtemperatur der Gase nicht selten eine Höhe von 300 bis 500° C.

Zu 2. Zum lebhaften Fortbrennen des Feuers ist ein gewisser Luftüberschuß nothwendig, welcher je nach Art der Feuerungsanlage und Beschaffenheit des Brennmaterials verschieden groß sein muß. Bei Gasfeuerungen und sogenannten Halbgasfeuerungen reicht schon die 1,5 bis 1,7fache Luftmenge von der theoretisch berechneten zur vollständigen Verbrennung aus. Bei den gewöhnlichen Kofffeuerungen, wo die Mischung der aus dem Brennmaterial entwickelten Gase mit der atmosphärischen Luft keine so innige ist, muß die 2 bis 2,5fache Luftmenge zuströmen. Bei unzuweckmäßig konstruirten oder schlecht bedienten Feuerungsanlagen findet man aber nicht selten die 3 bis 4,5fache Luftmenge von der theoretisch berechneten.

Da die Luft mit einer Temperatur von 20 bis 30° C. in den Feuerraum einströmt und bei Dampfkesselanlagen mittlerer Güte mit etwa 250 bis 300° C. in den Schornstein abzieht, so ist der dadurch bedingte Wärmeverlust ein sehr bedeutender. Bei der dreifachen Luftmenge (= zweifachem Luftüberschuß) und bei Verwendung von Steinkohlen entspricht dieser Verlust beiläufig 1000 bis 1400 Kalorien oder 15 bis 20 Prozent der verbrannten Kohle. Unter ungünstigeren Bedingungen steigt dieser Verlust wesentlich höher.

Zu 3. Die brennbaren Gase, welche bei unvollkommener Verbrennung des Torfes und der Mineralkohlen entweichen, bestehen vorzugsweise aus Kohlenoxyd, und nur zum geringen Theil aus Kohlenwasserstoffen und freiem Wasserstoff.

Da aber diese letztgenannten Gase einen sehr hohen kalorischen Effect geben, so bedingt ein Auftreten von nur wenigen Zehntelprozenten im Essengas schon einen beträchtlichen Verlust. Gewöhnlich ist die unvollkommene Verbrennung die Folge von ungenügender Luftzufuhr. Es kann aber auch vorkommen, daß trotz eines bedeutenden Luftüberschusses brennbare Gase im Essengas zu finden sind.

Die Ursache liegt dann nicht allein in der mangelhaften Konstruktion der Anlage, sondern hauptsächlich in der nachlässigen Wartung des Feuers, namentlich in der ungleichförmigen Beschickung des Koffes.

Bei jeder unvollkommenen Verbrennung geht ferner auch noch Kohlenstoff als solcher verloren, und zwar sowohl in Form von Flugruß, welcher sich

in den Feuerzügen festsetzt, und theils mit den Rauchgasen beim Schornstein hinaus getrieben wird, als auch in Form kleiner, größtentheils verkohlter Kohlenstücke, welche durch die Rostspalten in den Aschenraum fallen oder von den Schlacken eingeschlossen und dadurch an der Verbrennung verhindert werden.

Der Wärmeverlust durch Rußbildung wird gewöhnlich weit überschätzt. Wenn schwarzer Rauch aus dem Schornstein entweicht, so ist das zwar ein sicheres Zeichen der unvollkommenen Verbrennung — die Größe des Verlustes läßt sich aber durchaus nicht einmal annähernd beurtheilen, da der Hauptverlust niemals in dem Kohlenstoff liegt, der als Ruß oder Rauch abgeht, sondern zumeist in den brennbaren Gasen, welche mit dem Rauch entweichen.

Die Größe der zweitgenannten Verlustquelle „das Unverbranntbleiben von Kohlen- oder Kohlstückchen“, ist vorzugsweise von der Art der Kohle, und erst in zweiter Linie von der Beschaffenheit des Rostes abhängig. Unter günstigen Verhältnissen beträgt dieser Verlust nur wenige Prozente, während er im anderen Falle — wenn Kohlen in Verwendung kommen, welche im Feuer zerbröckeln oder deren Asche schmelzbar ist und Schlacken bildet — eine ganz beträchtliche Höhe erreichen kann.

Zu 4. Der Verlust, daß die Asche und Schlacken im glühenden Zustande in den Aschenfall gelangen, und auch Kohlenstücke dort noch weiter fortglimmen, kommt weniger in Betracht, weil die im Aschenraum vorhandene Wärme wenigstens theilweise zur Erwärmung der in den Feuerraum einströmenden Luft verwendet wird.

Zu 5. Der Verlust durch die Wärmeaufnahme der Wände und aller übrigen Theile der Anlage kommt nur bei periodischem Betriebe (z. B. bei Dampfesseln, welche nur tagesüber oder nicht einmal jeden Tag geheizt werden) in Betracht. Bei stetigem Betriebe (wie z. B. in Zuckerfabriken oder größeren Spiritusbrennereien) ist dieser Verlust kaum nennenswerth.

Viel bedeutender ist der durch Leitung und Strahlung bedingte Verlust. Die Größe desselben hängt lediglich von der Konstruktion der Anlage ab, und kann durch entsprechende Isolirung (doppeltes Mauerwerk mit dazwischen befindlicher stochender Luftschicht oder Ausfüllung des Zwischenraumes mit Asche, Schlacken oder sonstigen schlechten Wärmeleitern) auf ein Minimum reduziert werden.

Versuchsanstellung. In der Regel ist man genöthigt, den Versuch während des gewöhnlichen Betriebes vorzunehmen, wobei folgende Umstände zu berücksichtigen sind.

Beim Beginn des Versuches muß der Dampfessel bis zur normalen Höhe mit Wasser gefüllt sein und jene Dampfspannung herrschen, bei welcher der Versuch durchgeführt werden soll. Der Aschenfall muß vollständig ausgeräumt und das am Roste befindliche Brennmaterial bereits so weit abgebrannt sein, daß zur Erhaltung der Dampfspannung ein neuerliches Aufwerfen nothwendig ist.

Von nun ab wird das der Feuerung zugeführte Brennmaterial gemogen, das Volumen und die Temperatur des Speisewassers gemessen.

Die Menge des Speisewassers wird am besten mit Hilfe eines Wassermessapparates ermittelt, dessen Fehlerkonstante bekannt ist. Da jedoch solche Meßapparate in den wenigsten Fabriken zu finden sind und die etwa vorhandenen wegen mangelhafter Konstruktion ihren Zweck sehr häufig nicht erfüllen, so begnügt man sich mit der Bestimmung des Wasservolumens im Speisebehälter, oder man berechnet das Volumen des verbrauchten Wassers aus dem Hubvolumen und der Umdrehungszahl der Speisepumpe. Letzteres ist jedoch nur dann zulässig, wenn die Temperatur des Speisewassers unverändert ist, die Dimensionen der Pumpe genau bekannt sind, und man sich von der richtigen Arbeit derselben überzeugt hat.

Am Schlusse des Versuches muß der Wasserstand im Kessel derselbe sein, wie beim Beginn und ebenso die Kohlenschüttung auf dem Roste. Der Aschenfall wird wieder ausgeräumt und das Gewicht der Rückstände ermittelt. Von der angewandten Kohle, sowie von den Rückständen ist eine möglichst gute Durchschnittsprobe für die chemische Untersuchung zu entnehmen. Von der Kohle ist die Elementaranalyse auszuführen und der absolute Wärmeeffekt auf kalorimetrischem Wege zu bestimmen, während in den Rückständen nur der verbrennliche Antheil zu ermitteln ist, welcher der Einfachheit wegen als Kohlenstoff in Rechnung genommen wird.

Während der ganzen Versuchsdauer muß ferner in gewissen Zwischenräumen die Temperatur und Zusammensetzung der abziehenden Verbrennungsgase, sowie die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der zur Feuerung strömenden atmosphärischen Luft bestimmt werden. Wünschenswerth ist es auch, die Menge des Flugrußes kennen zu lernen. Endlich ist behufs Ermittlung des mit dem Dampfe übergerissenen Wassers eine Destillationsprobe vorzunehmen.

Zur Erläuterung der Berechnung der Resultate und Schlussfolgerungen, welche daraus gezogen werden können, sind hier drei Beispiele gewählt, von denen das erste den Typus einer gut konstruirten und rationell betriebenen Dampfesselanlage darstellt, das zweite einer mangelhaft eingerichteten und nachlässig gewarteten Anlage entspricht; das dritte endlich ein Bild von dem angestregten Betriebe einer Kesselbatterie mit Economiser giebt.

I. Beispiel.

www.libtool.com.cn
 Vorbemerkungen. Die Anlage besteht aus einem Tenbrink- und einem Flammrohrkessel. Am Versuchstage war nur ersterer im Betrieb. Der Rauchkanal des letzteren war durch die Essenklappe abgeschlossen.

Der Tenbrinkkessel besitzt zwei Feuerherde, drei Ober- und sechs Unterkessel. Die Gesamtrostfläche beträgt 2 Quadratmeter und die Gesamtheizfläche 85 Quadratmeter. Das Verhältniß dieser beiden ist daher 1 : 42,5.

Die Querschnittsöffnung bei der Rauchklappe betrug 0,18 Quadratmeter.

Der Heizversuch dauerte bei ununterbrochenem Fabriksbetriebe von 7 Uhr Früh bis 7 Uhr Abends. In diesen 12 Beobachtungsstunden wurden 1812 kg. Kohle verbrannt und damit 16752 Liter Wasser verdampft.

Zur Heizung wurde Ostrauer Kleinkohle verwendet. Die zugeführte Kohle wurde in tarirten Kübeln gewogen und aus jedem derselben eine kleine Menge Kohle für die Untersuchung entnommen. Das Gewicht der gefüllten Kübel wurde jedesmal auf 50 kg. netto eingestellt. Die Zählung und Aufschreibung der Kübel erfolgte doppelt, das erstemal bei der Wage und das zweitemal bei dem Kessel. Zur Beschickung des Rostes sind Kippgefäße angebracht, welche sich in Zapfenlagern drehen und in der Ruhelage die zu den Rosten führenden Füllöffnungen abschließen.

Da ein Abräumen des Rostes nicht thunlich war, so wurde 10 Minuten vor Beginn des Versuches zum letztenmale ungewogene Kohle aufgeworfen. Um 7 Uhr erfolgte die erste Schüttung mit gewogener Kohle. Von nun an wurde in regelmäßigen Perioden von 10 zu 10 Minuten Kohle aufgegeben. Die letzte Schüttung erfolgte 10 Minuten vor Schluß des Versuches. Der Aschenfall war bei Beginn des Versuches vollständig geräumt. Am Schlusse wurde der Verbrennungsrückstand gesammelt, gewogen, und davon für die Analyse eine Durchschnittsprobe entnommen.

Zur Kesselspeisung diente Brunnenwasser, welches mit Nektalk und Soda behandelt war, und in einem Röhrenvorbärmer mit Abdampf aus der Betriebsmaschine auf 58° C. angewärmt wurde. Die Messung des Wassers geschah im Speisewasserbehälter, und zur Kontrolle wurde auch die Umdrehungszahl der Speisepumpe ermittelt. Der Wasserstand war am Schluß des Versuches derselbe wie bei Beginn. Die Dampfspannung wechselte zwischen 4 und 5 Atmosphären Ueberdruck. Zur Trocknung des abströmenden Dampfes ist ein Dampfammler vorhanden.

Der Kessel war seit der letzten Reinigung und Revision 15 Tage im Betrieb. An dem Versuchstage wurde derselbe um 6 Uhr Früh angeheizt, und um 6 Uhr 50 Minuten war bereits die normale Dampfspannung erreicht. Während des Versuches wurden 6 Rauchgasproben zur Analyse ent-

nommen. Eine jede Probe wurde durch einstündiges Abfangen gewonnen. Das Gasanfangsrohr war im Rauchkanal 2 Meter vom Kessel eingesetzt und gedichtet. Die Essenklappe befand sich noch weitere 2 Meter (gegen den Kamin zu) entfernt.

Die Temperatur der Rauchgase wurde mit einem Wasserstoff-Quecksilberthermometer gemessen, welches neben dem Saugrohr im Rauchkanal eingesetzt und gedichtet war. Vor dem Festsetzen des Thermometers wurde jene Stelle am Querschnitt des Rauchkanals aufgesucht, wo die höchste Temperatur (folglich auch die stärkste Gasströmung) herrschte. Die Mündung des Saugrohres befand sich auf gleicher Höhe mit dem Quecksilbergeläß des Thermometers. Die Temperatur der Rauchgase wurde von 15 zu 15 Minuten abgelesen.

Da die Verbrennung nahezu rauchlos vor sich ging, und nur unmittelbar nach jeder Kohlenhäufung eine sehr schwache etwa zwei Minuten andauernde Rauchwolke am Schornstein bemerkbar war, so wurde von der Bestimmung des Flugrusses Abstand genommen. Zur Ermittlung des mit dem Dampfe übergerissenen Wassers wurden drei Destillationsproben ausgeführt. Bei jeder Probe, welche 50 bis 60 Minuten dauerte, wurden 10 bis 15 Liter Destillat aufgesammelt, gemischt, und davon 800 bis 1000 Kubikzentimeter zur Bestimmung des Trockenrückstandes, und für den gleichen Zweck ungefähr ebenso viel Wasser aus dem Kessel entnommen.

(Die Ergebnisse der Bestimmungen enthält die Tafel S. 134 und 135.)

1) Berechnung des Wärmeverlustes durch das abziehende Essengas.

- a) Umrechnung der durch die Gasanalyse gefundenen Volumina der einzelnen Gase auf Gewichtstheile:

	Litergewicht in Grammen	×	Volumen- theile	=	Gewichts- theile
Kohlensäure . . .	1,9666	×	12,2	=	23,992
Atmosphärische Luft	1,2936	×	38,6	=	49,933
Stickstoff . . .	1,2566	×	49,2	=	61,825

- b) Berechnung des Gewichtes der einzelnen Gasgemengtheile auf 1 Kilogramm der verbrannten Kohle.

In 1 Kilogramm Kohle sind 0,6977 Kilogramm Kohlenstoff enthalten; davon gehen in den Aschenfall 0,0137 Kilogramm, und sind somit verbrannt 0,684 Kilogramm.

3 Kilogramm Kohlenstoff geben bei vollständiger Verbrennung 11 Kilogramm Kohlenensäure, daher

$$\frac{0,684 \times 11}{3} = 2,508 \text{ Kilogramm Kohlenensäure}$$

Der Versuchsergebnisse.

www.libtool.com.cn

Verdampfungs- Versuch	Temperatur des Speisewassers	Mittlere Spannung und Temperatur des Dampfes	Mit dem Dampfe über- gerissenes Wasser in Gewichts- prozenten	Gewicht und Zusammensetzung der Rückstände
<p>In den 12 Beobachtungs- stunden wurden 2400 Kilogramm Kohle verbrannt und damit 8457 Liter¹⁾, entsprechend 8376 Kilogramm, Wasser verdampft</p> <p>Bebrauchte Kohle für Stunde und Quadratmeter Kochfläche 80 Kilogramm</p> <p>Verdampftes Wasser für Stunde und Quadratmeter Heizfläche 7,76 Kilogramm</p>	<p>Min. 28 Max. 62</p> <p>Mittel aus 24 Ableseungen während der ganzen Versuchs- dauer 45°</p>	<p>Atmosphären- Ueberdruck²⁾ 3,0 entsprechend 143°</p>	<p>Min. 2,5 Max. 4,1</p> <p>Mittel aus drei Destillations- proben 3,2</p>	<p>In den zwölf Beobachtungs- stunden wurden 134,4 Kilogramm Rückstände gesammelt, das giebt auf 1 Kilogr. der verbrannten Kohle 0,056 Kilogramm, welche nach der Analyse aus 0,015 Kilogr. Kohlenstoff und 0,041 Kilogramm Asche bestehen.</p>

¹⁾ 1 Liter Wasser von 45° = 0,9904 Kilogramm.

²⁾ Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter.

Zusammenstellung

Elementar- zusammensetzung der Kohle	Volumprozentische Zusammen- setzung des trockenen Gfengases		Temperatur des Gfengases	Temperatur und Feuchtig- keitsgehalt der zur Feuerung strömenden Luft		
	Grenzwerte aus 6 Durch- schnitts- Analysen	Mittel während der ganzen Versuchsdauer				
Rohlenstoff 69,77	Kohlen- säure	Min. 8,4	Rohlen- oxid . . . 0,0	Min. 180	Temperatur	
Wasserstoff 2,72		Mag. 13,8	Kohlen- säure . . . 12,2	Mag. 230	Min. 20,2	
Stickstoff 0,46			atm. Luft 88,6		Mag. 28,5	
Wasser chem. gebd. } 13,45	atm. Luft	Min. 29,5	Stickstoff 49,2	Im Mittel aus 48 Ab- lesungen während der ganzen Ver- suchsdauer 2000	Mittel aus 12 Ablesungen während der ganzen Versuchs- dauer 25,0°	
Wasser hygroskop. } 3,25						Mag. 57,1
Näße 10,35						
Absoluter Wärmeeffekt (Kalorimetrisch ermittelt) = 6600 Kalorien	Die Verbrennung erfolgte mit einem Luftüberschuß:				Feuchtig- keitsgehalt der atmosphär. Luft in Gewichts- prozenten 0,8	
Theoretischer Verdampfungswert $\frac{6600}{637} = 10,4$	im Minimum . . . 1 : 1,32					
	„ Maximum . . . 1 : 2,16					
	„ Mittel . . . 1 : 1,49					
Theoretisch erforderliches Luftquantum zur voll- ständigen Verbrennung von 1 Kilogramm Kohle = 9,17 Kilogramm.						

Der Versuchsergebnisse.

www.libtool.com.cn

Verdampfungs- Versuch	Temperatur des Speisewassers	Mittlere Spannung und Temperatur des Dampfes	Mit dem Dampfe über- geriffenes Wasser in Gewichts- prozenten	Gewicht und Zusammensetzung der Rückstände
<p>In den 12 Beobachtungs- stunden wurden 1812 Kilogramm Kohle verbrannt und damit 16752 Liter ¹⁾ entsprechend 16,484 Kilogramm Wasser verdampft, oder 1 Kilo- gramm Kohle $\frac{16,484}{1812} = 9,097$ Kilogramm Wasser</p> <p>Verbrauchte Kohle per Stunde und Quadratmeter Kochfläche 75,5 Kilogramm</p> <p>Verdampftes Wasser für Stunde und Quadratmeter Kochfläche 16,2 Kilogramm</p>	<p>Min. 54,4 Max. 62,1</p> <p>Mittel aus zwölf Ablefungen während der ganzen Versuchs- dauer 58,0°</p>	<p>Atmosphären- Ueberdruck²⁾ 4,6 entsprechend 155°</p>	<p>Min. 0,9 Max. 1,6</p> <p>Mittel aus drei Destillations- proben 1,3</p>	<p>In den zwölf Beobachtungs- stunden wurden 204,76 Kilogramm Rückstände gesammelt, das giebt für 1 Kilogr. der verbrannten Kohle 0,113 Kilogramm, welche nach der Analyse aus 0,0137 Kilogr. Kohlenstoff und 0,0993 Kilogramm Asche bestehen.</p>
<p>¹⁾ 1 Liter Wasser von 58° Celsius = 0,984 Kilogramm. ²⁾ Kilogramm auf das Quadratcentimeter.</p>				

c) Berechnung der Wärmefapazität des Gases:

www.libtool.com.cn

	Kilogramm	× spezifische Wärme	= Wärmefapazität
Kohlensäure	2,509	× 0,2160	0,542
Atmosphärische Luft	5,210	× 0,2375	1,239
Z Stickstoff	6,463	× 0,2438	1,576
Wasserdampf	0,522	× 0,4805	0,251
			3,608

d) Berechnung der Wärmefapazität der zugestromten Luft:

	Kilogramm	× sp. Wärme	= Wärmefap.
Atmosphärische Luft	13,613	× 0,2375	3,233
Wasserdampf	0,110	× 0,4805	0,053
			Summe . 3,286

e) Berechnung des Wärmeverlustes durch das Gas in Kalorien:

	Wärmefap. × Temp. in ° Celsius	= Kalorien
Im Gas	3,608 × 200	= 721,6
Durch die atm. Luft zugeführt	3,286 × 25	= 82,2
		Demnach Verlust 639,4

2) Berechnung des Wärmeverlustes durch den Kohlenabgang in den Aschenfall.

Der Verbrennungsrückstand für 1 Kilogramm Kohle besteht aus:

0,0137	Kilogramm	Kohlenstoff
0,0993	"	Asche.
Kilogramm Kohlenstoff	× kal. Werth	= Kalorien
0,0137	× 8080	= 110,7.

3) Berechnung des Wärmeverlustes durch das mit dem Dampfe übergeriffene tropfbar flüssige Wasser.

Per 1 Kilogramm Kohle wurden:

8,9787	Kilogramm	Wasser	wirklich	verdampft,	und
(1,3 Prozent) d. h. 0,1183	"	"	"	im tropfb. flüss. Zustande	übergeriffen.
Summa . 9,0970					

$$\text{Kilogramm Wasser} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Temp. des Wassers} \\ \text{im Kessel} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Speisewasser-} \\ \text{Temp.} \end{array} \right\} = \text{Kalorien}$$

$$0,1183 \times (155 - 58) = 11,5.$$

4) Berechnung des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung der Anlage.

Die Gesamtwärme (W_1), welche zur Dampfbildung beansprucht wurde, ergibt sich aus der Regnault'schen Formel¹⁾

$$1) C = 606,5 + 0,305 T - (t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3 + \dots)$$

$$W_1 = 606,5 + 0,305 \text{ t mit} \\ 8,9787 \times [606,5 + 0,305 \times 155 - 58] = 5349,5 \text{ Kalorien.}$$

Alle Verluste zusammen betragen daher

(kal. Effekt der Kohle — nutzbar gemachte Wärme = Verlust)			
6600	—	5349,5	1250,5 Kalorien.

Daraus ergibt sich der Verlust durch Leitung und Strahlung mit Einzelverluste

$$1250,5 - \overline{(639,4 + 110,7 + 11,5)} = 488,9 \text{ Kalorien.}$$

Schlüsse.

Von 100 Kilogramm der verbrannten Kohle werden demnach:

$5349,5 \times 100$	81,05 Kilogramm nutzbar gemacht, und
$\underline{6600}$	18,95 " gehen verloren.

Dieser Verlust vertheilt sich wie folgt:

1) durch das Entweichen der heißen Essengase

$$\frac{639,4 \times 100}{6600} = 9,69 \text{ Proz.}$$

2) Durch unvollständige Verbrennung, und zwar:

a) Entweichen von brennbaren Gasen und Flugruß 0,00 "

b) Kohlenabgang in den Aschenfall $\frac{110,7 \times 100}{6600} = 1,68$ "

3) Durch übergerissenes Wasser . . . $\frac{11,5 \times 100}{6600} = 0,17$ "

4) Durch Leitung und Strahlung der Anlage $\frac{488,9 \times 100}{6600} = 7,41$ "

$$\text{Summa} = 18,95 \text{ Proz.}$$

II. Beispiel.

Die Anlage besteht aus Siederrohrkesseln. Zur Zeit der Versuchsanstellung war nur einer derselben im Betriebe. Der Versuchskessel besitzt eine Gesamtrostfläche von 2,5 Quadratmeter und eine Heizfläche von 90 Quadratmeter. Zur Feuerung wurde Braunkohle verwendet.

Im Uebrigen wurde so vorgegangen, wie bei dem Versuch Nr. 1.

(Tabelle Seite 140 und 141.)

1) Berechnung des Wärmeverlustes durch das abziehende
www.libtool.com.cn Gfengas.

	Stergewicht in Grammen	× Vol.-Thle. = Gew.-Thle.	darin Kohlenstoff
Wasserstoff . .	0,0896	× 0,1 = 0,009	
Kohlenwasserstoff	0,7156	× 0,3 = 0,215 . . .	0,161
Kohlenoxid . .	1,2515	× 3,5 = 4,380 . . .	1,877
Kohlensäure . .	1,9666	× 7,2 = 14,160 . . .	3,862
atm. Luft . .	1,2936	× 48,6 = 62,860	
Stickstoff . .	1,2566	× 40,3 = 50,641	

In 1 Kilogramm Kohle sind 0,5269 Kilogramm Kohlenstoff enthalten,
 davon gehen in Flugruß über 0,012 Kilogramm
 verbleiben in den Rückständen 0,015 „
 und befinden sich somit im gasförmigen Zustande . . . 0,500 „
 $\frac{0,5}{5,9} = 0,084746$ (Factor zur Berechnung der einzelnen Gasgemengtheile
 auf 1 Kilogramm der verbrannten Kohle).

	Kilogramm Gas auf 1 Kilogramm Kohle	× sp. Wärme = Wärmelap.
Wasserstoff . .	0,009 × 0,084746 = . .	0,001 × 3,490 = 0,003
Kohlenwasserstoff	0,215 × 0,084746 . . .	0,018 × 0,593 = 0,011
Kohlenoxid . .	4,380 × 0,084746 = . .	0,371 × 0,246 = 0,091
Kohlensäure . .	14,160 × 0,084746 = . .	1,200 × 0,216 = 0,259
Luft	62,860 × 0,984746 = . .	5,328 × 0,238 = 1,268
Stickstoff . .	50,641 × 0,084746 = . .	4,291 × 0,244 = 1,047
Wasser		0,631 × 0,481 = 0,304
	Summa . 11,840	2,983
		Wärmelap. × Temp. = Calorien
		2,983 × 310 = 924,7
Durch die Luft ¹⁾)	10,766 × 0,238 = 2,563	) × 25 = 65,7
zugeführt	0,132 × 0,481 = 0,063	
Demnach Wärmeverlust durch das Gfengas		859,0

1) Luftüberschuß 5,328
 Luftverbrauch
 (4,291 Kilogr. Stickstoff
 entspr. Luft) = 5,578
 Summa . 10,901 Kilogr. Luft, davon

}	10,769 trockene Luft
	0,131 Wasser- dampf

2) Berechnung des Wärmeverlustes durch die unvollkommene Verbrennung.

a) Verlust durch das Entweichen von brennbaren Gasen.

	Kilogramm	×	{ kal. Werth der Gw.-Einh.}	}	=	Kalorien
Wasserstoff . . .	0,001	×	29,633	=		29,6
Kohlenwasserstoff	0,018	×	13,063	=		235,1
Kohlenoxid	0,371	×	2,403	=		891,5

Verlust in Summa . 1156,2

b) Verlust durch das Entweichen von Kohlenstoff als Flugruß.

	Kilogramm	×	{ kal. Werth der Gw.-Einh.}	}	=	Kalorien
	0,014	×	8080	=		97,0

c) Verlust durch den Kohlenstoff-Abgang in den Aschenfall.

	Kilogramm	×	{ kal. Werth der Gw.-Einh.}	}	=	Kalorien
	0,015	×	8080	=		121,2

verfügbarer Wasserstoff in der Kohle 0,0154

freier Wasserstoff im Gas 0,0010

Wasserstoff im Kohlenwasserstoff 0,0045

Summa 0,0055

Es bleiben somit für die Verbrennung 0,0099 Kilogr. Wasser-

stoff und diese geben 0,0891 Kilogr. Wasser

chem. gebd. und hygroskop. Wasser in der

Kohle 0,4100

Wasser aus der Luft 0,1320

Summa . 0,6311 Kilogr. Wasser im Gfengas.

www.fibtool.com.cn

Elementar- zusammensetzung der Kohle	Volumprozentische Zusammen- setzung des trockenen Gfengases		Temperatur des Gfengases	Temperatur und Feuchtig- keitsgehalt der zur Feuerung strömenden Luft
	Grenzwerte aus 12 Durch- schnitts- Analisen	Mittel während der ganzen Versuchsdauer		
Rohlenstoff 52,69	Rohlenogid	Wasserstoff 0,1	Min. 253	Temperatur- Mittel 25°
Wasserstoff 1,54	Min. Max	Rohlenwasser- stoff . . 0,3	Max. 400	
Stickstoff 0,25	0,0 5,3	Rohlenwasser- stoff . . 0,0	Mittel aus	Feuchtig- keitsgehalt in Gewichts- prozenten 1,2
Wasser chem. gebb. } 17,13	Rohlen säure	Rohlenogid 3,5	36 Ab-	
Wasser hygroskop. } 23,87	4,0 13,5	Rohlen säure 7,2	lesungen während der ganzen Versuchsdauer	
A sche 4,52	atm. Luft	atm. Luft 48,6	310°	
<p>Absoluter Wärmeeffekt (Kalorimetr. bestimmt) = 4450 Kalorien</p> <p>Theoretischer Verdampfungswert $\frac{4450}{637} = 6,99$</p>	<p>Rohlenstoff als Flugruß auf 1 Kilogramm der ver- brannten Kohle 0,012 Kilogramm</p>			
<p>Theoretisch erforderliches Luftquantum zur vollständigen Verbrennung von 1 Kilogramm Kohle = 6,74 Kilogramm</p>	<p>Die Verbrennung erfolgte im Mittel mit einem Luftüberschuß von 1 : 1,62</p>			

der Versuchsergebnisse.

www.libtool.com.cn

Verdampfungs- Versuch	Temperatur des Speisewassers	Mittlere Spannung und Temperatur des Dampfes	Mit dem Dampfe über- gerissenes Wasser in Gewichts- prozenten	Gewicht und Zusammensetzung der Rückstände
<p>In den 12 Beobachtungs- stunden wurden 2400 Kilogramm Kohle verbrannt und damit 8457 Liter¹⁾, entsprechend 8376 Kilogramm, Wasser verdampft</p> <p>Verbrauchte Kohle für Stunde und Quadratmeter Rostfläche 80 Kilogramm</p> <p>Verdampftes Wasser für Stunde und Quadratmeter Heizfläche 7,76 Kilogramm</p>	<p>Min. 28 Max. 62</p> <p>Mittel aus 24 Ableseungen während der ganzen Versuchs- dauer 45°</p>	<p>Atmosphären- Ueberdruck²⁾ 3,0</p> <p>entsprechend 143°</p>	<p>Min. 2,5 Max. 4,1</p> <p>Mittel aus drei Destillations- proben 3,2</p>	<p>In den zwölf Beobachtungs- stunden wurden 134,4 Kilogramm Rückstände gesammelt, das giebt auf 1 Kilogr. der verbrannten Kohle 0,056 Kilogramm, welche nach der Analyse aus 0,015 Kilogr. Kohlenstoff und 0,041 Kilogramm Asche bestehen.</p>

¹⁾ 1 Liter Wasser von 45° = 0,9904 Kilogramm.

²⁾ Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter.

3) Berechnung des Wärmeverlustes durch das mit dem
www.libtool.com Dampf übergeriffene Wasser.

Auf 1 Kilogramm Kohle wurden

3,382 Kilogramm Wasser wirklich verdampft, und

0,108 " " im tropfb. fl. Zust. übergeriffen.

Summa . 3,490

$$\text{Kilogr. Wasser} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Temp. des Wassers} \\ \text{im Kessel} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Speisewasser-} \\ \text{Temp.} \end{array} \right\} = \text{Kalorien}$$

$$0,108 \times (143 - 45) = 10,6$$

4) Berechnung des Wärmeverlustes durch Leitung und
 Strahlung der Anlage.

$3,382 \times [606,5 + 0,305 \times 143 - 45] = 2046$ Kalorien
 nutzbar gemachte Wärme.

$$\left. \begin{array}{l} \text{cal. Werth} \\ \text{der Kohle} \end{array} \right\} - \left. \begin{array}{l} \text{nutzb. gem.} \\ \text{Wärme} \end{array} \right\} = \text{Verlust}$$

$$4450 - 2046 = 2404 \text{ Kalorien.}$$

Daraus ergibt sich der Verlust durch Leitung und Strahlung mit
 $2404 - (859,0 + 1156,2 + 97,0 + 121,2 + 10,6) = 160$ Kalorien.

Schlüsse.

Von 100 Kilogramm der verbrannten Kohle werden demnach:

$$\frac{2046 \times 100}{4450} = 45,98 \text{ Kilogramm nutzbar gemacht, und}$$

54,02 " " gehen verloren.

Dieser Verlust vertheilt sich wie folgt:

1. durch das Entweichen der heißen Gase

$$\frac{859 \times 100}{4450} = 19,30 \text{ Proz.}$$

2. durch unvollständige Verbrennung, und zwar:

a) Entweichen von brennbaren Gasen

$$\frac{1156,2 \times 100}{4450} = 25,98 \text{ "}$$

b) Entweichen von Kohlenstoff als Flugruß

$$\frac{97,0 \times 100}{4450} = 2,18 \text{ "}$$

c) Kohlenabgang in den Aschenfall

$$\frac{121,2 \times 100}{4450} = 2,72 \text{ "}$$

Uebertrag 50,18 Proz.

3. durch übergerissenes Wasser

$$\frac{10,6 \times 100}{4450} \quad 0,24 \quad "$$

4. Durch Leitung und Strahlung der Anlage

$$\frac{160,0 \times 100}{4450} \quad 3,60 \quad "$$

Summa . 54,02 Proz.

III. Beispiel.

Die Anlage besteht aus 6 Zweiflamrohrkesseln, welche mit einem Economiser in Verbindung stehen. Zur Zeit der Versuchsanstellung waren nur 4 Kessel im Betrieb. Die Gesamtrostfläche eines jeden Kessels beträgt 2,5 Quadratmeter und die Heizfläche 85 Quadratmeter. Zur Heizung wurde Ostrauer Rußkohle verwendet.

Beim Beginn und am Schluß des Versuches wurden die Koste vollkommen abgeräumt. Das rückständige glühende Kohlenquantum wurde in einem mit einer bekannten Wassermenge gefüllten Eisentübel abgedämpft und zurückgewogen. Die an das Wasser abgegebene Wärme wurde auf Kohle umgerechnet und von dem Gewicht der verwendeten Kohle in Abzug gebracht. Im Uebrigen wurde so verfahren wie bei dem Versuch Nr. 1.

(Tabelle Seite 144 und 145.)

1) Gasmenge auf 1 Kilogramm der verbrannten Kohle.

Wenn 1 Kilogr. Kohle verbrannt, so entweichen Kilogr. ¹⁾	Kessel Nr.			
	I	II	III	IV
Kohlenäure	2,684	2,684	2,684	2,684
Atmosphärische Luft	27,438	19,449	24,050	28,902
Stickstoff	7,359	7,054	7,281	7,494
Wasserdampf	0,751	0,658	0,713	0,770
Summa .	38,232	29,845	34,728	39,850

1) Berechnet nach der auf Seite 133 gegebenen Anleitung.

Zusammenstellung

Elementar- zusammensetzung der Kohle	Mittlere volumprozentische Zusammensetzung der trockenen Effengase zwischen Kessel und Rauchschieber				Temperatur und Feuchtig- keitsgehalt der zur Feuerung strömenden Luft	Ver- dampfungs- Versuch	
	Kessel Nr.	I	II	III			IV
Kohlenstoff 75,56	Kohlenoxid	0,0	0,0	0,0	0,0	Tem- peratur 27°	In den 12 Beob- achtungs- stunden wurden 12000 Kilogr. Kohle verbrannt und damit 80904 Kilogr. Wasser scheinbar verdampft.
Wasserstoff 2,45	Kohlens- säure	4,8	6,2	5,3	4,6		
Stickstoff 0,76	atm. Luft	74,6	68,3	72,2	75,3		
Wasser chem. gebd. 10,39	Stickstoff	20,6	25,5	22,5	20,1			Feuchtig- keits- gehalt in Gewichts- prozenten 1,10
Wasser hygroskop. 1,56							
Asche 9,28							
Absoluter Wärmeeffekt (calorimetr. bestimmt) - 7100 Kalorien	Mittlere Temperatur der Effengase in Grad Celsius						Verbrauchte Kohle für Stunde und Quadratmeter Heizfläche 100 Kilogr.
		253	410	372	340		
Theoretischer Verdampfungswert 7100 637 = 11,15	Die Verbrennung erfolgt mit einem Luftüberschuß 1 zu						Verdampftes Wasser für Stunde und Quadratmeter Heizfläche 19,83 Kilogr.
Theoretisch erforderliche Luftmenge zur vollständigen Verbrennung von 1 Kilogramm Kohle = 9,76 Kilogramm		3,79	2,93	3,43	3,96		

Der Versuchsergebnisse

Temperatur des Speise- wassers	Mittlere Spannung und Temperatur des Dampfes	Mit dem Dampfe über- geriffenes Wasser in Gewichts- prozenten	Volumprozentische Zusammensetzung des trockenen Gfengases			Temperatur und Feuchtig- keitsgehalt der Luft beim Ein- tritt in den Economiser	Gewicht und Zusammen- setzung der Rückstände
				vor	hinter			dem Economiser
Min. 105°	Atmo- sphären- Ueber- druck ¹⁾	Min. 2,1 Max. 4,2	Rohlenoxyd	0,0	0,0	Tem- peratur 30,0°	In den 12 Beob- achtungs- stunden wurden 1356 Kilogr. Rückstände gesammelt; das entspricht auf 1 Kilogramm der ver- brannten Kohle 0,113 Kilogr., welche nach der Analyse aus 0,024 Kilogr. Kohlenstoff und 0,089 Kilogr. Asche bestehen
Max. 139°	4,0	Mittel aus 4 De- stillations- proben 2,8	Rohlen- säure	4,8	4,1	Feuchtig- keits- gehalt in Gewichts- prozenten 1,07	
Mittel aus 12 Ab- lesungen während der ganzen Versuchs- dauer 118°	ents- sprechend 151°		atm. Luft	74,6	78,6		
			Stickstoff	20,6	17,3		
			Temperatur des Gfengases in Grad Celsius				
			vor	hinter			
			dem Economiser				
			340	202			
			Temperatur des Speisewassers beim Eintritt in den Economiser 10°				

¹⁾ Kilogramm auf Quadratcentimeter.

Z Bestimmung der Gewichtsmenge, Zusammenlegung
 der Mittelzahlen der Gase im Mittel von den 4 Kesseln.

a) Gewichtsmenge:

Kessel Nr.	I	38,232		
	II	29,845	142,655	= 35,664 Kilogramm Gas auf 1 Kilogramm Kohle.
	III	34,728	4	
	IV	39,850		
Summa		142,655		

b) Zusammenlegung:

Kohlenäure				2,684
Atm. Luft	|	27,438 × 38,232	=	1049,01
		19,449 × 29,845	=	580,46
		24,050 × 34,728	=	835,21
		28,902 × 39,850	=	1151,74
Summa		3616,42	: 142,655	= 25,350

In gleicher Weise berechnen sich die Mittelzahlen:

für Stickstoff mit	7,314
„ Wasserdampf mit	0,728

c) Temperatur:

Kilogramm Gas × ° Celsius			
38,232 × 353	=	13495,9	52200,2 = 366° als Mittel-Temp.
29,845 × 410	=	12236,5	
34,728 × 372	=	12918,8	
39,850 × 340	=	13549,0	
Summa		52200,2	

3) Berechnung des Wärmeverlustes durch das Essgas.

Kilogramm Gas auf 1 Kilogramm Kohle	× sp. Wärme	= Wärmelap.
Kohlensäure	2,684 × 0,2160	= 0,580
Atmosphärische Luft	25,350 × 0,2375	= 6,021
Stickstoff	7,314 × 0,2438	= 1,783
Wasserdampf	0,728 × 0,4805	= 0,350
Summa	36,076	Summa . 8,734

Zur Feuerung strömende atmosphärische Luft:

Luftüberschuß	: 25,350	Kilogramm × sp. Wärme = Wärmelap.
Luftverbrauch	$\left(\frac{7,314 \times 100}{77} \right) 9,499$	34,849 × 0,2375 = 8,277
Wasserdampf in der Luft (1,1 Gew. %)		0,388 × 0,4805 = 0,176
		Summa 8,453

1) Vergl. Tabelle Seite 143.

2) Die Gewichtsmenge Kohlensäure von 1 Kilogramm der verbrannten Kohle ist selbstverständlich bei allen 4 Kesseln gleich groß.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Im Gfengas} & \text{Wärmelap.} \times \text{ } ^\circ \text{Celsius} & = \text{Kalorien} \\
 & 8,734 \times 366 & = 3196,6 \\
 \text{Durch die atm. Luft zugeführt} & 8,453 \times 27 & = 228,2 \\
 & & \hline
 & & \text{Verlust } 2968,4
 \end{array}$$

4) Berechnung des Wärmeverlustes durch Kohlenabgang in den Aschenfall.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kilogramm Kohlenstoff} \times \text{kal. Werth} & = & \text{Kalorien} \\
 0,024 \times 8080 & = & 193,9
 \end{array}$$

5) Berechnung des Wärmeverlustes durch das mit dem Dampfe übergeriffene tropfbar flüssige Wasser.

Per 1 Kilogramm Kohle wurden

6,558 Kilogramm Wasser wirklich verdampft, und
0,184 " " übergeriffen.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kilogramm Wasser} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Temp. des} \\ \text{Kesselwassers} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Speisewasser-} \\ \text{Temp.} \end{array} \right\} & = & \text{Kalorien} \\
 0,184 \times (151 - 118) & = & 6,1
 \end{array}$$

6) Berechnung des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung der Anlage. (Siehe Seite 137.)

$$6,558 \times [606,5 + 0,305 \times 151 - 118] = 3505,9$$

Kalorien nutzbar gemachte Wärme.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{kal. Werth} & | & \text{nutzb. gem.} \\
 \text{der Kohle} & | & \text{Wärme} \\
 7100 & - & 3505,9 & = & \text{Verlust}
 \end{array}$$

$$7100 - 3505,9 = 3594,1$$

Daraus ergibt sich der Verlust durch Leitung und Strahlung mit
3594,1 - (2968,4 + 193,9 + 6,1) = 425,7 Kalorien.

Schlüße.

Von 100 Kilogramm der verbrannten Kohle werden demnach

$$\frac{3505,9 \times 100}{7100} = 49,38$$
 Kilogramm nutzbar gemacht, und

50,62 " " gehen verloren.

Dieser Verlust vertheilt sich wie folgt:

1. durch das Entweichen der heißen Gfengase

$$\frac{2968,4 \times 100}{7100} = 41,81 \text{ Proz.}$$

2. durch unvollständige Verbrennung, und zwar:

	Uebertrag 41,81 Proz.
a) Entweichen von brennbaren Gasen und Bildung von Flugruß	= 0,00 "
b) Kohlenabgang in den Aschenfall	= 2,73 "
	$\frac{193,9 \times 100}{7100}$
3. durch übergerissenes Wasser	= 0,08 "
	$\frac{6,1 \times 100}{7100}$
4. durch Leitung und Strahlung der Anlage	= 6,00 "
	$\frac{425,7 \times 100}{7100}$
	Summa 50,62 Proz.

Nutzefekt des Economisers.

Zugeführte Wärme.

Das in den Economiser einströmende Gas hat eine Temperatur von 340° und besteht für 1 Kilogramm der verbrannten Kohle aus:

	Kilogramm	× sp. Wärme	= Wärmekap.	
Kohlensäure	2,684	× 0,2160	= 0,580	
atm. Luft	27,438	× 0,2375	= 6,517	
Stickstoff	7,359	× 0,2438	= 1,794	
Wasserdampf	0,751	× 0,4805	= 0,361	Temp. Kalorien
			Summa 9,252	$\times 340 = 3145,7$

Abgehende Wärme.

Das aus dem Economiser abziehende Gas hat eine Temperatur von 230° und besteht für 1 Kilogramm der verbrannten Kohle aus:

	Kilogramm	× sp. Wärme	= Wärmekap.	
Kohlensäure	2,684	× 0,2160	= 0,580	
atm. Luft	33,846	× 0,2375	= 8,038	
Stickstoff	7,236	× 0,2438	= 1,764	
Wasserdampf	0,821	× 0,4805	= 0,394	Temp. Kalorien
			Summa 10,776	$\times 202 = 2174,7$

Im Economiser wurden daher

$$3145,7 - 2174,7 = 971,0 \text{ Kalorien abgegeben.}$$

In den 12 Beobachtungsstunden wurden 12000 Kilogramm Kohle verbrannt, und damit 80904 Kilogramm Wasser verdampft, daher auf 1 Kilogramm Kohle $\frac{80904}{12000} = 6,742$ Kilogramm verdampftes Wasser.

Im Economiser wurde das Wasser von 10° auf 118° erwärmt, was einer Wärmemenge von

$$(118 - 10) \times 6,742 = 728 \text{ Kalorien entspricht.}$$

Von 100 Kilogramm der verbrannten Kohle werden demnach $\frac{728 \times 100}{7100} = 10,25$ Kilogramm im Economiser nutzbar gemacht, und

$$\frac{(971 - 728) \times 100}{7100} = 3,42 \text{ Kilogramm gehen durch Leitung und}$$

Strahlung verloren.

Der Nutzeffekt der ganzen Anlage (Kessel sammt Economiser) stellt sich somit auf

$$49,38 + 10,25 = 59,63 \text{ Prozent.}$$

Der Nutzeffekt des Economisers könnte wesentlich erhöht werden, wenn die nachträgliche Luftzuströmung bei den Rauchschiebern von dem Economiser und oberhalb des Röhrensystems bei dem Economiser selbst auf ein geringeres Maß reduziert würde.

Wie groß der Wärmeverlust durch die nachträglich einströmende Luft ist, ergibt sich aus folgender Betrachtung:

		Kilogramm			
		trockene Luft	Wasserdampf		
		auf 1 Kilogr. der verbr. Kohle			
Gas beim Verlassen der Kessel . . .		25,350	0,728		
" " Eintritt in den Economiser . .		27,438	0,741		
	Demnach zugeströmt .	2,088	0,023		
	Kilogr. \times sp. Wärme = Kap.				
trod. Luft .	2,088 \times 0,2375 =	0,496			
Wasserdampf	0,033 \times 0,4805 =	0,911		° Celsius	Kalorien
	Summa 0,507 \times (340 - 30) ¹⁾ =		157,2		
				Kilogramm	
		trockene Luft	Wasserdampf		
		auf 1 Kilogr. der verbr. Kohle			
Gas beim Eintritt in den Economiser . .		27,438	0,751		
" " Austritt aus dem Economiser . .		33,846	0,821		
	Demnach zugeströmt .	6,418	0,070		
	Kilogr. \times sp. Wärme = Kap.				
trod. Luft .	6,418 \times 0,2375 =	1,524			
Wasserdampf	0,070 \times 0,4805 =	0,034		Temp.	Kalorien
	Summa 1,558 \times (202 - 30) =		268,0		
	$\frac{(157,2 + 268,0) \times 100}{7100} =$		5,99	Prozent Kohle	

¹⁾ 340° = Temperatur der von den Kesseln abziehenden Gase;
30° = " " zuströmenden Luft.

V. Heberficht durch Verfuche gewonnener Feuergehniffe. I)

Dampfkeffel	Menge des Dampfes		S i t t e m	B e i m Selbverfuch	Wärme abgegeben		Zuftverhältniß N =	Anfangs-Temperatur in ° Celfius	End-Temperatur in ° Celfius		
	in qm	in St. in kg.			Ausgenüßt in	Verfufte in %					
60,00 1,4388, 80 4,00	11	11		129,87	16,820	54,9927	682,47	19,17	1,6612	154,1277	4,868,5
68,00 2,7638, 83,8 8,9	11	11		104,69	15,370	56,1325	073,05	12,24	1,082,	190,1299,7	7,328,6
117,81 1,0958, 76,8 7,7	11	11		98,32	11,454	64,5419	321,57	14,29	0,382,	139,1277,0	254,8
69,72 2,0833, 69,4 9,4	11	11		126,96	18,678	47,5821	518,47	13,09	4,342,	268,1145,0	304,4
49,81 1,7626, 68,8 7,9	11	11		95,27	15,850	47,0226	381,98	19,60	5,061,	1,829,1449,0	424,9
167,18 2,6363, 70,5 1,9	11	11		95,38	11,880	72,9014	522,16	9,14	1,611,	737,1560,0	245,8
145,16 2,7060, 48,4 7,6	11	11		111,16	12,840	69,6517	782,43	9,06	1,032,	115,1332,0	246,4
141,00 2,1431, 65,5 2,2	11	11		91,29	10,051	62,7016	473,07	16,00	1,752,	0,037,1431,2	243,9
182,10 2,9212, 20,8 8,0	11	11		197,04	14,02	71,9126	242,38	—	0,232,	142,1138,4	232,6
70,79 2,5727, 61 4,97	11	11		122,00	21,896	51,6519	155,89	10,15	1,317,	12,300,1103,7	333,5
184,28 2,0001, 60 9,76	11	11		66,14	4,127	68,5919	133,3,31	8,56	0,002,	2,465,1026,2	196,0
2400 2,0827, 30,4 7,2	11	11		100,90	19,040	49,4436	160,09	12,37	1,942,	2,400,1141,2	349,5
4100 0,2316, 60 8,00	11	11		138,53	38,126	44,6716	728,30	—	—	—,1,346,1639,0	—

*) Nach Jannotti für Guetehaufte 1889, 13. Gelft.

II. Bericht von Schwager.*)

1) Zweiflamrohrkessel mit Innenfeuerung. Vergleichende Kohlenuntersuchungen.

In einer Zuckerrabrik mit 6 Stück Zweiflamrohrkesseln, die für Steinkohlen-Innenfeuerung eingerichtet sind, hat ein vergleichender Verdampfversuch mit zwei Kohlenorten zur Ermittlung der billigsten Dampfproduktion stattgefunden und zwar zwischen einer deutschen und einer englischen Steinkohle.

Jeder Kessel hat 96,94 qm Heizfläche und 2,72 qm Kofffläche. Die Züge werden durch die Flammrohre, Seiten- und Unterzüge gebildet. Der Schornstein ist 35 m hoch, mit 3,315 qm oberem freien Querschnitt.

Durch den Versuch sollte festgestellt werden:

1. Welche Kohlenorte für den Betrieb den billigsten Dampf liefert,
2. ob der Schornstein für eine Betriebsvergrößerung der Fabrik bis zu 8000 Centner täglicher Rübenverarbeitung ausreicht,
3. wieviel Dampfessel für diese Betriebsvergrößerung erforderlich sind.

Tabelle der Versuchs-Ergebnisse.

	1	2	3	4	5	6	7
Art der Kohle	Heizwerth der Kohle in	1 kg. Kohle verdampft Wasser	1 qm Heizfläche verdampft Wasser in 1 Stunde	1 qm Kofffläche verbrennt Kohle in 1 Stunde	1 Str. Rüben gerbraucht Dampf	Praktische (wirkliche) Luftzufuhr beträgt von der theoretischen das	Ruhefakt der Anlage in
	Kalorien	kg.	kg.	kg.	kg.	?fache	%
Englische . .	6578	7,12	20,54	102,5	55,9	1,7	64
Westphälische .	6909	6,84	20,3	108	57,5	2,0	58,55

	8	9	10	11	12	13	14
Art der Kohle	Verlust durch den Schornstein in	100 kg. Dampf kosten	Temperatur des Speisewassers	Temperatur der Heißgase im Rauch	Kohlenäure-Gehalt im Kammrohr im Mittel	Gefährdetheit der Schornsteingase Meter in	Gefährdetheit der Schornsteingase im Rauch Meter in
	%	%	°Celsius	°Celsius	%	1 Cel.	1 Cel.
Englische . .	34,2	27,1	60,6	400	12,33	3,58	4,3
Westphälische .	35,4	26,0	60,7	400	10,00	4,00	4,74

*) Jahresbericht des Magdeburger Verein r Dampfesselbetrieb 1887.

Beim Vergleich der Resultate fällt sofort auf, daß die englische Kohle trotz ihres geringeren Heizwertes mehr Wasser für 1 kg verdampft, als die westphälische Kohle. Die Ursache liegt auf der Hand.

Die Luftzufuhr zum Brennmaterial betrug am ersten Tage das 1,7fache, am zweiten Tage das doppelte des theoretisch erforderlichen Luftquantums und es fand in Folge der 1,7fachen Luftzufuhr eine bessere Ausnutzung der Kohle statt, als dies am zweiten Tage der Fall war. Außerdem wurde am zweiten Tage der Kofst stärker angestrengt, was abermals eine Verminderung des Nuzeffektes zur Folge hatte. Die Ursache liegt demnach in der Bedienung der Kofste, welche eine schwankende ist und es läßt sich annehmen, daß bei gleich guter Bedienung die westphälische Kohle das bessere Resultat ergeben wird.

Aus den Spalten 13 und 14 ersieht man deutlich, um wieviel mehr ein Schornstein bei mangelhafter Bedienung zu leisten hat, als bei guter. Während das Verhältniß des oberen Schornstein-Querschnittes zur gesammten Kofstfläche, 1 : 5, ein gutes zu sein scheint, wird man ein besseres Urtheil darüber bekommen, wenn man bedenkt, daß nicht die Kofstfläche den Schornstein-Querschnitt bedingt, sondern das auf derselben verbrannte Kohlenquantum und daß letzteres hier 102,5—108 kg beträgt, während 70—85 kg als normal gilt.

Zur Beurtheilung der Frage, um wieviel die Kesselzahl für eine Verarbeitung von 8000 Zentner Rüben vermehrt werden muß und ob der Schornstein auch für diese Betriebsvergrößerung ausreicht, muß in erster Linie berücksichtigt werden, daß der Schornstein unter allen, also auch unter den ungünstigsten Bedingungen einen sicheren Betrieb gestattet. Eine derartige genaue Ermägung sollte bei jeder bedeutenderen Betriebsvergrößerung angestellt werden, da ein mangelhafter Schornsteinzug ebensolche Nachtheile und Kohlenvergeudung nach sich ziehen kann, wie ein zu starker Zug.

Nimmt man auf Grund der ermittelten Zahlen auf 1 Zentner Rübenverarbeitung 60 kg Dampf und 9 kg Steinkohlenverbrauch an und setzt man für eine ungeschickte Kofstbedienung eine $3\frac{1}{2}$ fache Luftzufuhr voraus, so erhält man in 24 Stunden = 480000 kg Dampfkonsum und = 72000 kg Kohlenkonsum. Rechnet man für 1 qm Heizfläche und 1 Stunde 20 kg Dampf, so sind 1000 qm Heizfläche erforderlich.

Da nach obigen Angaben ein Kessel = 96,94 qm Heizfläche besitzt, so müßte die erforderliche Zahl Kessel 11 Stück sein.

Zum Verbrennen der 72000 kg Kohlen würde = 35,3 qm Kofstfläche nöthig sein und daraus ergibt sich das Verhältniß des Schornsteinquerschnittes zur Kofstfläche = 1 : 10,65; sekundlich wurden verbrannt

$\frac{7200}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,833$ kg Kohlen und hieraus ergibt sich die Geschwindigkeit der austretenden Schornsteingase zu 6,81 Meter.

Aus der vorstehenden Tabelle ersieht man, daß bei 4 m Geschwindigkeit eine ungünstigere Ausnutzung als bei 3,58 m eintritt, und noch ungünstiger würde die Sache bei 6,81 m stehen.

Der Schornstein reicht also für 8000 Zentner Rübenverarbeitung nicht mehr aus.

2) Zuckersfabrik mit 10 Stück Zweiflammrohrkesseln.

Dieselbe Anlage, in welcher der oben beschriebene Versuch vor einigen Jahren angestellt wurde, war im Jahre 1887 Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Die Zuckersfabrik hatte noch weitere 4 Zweiflammrohrkessel von gleichen Dimensionen wie die früheren beschafft, so daß im Ganzen 10 Stück Kessel vorhanden sind und außerdem einen zweiten Schornstein, genau wie den oben beschriebenen, aufgeführt. Der eine Schornstein steht mit 4 Kesseln, der andere mit 6 Kesseln in Verbindung.

Der Versuch sollte feststellen, welcher von den beiden englischen Steinkohlensorten, Hartlepool oder Westheartley, der Vorzug in Bezug auf Billigkeit und Leistungsfähigkeit zu geben ist. Folgendes sind die ermittelten Versuchszahlen.

Art der Kohle	Heizwerth der Kohle Kalorien	1 kg. Kohle verdampft Wasser kg.	1 qm Heizfläche verdampft Wasser in 1 Std. kg.	1 qm Koffläche verbrennt Kohlen in 1 Std. kg.	1 Str. Rüben gebraucht Dampf kg.	Die wirkliche Luftzufuhr beträgt von der theoretischen das ? fache
Hartlepool .	6926	7,40	23,0	113,13	59,30	1,8
Westheartley .	6494	7,00	23,1	117,47	57,70	2,2

Art der Kohle	Nutzeffekt der Anlage %	Schornsteinsverlust %	100 kg. Dampf kosten S	Temperatur des Speisewassers durchschnittlich ° Celsius	Temperatur im Fuchs durchschnittlich ° Celsius	Kohlensäuregehalt im Flammrohr im Mittel %	Kessel im Betriebe Stück
Hartlepool .	62,37	23,48	22,79	69	400	11,4	9
Westheartley .	64,00	25,01	24,05	59	400	9,5	9

Aus dieser Tabelle ersieht man, daß die Beanspruchung der 9 im Betriebe befindlichen Kessel allerdings nicht überangestrengt genannt werden kann, trotzdem aber auch nicht als normal bezeichnet werden darf. Man rechnet, daß eine Verdampfung von 20 kg. Wasser auf 1 qm Heizfläche und 1 Stunde noch einen rationellen Dampfkesselbetrieb gestattet, aber aus dem geringen Ruhezustand der Anlage einerseits, wie aus der hohen Endtemperatur der entweichenden Rauchgase andererseits muß man darauf schließen, daß zeitweise ein Ueberanstrengen der Anlage stattfindet.

Auch an diesen beiden Versuchstagen ist wieder mit zu hohem Luftüberschuß gearbeitet worden, so daß die Heizgase sich bereits im Verbrennungsraum zu stark abkühlten und deshalb nicht mehr im Stande waren, sämtlich zur Verbrennung zu gelangen. Es wird sich deshalb im vorliegenden Falle empfehlen, den zehnten Kessel ebenfalls in Betrieb zu nehmen und dann die Rostflächen durch Uebermauern um wenigstens zu verkürzen. Die Folge hiervon wird sein, daß die Kohlenschicht höher wie bisher zu halten ist, was mit Rücksicht auf den äußerst kräftigen Schornsteinzug ohne Bedenken geschehen kann. Die stärkere Kohlenschicht aber wird auch eine mäßigeren Luftzufuhr bedingen und die Möglichkeit, daß durch nachlässige Bedienung eine schlechte und ungleichmäßige Beschickung des Rostes stattfindet, ist dann so gut wie ausgeschlossen.

Der Versuch ergab, daß für die Zuckerfabrik die Hartlepool-Kohle am günstigsten zu verwenden ist.

3) Steinkohlen-Innenfeuerung und Braunkohlen-Vorfeuerung.

Ein sehr interessanter Versuch liegt aus einer Zuckerfabrik vor, namentlich deshalb von Interesse, weil aus ihm zu ersehen ist, daß man bei normalen Verhältnissen nur durch zweckentsprechende Umänderung der Feuerungsanlage Steinkohlen oder Braunkohlen feuern kann, ohne das für letzteres Material eine Vergrößerung der Heizfläche stattfindet.

Die Zuckerfabrik, welche mit Glution und Diffusion in 24 Stunden ungefähr 3200 Zentner Rüben verarbeitet, hat 7 Zweiflammrohrkessel, deren jeder ungefähr 83 qm Heizfläche hat. Von diesen sind stets 6 Kessel mit etwa 500 qm Heizfläche im Betriebe. Die Fabrik hatte bis zum vorigen Jahre Steinkohlen-Innenfeuerung und aus verschiedenen Gründen war man zu der Frage gekommen, ob nicht die Umänderung der Kesselanlage so gestaltet werden könne, daß an Stelle der Steinkohlen staub- und rußförmige Braunkohle gebrannt werden könnte.

Es wurde für die bestehende Kesselanlage eine Treppenrost-Vorfeuerung mit Aschenfänger eingerichtet nach dem System C. P. Strube in Budau und dann später durch einen Verdampferversuch der Effekt der Anlage ermittelt.

Die 6 im Betriebe befindlichen Kessel hatten früher 16 qm Kofstfläche, jetzt 14,4 qm, also war das Verhältniß von Kofstfläche : Heizfläche früher 1 : 31,2 — jetzt 1 : 34,7.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Versuchsergebnisse der Kesselanlage mit der alten Steinkohlen-Innenfeuerung und der Treppenrost-Vorfeuerung für Braunkohlen zusammen gestellt.

Art der Kohle	Zeitangabe	Heizwert der Kohlen Kalorien	1 kg. Kohle verbampft Wasser	1 qm Heizfläche verbampft Wasser in 1 Stunde	1 qm Kofstfläche verbrennt Kohlen in 1 Stunde	Verhältniß Kofstfläche zur Heizfläche
Steinkohle Zeche Dahlbusch	früher	7300	7,2	24,0	114	1 : 31,2
Braunkohlengemisch Grube „Prinz Wilhelm“ „ „Ereue“ „ „Viktoria“	jetzt	2560	3,124	27,0	310	1 : 34,7

Art der Kohle	Zeitangabe	Ruheeffekt der Anlage %	Temperatur des Speisewassers Cels.	Temperatur der Schornsteingase Cels.	Gehalt an Kohlenäure %	1 Str. Röhren gebraucht Dampf kg.	1 Str. Röhren gebraucht Kohlen kg.
Steinkohle Zeche Dahlbusch	früher	64,0	32	290	6,0	106	14,0
Braunkohlengemisch Grube „Prinz Wilhelm“ „ „Ereue“ „ „Viktoria“	jetzt	72,0	57	330	?	110,0	35,0

Aus dieser Tabelle erzieht man, daß ohne Vergrößerung der bestehenden Kesselanlage durch die Umänderung der Feuerung in Treppenrost-Vorfeuerung für Braunkohlen ein bedeutend günstigerer Effekt wie bei Steinkohlen-Innenfeuerung erzielt worden ist. Während 1 kg Steinkohlen von 7300 Kalorien

Heizwerth nur 7,2 kg Wasser verdampft, wurden jetzt mit Braunkohlen-Gemisch von 2560 Kalorien Heizwerth 3,134 kg Wasser verdampft. Da das Verhältniß des Heizwerthes der Steinkohlen zu dem der Braunkohlen wie 2,85 : 1 ist, so hätten für gleiche Wirkung früher mit 1 kg Steinkohlen 8,93 kg Wasser verdampft werden müssen.

Die Ausnutzung der Treppenrost-Vorfeuerung würde sich noch günstiger gestalten, wenn auch der 7. Kessel noch in Betrieb genommen würde, da eine Verdampfung von 27,8 kg Wasser für 1 qm Heizfläche und 1 Stunde entschieden zu viel ist. Mit der Vermehrung der Heizfläche würden auch die Heizgase, die jetzt mit zu hoher Temperatur entweichen, mehr ausgenutzt werden können und der Hauptvortheil der Treppenroste,

gleichmäßige Kohlenschicht und regelmäßige Luftzufuhr würde dann mehr zur Geltung kommen können. Der Dampfverbrauch in dieser Fabrik ist übermäßig groß, da durch veraltete Einrichtungen ein bedeutender Verlust entsteht.

4) Treppenrost-Vorfeuerung für Braunkohlen.

Der vorhergehende Verdampfungsversuch zeigt, daß bei zweckmäßiger Treppenrostanlage eine äußerst günstige Verdampfung erzielt werden kann, bei diesem Versuche ersieht man, welche Nachtheile eine mangelhafte Gewölbe-konstruktion und überangestrigter Betrieb für Treppenrost-Vorfeuerung haben können.

Eine Zuderfabrik, die mit Elution und Diffusion in 24 Stunden ungefähr 5500—6500 Zentner Rüben verarbeitet, hat für diesen Betrieb 10 Stück Zweiflammrohrkessel mit Treppenrost-Vorfeuerung für Braunkohlen. Die Heizfläche dieser 10 Stück Kessel beträgt 662 qm. Die Kostfläche ist = 20,38 qm, jedoch wurde die Größe derselben in verschiedenen Betriebswochen durch Uebermauern verändert, um dadurch Anhaltspunkte für den Betrieb zu erhalten. Die Konstruktion der Treppenrost-Gewölbe ist nicht diejenige, welche durch viele Versuche vom Dampfkessel-Verein als die zweckmäßigste herausgefunden wurde. Während man jetzt allgemein das gedrückte Gewölbe, d. h. dasjenige, bei welchem das Gewölbe bis zur halben Kostlänge fast parallel zum Kost liegt, als das günstigste erkannt hat, sind die Gewölbe hier mehr horizontal gelegt.

In folgender Tabelle sind die Versuchszahlen von 4 Betriebswochen zusammengestellt:

Be- triebs- woche	Be- arbeitete Menge in 24 Stunden	1 kg. Kohle verdampft Wasser	1 qm Heizfläche ver- dampft Wasser in 1 Stunde	1 qm Kohle verbrennt in 1 Stunde	Zur Betriebe sind? Kessel mit Heizfläche	Zur Betriebe sind Kessel- fläche	Tem- peratur des Speise- wassers	1 Ztr. Kohle gebraucht Dampf	1 Ztr. Kohle gebraucht	Durch- schnittl. Gehalt an Kohlen- säure in den Stamm- rohren aus 71 Analysen.	Tem- peratur der ab- ziehenden Schorn- steingase	Ge- windigkeit der Feuertage entspricht dem Druck einer Wasser- säule mm
	Zentner	kg.	kg.	kg.	qm	qm	° Celsius	kg.	kg.	%	° Celsius	mm
3	5143	3,00	27,40	204,03	9 Stück --- 588	26,37	75	75,84	25,00		395	27
8	5714	2,97	29,07	222,00	9 Stück --- 601	26,37	65,5	75,88	25,81	11,5	365	27
10	6029	2,90	25,84	250,08	10 Stück --- 662	26,84	65,5	67,76	26,88		375	27
11	6571	2,95	29,80	235,81	10 Stück --- 662	27,08	65,5	70,45	28,08		365	27

Aus dieser Tabelle ersieht man, daß bei dem stärksten Betriebe 1 qm Heizfläche 29,3 kg Wasser verdampfen mußte, eine Menge, welche bei keinem zweckmäßigen Betriebe vorkommen sollte, und welche als ein Zeichen von Ueberanstregung angesehen werden muß.

Durch die 71 Stück Analysen ist nachgewiesen, daß der Kohlen säuregehalt der Gase in den Flammrohren sehr verschieden ist und daß die Verbrennung ebenfalls großen Schwankungen unterworfen war. Es wurde ein durchschnittlicher Kohlen säuregehalt von 11,3% ermittelt, so daß die Feuerung mit dem 1,7fachen der theoretisch erforderlichen Luftmenge arbeitet, was entschieden zu viel ist.

Der Grund hierfür ist in der Konstruktion der Feuerungsanlage zu suchen. Vergleicht man die Resultate aus der dritten, achten, zehnten und elften Betriebswoche, so findet man, daß in der zehnten Woche allerdings das geringste Dampfquantum für einen Zentner Rüben gebraucht worden ist und daß die Folge auch eine Verringerung des Kohlenmenge sein mußte.

Dies trifft aber nicht zu, sondern im Gegenteil, der Kohlenverbrauch ist gegenüber der achten Woche von 25,31 auf 26,22 kg für einen Zentner Rüben gestiegen. In der zehnten Woche sind vier Koste auf $\frac{3}{4}$ ihrer früheren Größe verkleinert und die betriebenen Heizflächen der Kessel durch Inbetriebnahme des zehnten Kessels vermehrt worden, der Verdampfungs-Effekt aber gefallen!

1 qm Kostfläche gebraucht in einer Stunde 250 kg Kohlen, was offenbar für die Feuerungsanlage zu viel ist. Die Temperatur der Feuergase stieg in der zehnten gegenüber der achten Woche um 10° , ein Beweis dafür, daß die verkleinerten vier Kostflächen auf Kosten der sechs anderen Kessel gearbeitet hatten. Die geringere Dampferzeugung von 25,84 kg gegen 29,07 kg auf 1 qm Heizfläche und eine Stunde entspricht dem geringeren Dampfverbrauch von 67,75 kg gegen 70—75 kg auf einen Zentner Rüben und rührt davon her, daß die gesammte Heizfläche um einen Kessel = 61 qm vermehrt wurde. In Folge dessen trat eine etwas ruhigere und langsamere Verdampfung ein.

In der elften Woche wurden die Koste wieder auf die ursprüngliche Größe gebracht und sofort wurde eine bessere Verdampfung bemerkbar.

Eine Verbesserung dieser Anlage ist dadurch möglich, daß

1. zwei Kessel von gleicher Größe wie die bisherigen beschafft und
2. die Gewölbe der Treppenroste zweckentsprechend geändert werden, sowie
3. der Bau eines zweiten Schornsteins vorgenommen wird.

Durch Anlage von zwei weiteren Kesseln, sowie durch zweckmäßige Aenderung der Gewölbe erreicht man, daß die Kohlenschicht bei allen Kesseln höher gehalten werden kann und daß dann nur das untere Drittel der Kofstfläche brennt, während der obere Kofstheil mit einer dicken Kohlenschicht angefüllt ist. Bei dem jetzigen nicht gedrückten Gewölbe brennt die ganze Kofstfläche und nicht, wie es sein soll, der untere Theil.

Es tritt also jetzt der Fall ein, daß der ganze Kofst abwechselnd leer brennt und sich dann mit einem Male der ganzen Länge nach beschickt. Wenn aber die ganze Kofstfläche brennt, so geht die Haupteigenschaft der Treppenroste verloren, da, wie schon oben gesagt, der Hauptvortheil dieser Kofste in der Stetigkeit der Beschickung und Verbrennung liegt.

Natürlich wird auch ein Treppenrost mit gedrücktem Gewölbe dem zugehörigen Kessel weniger Dampf geben, so daß hieraus die Nothwendigkeit eintritt, noch zwei weitere Kessel aufzustellen. Dafür ist aber auch der Vortheil besserer Brennmaterialien-Ausnutzung nicht hoch genug anzuschlagen und während bisher mit 1 kg Braunkohlen 2,8—2,9 kg und weniger Wasser verdampft worden sind, wird nach den vorgeschlagenen Veränderungen leicht eine 3,1—3,2fache Verdampfung zu erzielen sein.

Wenn vorhin gesagt wurde, daß die Kohlenschicht durchweg stärker zu halten ist, so ist damit gemeint, daß bei genügendem Schornsteinzug und dickerer Kohlenlage auf dem Kofst die Verbrennung eine bessere sein wird, da durch viele Versuche erwiesen ist, daß noch eine 1,3fache Luftzufuhr eine äußerst günstige Wirkung ergibt.

Wohlverstanden handelt es sich nicht lediglich um die Erzielung einer geringeren Luftzufuhr, da hiermit auch wieder eine verringerte Dampferzeugung verbunden wäre, sondern vielmehr um eine solche bei dickerer Kohlenschicht und starkem Zuge. Aus diesem Grunde wird auch die Anlage eines zweiten Schornsteins erforderlich.

VI. Die Dampfkessel und ihre Aufstellung.

Allgemeines.

Als Dampfkessel haben wir ein allseitig geschlossenes, metallenes Gefäß bezeichnet, in welchem durch äußere Wärmezuführung Wasser in Dampf von einer Spannung verwandelt wird, welche im Allgemeinen den Atmosphärendruck bedeutend übersteigt. Der erzeugte Dampf soll in der Regel trocken und gesättigt sein und zu seiner Entwicklung möglichst wenig Brennstoff verbrauchen.

Der ganze Hohlraum eines Kessels zerfällt in zwei Theile, von welchen

der innere, das mit Wasser angefüllte, der Beheizraum, und der andere, mit Dampf erfüllte, der Dampfraum genannt wird.

Der Theil der Kesselwand, welcher die Vertheilung hat, Wärme aufzunehmend aus dem Innern zu übertragen, wird Heizfläche genannt. Die Vertheilungsfähigkeit eines Dampfessels hängt wesentlich von der Größe und der Beschaffenheit der Heizfläche ab.

Nicht jede beliebige Form ist für einen Dampfessel gleich gut; käme nur die Festigkeit, d. h. die Widerstandsfähigkeit gegen inneren und äußeren Druck in Betracht, so würde die Kugelform die beste sein. Aus praktischen Gründen jedoch ist dieselbe für Dampfessel unbrauchbar.

Auch die Zylinderform ist eine sehr widerstandsfähige, und da dieselbe leicht genau und in gleichmäßiger Wandstärke herzustellen, auch in beliebigen Längen und Weiten auszuführen ist, so haben die meisten Dampfessel zylindrische Grundform, oder sind aus einzelnen Zylindern zusammengesetzt. Für die Endflächen der Zylinder ist die Form von Kugelabschnitten zwar die beste, doch kommen aus praktischen Gründen noch öfter ebene Platten zur Anwendung. Die Materialien, aus welchen Dampfessel gebaut werden, können zweckmäßiger Weise nur Metalle sein und von diesen wieder kommen nur Eisen, Stahl und Kupfer in Frage, da nur diese neben guter Wärmeleitungsfähigkeit auch bei höheren Temperaturen genügende Festigkeit besitzen und dabei nicht zu theuer sind.

Auch die mechanischen oder chemischen Beimengungen des zur Dampferzeugung dienenden Wassers sind nicht gleichgültig, und manche sonst recht zweckmäßige Kesselkonstruktion wird unbrauchbar, falls das Wasser viel Schlamm und Kesselstein absetzt.

Als Kesselwände können nur verhältnißmäßig dünne Platten dienen.

Betrachten wir einen Theil der Wand eines Dampfessels, der innen von Wasser benetzt, und außen durch Feuer erhitzt wird, so ist zunächst klar, daß die Innenfläche eine bedeutend niedrigere Temperatur haben muß, als die Außenfläche. Dadurch strebt das Stück der Wand eine dieser ungleichen Erwärmung entsprechende Ausdehnung anzunehmen, wird daran aber durch seinen Zusammenhang mit den benachbarten Theilen gewaltsam gehindert. Die Folge davon ist das Auftreten von Spannungen, die bei jedem Temperaturwechsel (beim Anheizen und Kaltlegen des Kessels) sich ändern und um so gefährlicher werden müssen, je größer die Temperaturunterschiede zwischen Außen- und Innenfläche, je dicker die Wandung ist und je häufiger ein solcher Wechsel eintritt.

Die Temperaturunterschiede von Außen- und Innenwand bei einem Dampfessel sind abhängig von der Hitze, welche durch die Feuerung erzeugt

wird, und von der Temperatur des Speisewassers. Hieran kann demnach im Allgemeinen nicht viel geändert werden, nur wird es sofort einleuchten, daß es für die Haltbarkeit des Kessels sehr wichtig ist, das Speisewasser erst dann mit der Kesselwand in Berührung treten zu lassen, nachdem es möglichst hoch vorgewärmt ist, weil dadurch der Temperaturunterschied verringert, also die nachtheilige Wirkung vermindert wird.

Um aber eine möglichst hohe ökonomische Ausnutzung der Feuerung zu erzielen, muß die Temperatur der Heizgase so hoch wie möglich sein, um so mehr, als eine solche auch am sichersten eine vollkommene Verbrennung der Kohlen gewährleistet und die Belästigung durch Rauch und Ruß beseitigt. Recht heiße Heizgase aber sind auch vortheilhafter, als minder heiße, weil die Wärme-Übertragung von einem Körper auf einen andern nur in einem gegenseitigen Ausgleich ihre Temperaturen besteht, der um so energischer vor sich geht, je größer der Unterschied ihrer Wärmezustände ist.

Nediglich vom Fabrikbetriebe dagegen hängt die Häufigkeit des Kessel-Anheizens und -Kaltlegens ab, und deshalb kann auch hierin wenig geändert werden.

Damit die Wärmeübertragung nicht gehindert oder beeinträchtigt werde, sollen die Kesselwandungen möglichst rein, d. h. nicht von schlechten Wärmeleitern belegt oder überzogen sein, wie es Ruß und Asche einerseits, Schlamm und Kesselstein sowie Luft und Dampfblasen andererseits sind. Um dieser Forderung zu genügen, müssen die Brennmaterialien bereits möglichst vollkommen verbrannt sein, bevor die Heizgase die Kesselwände berühren; auch müssen die Feuerzüge so geführt werden, daß die von dem Strome der Heizgase mitgerissene Asche sich nicht auf der Kesselwand ablagern und anhäufen kann. Da letzteres aber nicht immer vollkommen zu erreichen ist, so muß dafür gesorgt werden, daß die Flugasche jederzeit leicht und vollständig von solchen Stellen entfernt werden kann.

Die Speisung des Kessels muß mit möglichst reinem Wasser geschehen, damit nicht Schlamm und Kesselstein die Wände im Innern überziehe. Diese Forderung kann recht gut erfüllt werden, da es Mittel und Wege giebt, das Wasser vor seinem Eintritt in den Kessel, von den Kesselstein bildenden Bestandtheilen zu befreien, und somit nur reines Wasser zur Verdampfung gelangen zu lassen. Unter allen Umständen muß die Bauart des Kessels und die Anordnung der Feuerung wie der Feuerzüge so eingerichtet sein, daß sich Schlamm und Kesselstein nicht an stark erhitzten Stellen ablagern kann.

Weil auch Luft und Dampf sehr schlechte Wärmeleiter sind, so muß endlich die Kesselkonstruktion so beschaffen sein, daß die an der Kesselwand

entstehenden und sich dort anhängenden Luft- und Dampfblasen so schnell wie möglich abgelöst und nach dem Dampfraume fortgeführt werden, was am besten und wirksamsten durch eine lebhaft, nach oben gerichtete Wasserströmung längs der Kesselwände erreicht wird.

Die Kessel müssen so konstruirt sein, daß nicht der durch die Erwärmung bedingten Ausdehnung der einzelnen Theile durch Zwängungen irgend einer Art Gewalt angethan wird, da hierdurch die baldige Zerstörung sehr gefördert werden könnte.

Nach diesen allgemeinen Vorbemerkungen gehen wir zur näheren Erläuterung der Theile und Einrichtungen der Dampfessel über.

A. Wasser-, Dampf- und Speiseraum.

Der in einem Dampfessel erzeugte Dampf wird entweder zum Betriebe von Maschinen, oder zu Koch- und Heizzwecken benutzt. Die Art der Verwendung bringt es mit sich, daß der Dampfverbrauch entweder ein regelmäßiger, oder ein unregelmäßiger ist. Werden dem Kessel zu gewissen Zeiten größere, zu anderen wieder kleinere Mengen von Dampf entnommen so muß auch die Dampfentwicklung eine wechselnde sein.

Die zur Dampferzeugung dienende Feuerung aber kann nicht, wie die Dampfentnahme dem augenblicklichen Bedürfnisse entsprechend, jederzeit an- oder abgestellt werden, sondern gestattet höchstens allmälige Uebergänge von einer lebhaften zu einer trägen Verbrennung und umgekehrt, so daß hierdurch eine mit dem jedesmaligen Dampfverbrauche vollkommen übereinstimmende Dampferzeugung nicht erreichbar ist.

Zur Ausgleichung des Unterschiedes zwischen Wärmeentwicklung und Dampfverbrauch benutzt man die in der Wassermasse des Dampfessels aufgespeicherte Wärmemenge. Zu diesem Behufe muß der Wasserraum des Kessels eine entsprechende Größe erhalten. Ist der Dampfverbrauch ein näherungsweise gleichbleibender, wie es der Fall ist, wenn der Dampf nur zum Betriebe einer immer gleichmäßig belasteten Dampfmaschine dient, so braucht der Wasserraum nicht besonders groß zu sein.

Schwankt dagegen der Dampfverbrauch bedeutend, so muß der Wasserraum möglichst groß bemessen werden.

Schon bei geringer Druckverminderung infolge zu starker Dampfentnahme verwandelt sich ein Theil des Wassers in Dampf von der Spannung die nun im Kessel herrscht. Nimmt hierauf der Dampfverbrauch wieder ab, oder hört er für einige Zeit ganz auf, so wird durch die Wärme, welche die Feuerung dem Kessel ohne Unterbrechung zuführt, die Temperatur des Wassers und auch die Dampfspannung wieder steigen und sich im Kesselwasser eine

Menge von Wärme aufspeichern, welche einen darauf folgenden reichlicheren Dampfverbrauch abermals zu decken im Stande ist.

Dieser Ausgleich kann noch durch ein Mittel erleichtert werden, dessen sich ein umsichtiger Heizer nur richtig zu bedienen braucht, um trotz eines sehr wechselnden Dampfverbrauches eine nahezu gleichbleibende Dampfspannung im Kessel zu erhalten. In der Regel geschieht nämlich die Speisung, d. i. die Versorgung des Kessels mit dem zur Verdampfung nöthigen Wasser nicht ununterbrochen, sondern mit Zwischenpausen. Daraus ergibt sich, daß der Wasserstand im Kessel nicht immer derselbe bleibt, sondern bald ein höherer, bald ein niedriger sein wird.

Erfolgt nun die Kesselspeisung in der Zeit, wo nur ein geringer, oder gar kein Dampfverbrauch stattfindet, so wird ein beträchtlicher Theil der Wärme, welche die Feuerung dem Kessel zuführt, zur Erwärmung des Speisewassers bis auf die Temperatur des Kesselinhalts verbraucht, und es kann die Dampfspannung im Kessel nicht so schnell steigen, wie es ohne Speisung geschehen müßte. Zugleich wird durch eine reichliche Zufuhr von Wasser der Wärmehalt des Kessels erhöht.

Den Raum-Unterschied, den der Wasserraum eines Kessels bei dem niedrigsten verglichen mit dem höchsten Wasserstande zeigt, wird der Speiseraum eines Kessels genannt, und dieser ist daher bei sehr ungleichem Dampfverbrauche ebenfalls groß zu wählen.

Ähnlich wie der Wasserraum, bildet auch der Dampfraum eines Dampfessels eine Vorrathskammer für den Dampfverbrauch; nur hat derselbe nicht eine ebenso große Bedeutung wie der erstere, weil in demselben nur eine verhältnißmäßig kleine Wärmemenge aufgespeichert ist, wie wir bald zeigen werden.

Der Vortheil eines großen Dampfraumes ist nicht sowohl darin zu suchen, daß er einen großen Vorrath von Dampf aufnehmen kann, sondern er besteht vielmehr darin, daß er es verhindert, daß der Dampf viel Wasser mit sich fortreißt.

Wird Dampf aus einem kleinen Dampfraume in oft wechselnden Mengen entnommen, wodurch fortwährende Schwankungen in dem Drucke entstehen, so reißt der aus dem Innern des Wassers bei einer Druckverminderung sich plötzlich frei machende Dampf eine bedeutende Menge kleiner, ihn umhüllenden Wasserbläschen bis über den Wasserspiegel des Kessels empor. Man kann annehmen, daß jede den Wasserspiegel durchbrechende Dampfblase eine Wasserhülle mit in den Dampfraum treibt.

In einem großen Dampfraume kann sich das Wasser leicht wieder von dem Dampf trennen, indem die Wasserhüllen zerplagen und in Folge ihres

größeren spezifischen Gewichtes in das Wasser zurückfallen, während der Dampf den Kessel trocken verläßt. Ist der Dampfraum jedoch klein, die Geschwindigkeit der Dampfantnahme aber groß, so werden die in dem Dampfströme schwebenden Wasserbläschen von dem Dampfe mit fortgerissen und machen den Dampf naß.

Hierbei geht stets die Wärme verloren, welche das Wasser gebraucht, um sich bis zur Kesseltemperatur zu erwärmen, weil es dem Kessel durch das Speisewasser wieder ersetzt werden muß, ohne daß es, wie Dampf, Wärme abzugeben im Stande ist.

Um den Dampf möglichst trocken zu dem Orte des Gebrauchs gelangen zu lassen, ist demnach ein großer Dampfraum wünschenswerth; außerdem pflegt man den Dampf in möglichst großer Entfernung von dem Wasserspiegel zu entnehmen und ihn durch Scheidewände u. s. w. zu mehrfachen Richtungsänderungen zu zwingen, damit die Wasserbläschen und Wassertropfen gegen die Wände geschleudert werden, an denen sie dann herabrinnen und ins Wasser zurückfließen können. Vortheilhaft für die Gewinnung trockenen Dampfes ist auch ein großer Wasserspiegel im Kessel; bei einem solchen kann sich die Dampfwicklung auf eine große Fläche vertheilen und wird sich dann nicht so stürmisch gestalten, wie bei einem sehr kleinen Wasserspiegel, bei welchem ein starkes Aufschäumen stattfindet, und das emporgerissene Wasser im ganzen Dampfraume umher geschleudert wird.

Um nun den ungleich höheren Werth nachzuweisen, den ein großer Wasserraum gegenüber einem großen Dampfraum besitzt, wollen wir annehmen, daß sich in einem Kessel Dampf von einer Spannung von 5 Atmosphären (Ueberdruck) befinde. Dann steckt in einem Kubikmeter Dampf eine Wärmemenge, die sich wie folgt leicht berechnen läßt: Das spez. Gewicht des Dampfes (mit Wasser verglichen) ist = 0,003263, und 1 Kilogramm solchen Dampfes erfordert zu seiner Entstehung aus Wasser von 0° 655 W. E. Die in 1 Kubikmeter enthaltene Wärme beträgt demnach: $1000 \cdot 0,003263 \cdot 655 = 2137$ W. E.

In einem Kubikmeter Wasser in diesem Kessel, mit einer Temperatur von 159,2° C. stecken demnach: $1000 \cdot 159,2 = 159200$ W. E. also ist in dem Wasser $\frac{159200}{2137} = 74,4$ mal soviel Wärme aufgespeichert als in dem Dampfe, der denselben Raum einnimmt.

Bei einer Dampfspannung = 3 Atmosphären Ueberdruck ist in dem Wasser 99 mal so viel Wärme enthalten als in dem Dampfe, der denselben Raum einnimmt.

Würde nun z. B. durch einen reichlichen Dampfverbrauch die Dampfspannung plötzlich von 5 Atmosphären auf 3 Atmosphären ermäßigt, sinkt also die Temperatur von 159° auf 144° , so werden aus jedem Kilogramm Wasser $159 - 144 = 15$ W. E. frei, und da in einem Kubikmeter Dampf von 3 Atmosphären 1450 W. E. enthalten sind, das Wasser aber schon eine Temperatur von 144° besitzt, so kann 1 Kubikmeter Wasser $\frac{1000 \times 15}{1450 - 144} = \frac{15000}{1306} = 11,48$ Kubikmeter Dampf von 3 Atmosphären Druck entwickeln; oder, da jedes Kilogramm Wasser 15 W. E. abgeben kann, und zur Erzeugung von 1 Kilogramm Dampf von 3 Atmosphären Spannung aus Wasser von 144° nach 506 W. E. erforderlich sind, so erzeugt jedes Kilogramm Wasser $\frac{15}{506} = \frac{1}{34}$ Kilogramm Dampf, d. h. mit andern Worten: es wird durch plötzliche Druckverminderung von 5 auf 3 Atmosphären der 34^{te} Theil des ganzen Kesselwassers in Dampf von 3 Atmosphären Spannung verwandelt.

Während ein großer Dampfraum in einem Kessel keinen andern Nachtheil hat, als daß er den Kessel im Verhältnisse der Größe vertheuert und die Wärmeverluste durch Strahlung erhöht, so kann ein großer Wasserraum nachtheilig werden, sobald der Betrieb öfter auf längere Zeit unterbrochen wird; denn im Wasser aufgespeicherte Wärme geht vollständig verloren, wenn der Kessel so lange in Stillstand versetzt wird, daß er vollkommen erkaltet.

Deshalb eignet sich ein großer Wasserraum nicht für einen Betrieb mit häufigen Unterbrechungen, welche eine Erkaltung des Kessels herbeiführen. Ebenso eignet er sich aber auch dann nicht, wenn die Zeitdauer des Anheizens möglichst kurz sein soll, denn eine große Wassermasse erfordert selbstverständlich eine längere Zeit, um bis auf eine gewisse Temperatur erwärmt zu werden, als eine kleine.

B. Heizfläche der Kessel.

Von der Größe und Beschaffenheit der Heizfläche (s. S. 161) hängt hauptsächlich die Leistungsfähigkeit eines Kessels ab.

Die Wärmemittheilung an den Kessel erfolgt theils durch Strahlung gegen die Kesselwand, theils durch Berührung der Heizgase mit derselben.

Die Wärmeübertragung durch Strahlung seitens des glühenden Brennstoffs und der Flamme ist am wirksamsten, weil hier die Hitze am höchsten, die Temperaturunterschiede demnach am größten sind, doch kann, wenn überhaupt, immer nur ein verhältnismäßig kleiner Theil der Kesselwand von der strahlenden Wärme getroffen werden; die größte Wärme-

menge wird derselben immer von den Heizgasen, und zwar durch Berührung zugeführt. ~~lib~~ Allerdings wird bisweilen auch noch strahlende Wärme, welche von andern Körpern ausgeht, auf den Kessel übertragen, z. B. wenn die Feuerzüge theilweise aus, durch die Heizgase stark erhitztem Mauerwerk bestehen.

Die von der Kesselaußenfläche aufgenommene Wärme gelangt durch Leitung durch das Kesselblech hindurch nach der Innenfläche des Kessels, und hier erfolgt die Wärmeüberführung nur durch die Berührung mit dem Wasser; die Berührung der heißen Kesselwand mit dem Dampfe im Innern des Kessels wird im Allgemeinen nicht beabsichtigt, da sie fast werthlos, oft sogar schädlich ist.

Nach § 2 der für das Deutsche Reich gültigen allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln vom 29. Mai 1871 wird folgendes bestimmt:

„Die um oder durch einen Dampfkessel gehenden Feuerzüge müssen an ihrer höchsten Stelle in einem Abstände von mindestens 10 Zentimetern unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserspiegel des Kessels liegen. Bei Dampfschiffskesseln von 1 bis 2 Meter Breite muß der Abstand mindestens 15 cm, bei solchen von größerer Breite mindestens 25 cm betragen.

Diese Bestimmungen finden keine Anwendung auf Dampfkessel, welche aus Siederöhren von weniger als 10 cm Weite bestehen, sowie auf solche Feuerzüge, in welchen ein Erglühen des mit dem Dampftraume in Berührung stehenden Theiles der Wandungen nicht zu besorgen ist. Die Gefahr des Erglühens ist in der Regel als ausgeschlossen zu betrachten, wenn die vom Wasser bespülte Kesselfläche, welche von dem Feuer vor Erreichung der vom Dampfe bespülten Kesselfläche bestrichen wird, bei natürlichem Luftzuge mindestens 20 mal, bei künstlichem Luftzuge mindestens 40 mal so groß ist, als die Fläche des Feuervostes.“

Um die in der Feuerung erzeugte Wärme so viel wie möglich auszunutzen, muß die Heizfläche so groß wie möglich gemacht werden. Während jedoch zu Anfang des Feuerzuges in der Nähe der Feuerung, wo der Temperaturunterschied zwischen den Heizgasen und der Kesselwand groß ist, die Wärmeübertragung auch eine kräftige ist, nimmt sie nach und nach ab, und zwar in dem Maße wie die Temperatur der Gase abnimmt, so daß die letzten Theile der Heizfläche nur noch geringe Wirkung haben.

Hieraus geht nun hervor, daß es Heizflächen von sehr verschiedener Wirksamkeit giebt, und daß die Leistungsfähigkeit eines Dampfkessels nicht genau bezeichnet wird, wenn man nur die Größe seiner Heizfläche angiebt.

Eine Heizfläche ist dann von guter Beschaffenheit, wenn sie gebildet wird von fehlerfreiem Blech ohne schiefrige oder unganze Stellen, welches auch innen und außen frei von jeder Belegung durch schlechte Wärmeleiter, wie Rost, Ruß, Asche, Schlamm und Kesselstein u. s. w. ist.

Von guter Wirkung aber ist die Heizfläche, wenn sie vermöge ihrer Lage viel Wärme aufnehmen und dieselbe an das Wasser ungehindert abgeben kann. Zu dem Zwecke muß der Temperaturunterschied zwischen der außen herrschenden und der Wasservärme möglichst groß sein. Erstere hängt von der Wirksamkeit des Feuers und von der Lage der Kesselwand zu demselben ab. Die Temperatur des Wasser aber wird dann dauernd am niedrigsten sein, wenn die Theilchen desselben in ununterbrochener Bewegung sind und nicht ruhen; denn da das Wasser ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, so kann die Wärmemittheilung nur dann eine gute sein, wenn die bereits erwärmten Wassertheilchen so rasch wie möglich sich von der Kesselwand entfernen und neu zuströmenden kälteren Platz machen, die sich, nach geschehener Wärmeaufnahme wieder rasch zu entfernen haben u. s. f. kurz, es wird die Heizfläche um so wirksamer sein, je lebhafter sich die Wasserbewegung an derselben vollzieht.

Am meisten wird die Wirksamkeit der Heizfläche gelähmt und beeinträchtigt durch Belegung derselben mit schlechten Wärmeleitern, und solche von derselben fern zu halten, ist ein Haupterforderniß, wenn man eine gute Verdampfung erreichen will. Wenn man daher nicht sehr gutes Speisewasser zur Verfügung hat, muß man, wie schon erwähnt, dasselbe entweder vor seiner Verwendung einem der bekannten Reinigungsverfahren, von welchen später ausführlich die Rede sein wird, unterwerfen, oder die Feuerzüge so anordnen, daß sich Schlamm und Kesselstein nicht dort absetzen können, wo der Kessel der stärksten Hitze ausgesetzt ist. Manche Kessel mit geringer Wasserströmung begünstigen die Ansammlung von Schlamm und Kesselstein gerade an solchen Stellen, wo eine kräftige Verdampfung stattfindet. Da dort auch am meisten Dampf aufsteigt, strömt von allen Seiten das Wasser nach solchen Stellen, wo das verdampfte zu ersetzen ist. Durch dasselbe werden dann abgelöste Kesselsteinsplitter mit dorthin bewegt, die mit dem Schlamm oft dicke Kuchen bilden, damit zusammenbacken und eine Venetzung der Heizfläche mit dem Kesselwasser schließlich ganz aufheben und dadurch die Wärmeüberführung auf das Wasser unmöglich machen. Das Kesselblech kommt dann an solchen Stellen zum Glühen, und dies führt zu rascher Zerstörung des Materials, wenn nicht zu einer Explosion.

Die Wirksamkeit der Heizfläche beurtheilt man nach der Menge Wasser, welche sie für die Stunde und Flächeneinheit in Dampf verwandelt.

Die größte Leistungsfähigkeit hat eine dünnwandige beiderseits sehr reine Heizfläche, welche direkt dem Feuer ausgesetzt ist. Eine solche verdampft in einer Stunde 65 bis 70 Kilogramm Wasser auf ein Quadratmeter. Hierbei wird allerdings die Wärme des Feuers nur zu einem geringen Theile ausgenutzt.

Will man auf einem Quadratmeter der Heizfläche 70 Kilogramm Wasser zur Verdampfung bringen, so muß man auch etwa 70 Kilogramm Kohlen verbrennen, während bei guter Wärmeausnutzung mit einem Kilogramm Kohlen je nach ihrem Heizwerthe 6 bis 10 Kilogramm Wasser verdampft werden können. Je länger man die Heizgase mit der Kesselwand in Berührung läßt, desto mehr Wärme kann die Heizfläche den Gasen entziehen, oder was dasselbe bedeutet, desto mehr kühlen sich die letzteren ab. Dies kann und darf nun allerdings nur bis zu einem gewissen Grade geschehen, weil die Heizgase eine gewisse Temperatur behalten müssen, um den nöthigen Zug im Schornsteine zu erzeugen und weil die Wärmeübertragung an die Heizfläche aufhört, wenn die Heizgase bis zur Temperatur der Kesselwand gekühlt sind, welche von der Dampfspannung im Kessel abhängt. Die Temperatur des Kesselinhalts bei sechs Atmosphären Ueberdruck ist z. B. 165° , bei 10 Atmosphären $184,5^{\circ}$ und daraus folgt, daß sich die Heizgase überhaupt nur bis etwa auf 200° abkühlen können.

Hieraus folgt nun, daß man mit einer gegebenen Heizfläche eine starke Verdampfung nur erreichen kann, wenn man die Wärme der Fenerung wenig ausnützt, und daß man bei recht weitgehender Wärmeausnutzung nur auf eine geringe Verdampfung rechnen kann. Dies heißt also auch: Will man auf der Flächeneinheit der Heizfläche viel Wasser in Dampf verwandeln, so wird der erzeugte Dampf theuer; fordert man wenig Dampf von der Heizfläche, so wird derselbe billig zu erhalten sein.

Im ersten Falle muß man ein sehr lebhaftes Feuer mit starkem Zuge unterhalten und sagt, man strenge den Kessel an; unterhält man andrerseits bei schwachem Zuge nur ein mäßiges Feuer, so schont man den Kessel.

Man kann rechnen, daß bei feststehenden Kesseln auf Stunde und Quadratmeter im Durchschnitt 10 bis 30 Kilogramm Wasser verdampft werden, ersteres bei bester Wärmeausnutzung und sehr geschontem Kessel, letzteres bei ziemlich guter Wärmeausnutzung aber angestregtem Kessel.

C. Material für Dampfkessel.

Das beste Material für den Bau von Dampfkesseln ist unstreitig Kupfer, das nicht nur eine bedeutendere Reinheit, sondern auch eine Wärmeleitfähigkeit besitzt, welche mehr als doppelt so groß ist, als die des

Eisens. Außerdem wird das Eisen von dem Kupfer weit übertroffen durch Geschmeidigkeit, Fließbarkeit und Gleichmäßigkeit des Gefüges, welche Eigenschaften das Kupfer zur Herstellung sowohl dick- als dünnwandiger Gefäße, welche so wie die Dampfkessel in erster Linie dicht sein müssen, weit geeigneter machen, als das Eisen, auch rostet es nicht, verbrennt nicht so leicht u. s. w.

Die Festigkeit des Kupfers ist zwar geringer als die des Eisens, doch wird dieser Mangel durch die anderweiten guten Eigenschaften des Kupfers reichlich aufgewogen. Nur der hohe Preis des Kupfers ist der hindernde Umstand, daß man Dampfkessel nicht ausschließlich aus Kupfer herstellt, sondern dieses vorzügliche Material nur da verwendet, wo es durch ein anderes kaum zu ersetzen ist.

Wegen seiner bedeutenden Geschmeidigkeit bei allen Temperaturen läßt es sich leicht strecken, treiben, biegen und verstemmen und ermöglicht deshalb leicht die Herstellung dichter Fugen, so daß man das Kupfer nicht selten als Dichtungsmittel anwendet, wo sonst kein anderes Material genügt oder aushält. Als Hauptmaterial für den Kesselbau dient das Schmiedeeisen, und zwar hauptsächlich in Form von gewalzten Blatten aus Puddeleisen oder allgemein Schweizeisen.

In neuerer Zeit fängt man auch an, Kessel aus recht weichem, dehnbaren Flußeisen zu bauen, welches dem gewöhnlichen Schweizeisen gegenüber den Vorzug größerer Reinheit und Gleichmäßigkeit besitzt. Dasselbe, auch Homogeneisen genannt, hat in Folge seiner Herstellungsweise durch den Bessemer-Prozeß oder Martinprozeß, bei dem die ganze Masse in Fluß gelangt, ein sehr gleichmäßiges Gefüge, ist ganz schlackenfrei und besitzt eine größere Festigkeit als das gefrischte oder gepuddelte Eisen. Das Flußeisen verlangt aber eine vorsichtigeren Behandlung; so sollen z. B. die Nietlöcher gebohrt und nicht, wie es sonst geschieht, ausgestoßen werden, weil die Gefahr vorhanden, daß es beim Kochen auf Stoßmaschinen Risse bekommt; außerdem ist es weniger leicht zu schweißen und seine Bearbeitung im schwarzwarmen Zustande bietet größere Schwierigkeiten dar. Das Biegen und Nachrichten muß daher entweder im rothwarmen, oder im kalten Zustande vorgenommen, auch müssen die Blechtafeln sehr sorgfältig ausgeglüht werden.

Die Vorzüge des Gußstahls allem andern Eisenmaterial gegenüber, namentlich auch die außerordentliche Festigkeit des Gußstahlblechs hat schon lange die Gußstahlfabriken zu Versuchen bewogen, Gußstahlbleche zu Dampfkesseln zu verwenden, und es sind auch eine größere Zahl von Stahlkesseln angefertigt und in Betrieb gesetzt worden, doch scheinen ganz besondere Schwierigkeiten hinsichtlich der Bearbeitung u. s. w. die Ursache zu sein,

daß alle Anstrengungen, das Eisenblech durch Stahlblech als Kesselbaumaterial zu verdrängen, erfolglos geblieben sind.

An den wenigen Gußstahlkesseln, welche jetzt noch im Betriebe sind, finden sich stets Korrosionen der Außen- und Innennäthe.

In der Ingenieur- und Felegirten-Versammlung des Verbandes der Dampfkessel-Überwachungs-Vereine im Jahre 1881 sind Grundsätze für die Prüfung der Materialien zum Bau von Dampfkesseln vereinbart und angenommen worden, wonach in Zukunft, ohne Rücksicht auf die verschiedenen sonst gebräuchlichen Bezeichnungen, die folgenden drei Klassen von Kesselblechen unterschieden werden sollen:

1. Mantelplatten-Bleche
2. Börtel- und Kremp-Bleche
3. Feuerplatten-Bleche.

Für jede dieser 3 Gattungen ist eine bestimmte Zerreißfestigkeit und eine bestimmte Dehnung (in Prozenten der ursprünglichen Länge) vorgeschrieben, welche das Material bei dem Bruche zeigen muß. Beide Größen haben für die Walz- und für die Querrichtung verschiedene Werthe.

Die verlangte Zerreiß-Festigkeit ist im Allgemeinen kleiner für die Querrichtung als für die Walzrichtung, im Besonderen aber für die Mantelbleche am kleinsten und für die Feuerplatten-Bleche am größten, und beträgt 30 Kilogramm (für die Quersäfer) bis 36 Kilogramm (für die Langsäfer) pro Quadratmillimeter des Querschnitts. In gleicher Weise sind die geforderten Dehnungen, als Maaß für die Zähigkeit des Materials steigend, von 5 Prozent (für die Quersäfer) bis 18 Prozent (für die Langsäfer).

Außerdem müssen die Probestücke im warmen und im kalten Zustande sich um einen gewissen Winkel biegen lassen ohne zu brechen oder einzureißen und zwar im kirschrothwarmen Zustande um eine wenig gebrochene Kante, im kalten Zustande aber um einen Zylinder von 26 mm Durchmesser.

Dieser Winkel beträgt für den rothwarmen Zustand für Mantelbleche 80° für die Quersäfer und 110° für die Langsäfer; für Börtelbleche 120° und 150° und für Feuerplattenbleche 180°.

Der Winkel für den kalten Zustand ist nicht nur verschieden für die Blecharten und für die Quer- und Langsäferichtung, sondern auch für die Dide der Bleche; so beträgt derselbe z. B.

für 6 mm dide Mantel-Bleche	30° und 50°,
" 12 " " "	15° und 35°,
" 15 " " "	12° und 30°,
" 20 " " "	5° und 15°,

für Börtelbleche schwankt der Winkel von 10° bis 80° und für Feuerplattenbleche von 30° bis 110° .

Ebenso soll das bei der Kesselfabrikation verwendete Winkelseisen eine Zugfestigkeit von 36 Kilogr. auf das qmm und eine Dehnung von 16 % zeigen; bei der warmen Biegeprobe soll sich dasselbe flach schlagen lassen und beim kalten Aufbiegen der Schenkel um einen Winkel von 18° dürfen sich nur die Anfänge von Rissen zeigen.

Die Zugfestigkeit des Nieteisens soll 38 Kilogramm auf das qmm und die Dehnung 20 % betragen; bei der kalten Biegeprobe soll es gebogen und platt aufeinander geschlagen werden können, ohne zu brechen. — Ein Zylinder des Nieteisens, dessen Höhe doppelt so groß wie sein Durchmesser ist, soll im warmen Zustande bis auf $\frac{1}{3}$ seiner ursprünglichen Höhe zusammengestaucht, sich mit einem Durchschlagstempel von dem halben Nieteisen-Durchmesser ohne zu reißen, durchlochen lassen u. s. w.

Nächst dem Schmiedeeisen kommt auch wohl noch Gußeisen und Messingblech als Kesselbaumaterial, jedoch nur in sehr beschränktem Maße zur Anwendung. Das Gußeisen ist für Dampfessel ein ganz ungeeignetes Material, da seine Zugfestigkeit nur gering ist, und also große Wanddicken bedingen würde, welche in doppelter Hinsicht nachtheilig sind. Daher verwendet man Gußeisen nur zu Röhren, unbedeutenden Verbindungstheilen u. s. w.

Messing und Messingblech sind noch unzuverlässiger als Gußeisen und deshalb sieht man von seiner Verwendung, dünne Röhren ausgenommen, jetzt ganz ab.

Die bereits erwähnten für das Deutsche Reich geltenden polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Dampfessel sagen hierüber:

„§ 1. Die vom Feuer berührten Wandungen der Dampfessel, der Feuerröhren und der Siederöhren dürfen nicht aus Gußeisen hergestellt werden, sofern deren lichte Weite bei zylindrischer Gestalt 25 cm, bei Kugelgestalt 30 cm übersteigt.

Die Verwendung von Messingblech ist nur für Feuerröhren, deren lichte Weite 10 cm nicht übersteigt, gestattet.“

D. Wandstärke der Kessel.

Da die zweckmäßigste Grundform aller Dampfessel und Kesseltheile die Zylinderform ist, welche daher auch überall zur Anwendung kommt, so handelt es sich hier hauptsächlich nur um die Bestimmung der Wandstärken hohler Zylinder, welche entweder einem innern oder einem äußeren Drucke ausgesetzt sind. Die Wandung eines hohlen Zylinders aber besteht aus dem gekrümmten Mantel und aus den beiden Böden, welche zwar am besten

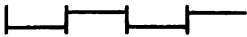
die Form von Kugelabschnitten erhalten, aber aus praktischen Rücksichten oft eben gestaltet werden.

Zylinder von größeren Weiten werden aus ebenen Blechtafeln, nachdem dieselben durch Aufrollen mittels der Biegewalzen in eine möglichst genau kreisrunde Form gebracht wurden, zu geschlossenen Ringen, sogenannten Stößen oder Schüssen zusammengenietet. Die Länge eines solchen offenen Schusses ist gleich der Breite einer Blechtafel, weil aus Festigkeitsrücksichten die Blechtafeln so gebogen werden müssen, daß die Walzrichtung des Blechs in den Umfang des herzustellenden Zylinders fällt, die Quersfasern des Blechs also parallel mit der Zylinderachse liegen müssen.

Wenn irgend möglich, stellt man einen Schuß nur aus einer Blechtafel her, obwohl bei Ausführung sehr großer Kessel zu einem Schusse auch zwei bis drei Tafeln genommen werden müssen. Mehrere solcher Schüsse, je nach der geforderten Kessellänge, in einandergeschoben und zusammen genietet liefern dann, nachdem auch die offenen Enden durch die eingeniетeten Böden verschlossen sind, einen einfachen Walzenkessel.

Da nun der Zusammenhang des Blechquerschnitts in einer Nietnaht durch die Nietlöcher unterbrochen, dort also die Festigkeit des Blechquerschnitts geschwächt wird, so muß für die Berechnung der Wandstärke eines Kessels der Grad dieser Schwächung in Rechnung gezogen werden. Mit Rücksicht hierauf muß die Blechdicke eines jeden, durch Vernietung aus einzelnen Platten gebildeten Kessels um 30 bis 44 Prozent größer sein, als wenn derselbe aus vollem ungeschwächten Blech, d. h. ohne Nietung hergestellt werden könnte. Hierdurch sowie auch noch durch die Verdoppelung des Bleches bei den Nietnähten und durch das Gewicht der Nietköpfe, die zu beiden Seiten über die Blechfläche hervorragen, wird das Gewicht des Kessels erheblich vergrößert und zwar in einem um so höheren Grade, aus je kleineren Tafeln der Kessel zusammengesetzt wird. Aus diesem Grunde pflegt man die Blechtafeln für die Kesselfabrikation möglichst groß anzufertigen auch hat man mit Erfolge versucht, die Nietung durch Schweißung zu ersetzen. Röhren mit zuverlässig geschweißten Längsnähten statt der Vernietungen werden in neuerer Zeit in bedeutendem Umfange verwendet, so namentlich zu Röhrenkesseln jeder Art.

Die Gefahr, daß ein hohler Zylinder durch inneren Druck der Länge nach, also parallel mit der Zylinderachse aufreißt, ist größer als die, daß er quer zur Achse zerreiße. Deshalb ist es zweckmäßig, bei der Herstellung von genieteten Röhren die Längsnähte doppelreihig zu nieten, weil die Festigkeit einer solchen Doppelnäht diejenige einer einfachen wegen der weit entfernt stehenden Nietlöcher um 14 bis 18 % übertrifft; für die Quernähte, welche

zur Verbindung der Schiffe untereinander erforderlich sind, genügt immer eine einfache Vernietung. Die Gefahr des Aufreißens der Kesselwand in der Längsrichtung wird auch dadurch vermindert, daß man die Längsnähter in den einzelnen Schüssen nicht in eine und dieselbe grade Linie legt, sondern sie treppenartig möglichst weitläufig verfest. 

Für Kesselböden genügt dieselbe Blechstärke, wie für den Mantel, so bald dieselben kugelförmig gestaltet sind und zwar nach einer Kugel, deren Halbmesser gleich dem Durchmesser der zylindrischen Wand ist.

Werden die Kesselböden aber aus ebenen Platten hergestellt, so müssen sie eine größere Wanddicke erhalten. Solche werden, damit sie nicht zu schwer ausfallen, zweckmäßiger Weise verankert. Dies kann durch runde Ankerbolzen geschehen die einerseits an die Böden, andererseits an den zylindrischen Mantel angenietet sind. Meistens verwendet man jedoch als Anker dreieckige, ebene Zwicfelplatten, die mittels Winkelleisen an Boden und Mantel in radialer Stellung angenietet werden.

Rohre, welche äußeren Druck auszuhalten haben, müssen bedeutend dickere Wandstärken erhalten, als solche von gleichem Durchmesser, die inneren Druck auszuhalten haben, weil sie auf Zertrüben beansprucht sind. Die Gefahr, zusammengedrückt zu werden, ist um so größer, je länger das Rohr ist, und um solche Rohre nicht allzu dickwandig machen zu müssen, werden dieselben durch außen angebrachte Versteifungsringe von L- oder T-Eisen, oder auch durch besondere Konstruktion der Röhren, z. B. Wellenform besonders versteift, wie bei den Flammrohrkesseln noch gezeigt werden soll.

Da nun das Kesselgesetz für das deutsche Reich jetzt nicht mehr wie früher, die Blechstärken für Kessel und Kesseltheile vorschreibt, sondern die zu verwendenden Abmessungen dem Ermessen des Kesselerbauers überläßt, so mögen hier die

Grundbedingungen und Formeln für die Berechnung der Blechstärken neuer Kessel

einen Platz finden, welche in der, am 6. und 7. Juli 1884 zu Brüssel stattgehabten Delegirten- und Ingenieur-Versammlung des Verbandes der Dampfkessel-Überwachungs-Vereine vereinbart und zu dem Zwecke veröffentlicht worden sind, damit sich die Praxis derselben bedienen möge.

Allgemeines.

1. Der Berechnung von Blechstärken neuer Kessel ist mindestens eine fünfsache Sicherheit an der schwächsten Stelle zu Grunde zu legen, wobei die Stärke der Nietnähte mit in Rechnung zu ziehen ist.

Die Stärke der Nietnähte ist zu berechnen nach folgender Formel:

$$z = \frac{e - d}{e} \cdot 100$$

$$z_1 = \frac{f \cdot n \cdot x}{e \delta} \cdot 100$$

worin bedeuten:

- δ = Blechstärke in Millimetern,
- d = Durchmesser des Nietloches in mm,
- e = Entfernung der Niete von Mitte zu Mitte in mm,
- n = Anzahl der Nietreihen,
- z = Anzahl der Prozente der Festigkeit des Blechs in der Nietnaht im Vergleich mit dem vollen Bleche,
- z_1 = Anzahl der Prozente der Festigkeit der Niete im Vergleich mit dem vollen Bleche,
- x = 1 bei Ueberlappungs- und einfacher Laschen-Nietung,
- x = 1,75 bei Doppel-Nietung.
- f = Querschnitt eines Nietes in Quadratmillimetern (nach der Bernietung.)

2. Aus praktischen Gründen, namentlich in Rücksicht auf die Möglichkeit des Verstemmens und auf die Art der Auflagerung der Dampfkessel, sollen die Schweißbleche der Kesselmäntel eine Mindeststärke von 7 Millimetern nicht unterschreiten.
3. Die von dem Verbands der Dampfkessel-Ueberwachungs-Vereine aufgestellten Normalbestimmungen für die Prüfung der Materialien für den Dampfkesselbau (Würzburger Normen) sollen maßgebend sein für die mindestens zu verlangende Widerstandsfähigkeit der Kesselbleche.
4. Die Nietnähte sollen stets so ausgeführt werden, daß die Widerstandsfähigkeit der Niete gegen Abscheeren mindestens gleich der in Rechnung zu ziehenden Festigkeit des Bleches in der Nietnaht ist.

Ebene Flächen, Kessel-Endplatten u. s. w.

5. Für die Stärken ebener Flächen, Kessel-Endplatten u. s. w. kann eine Formel nicht aufgestellt werden, da die Versteifungen hier die Hauptsache sind, und da außerdem bei größeren Schiffskesseln die Kessel-Endplatten theilweise aus verschiedenen starken Blechen zusammengesetzt werden müssen.

Verankerungen.

6. Für die Verankerungen sollen keine detaillirten Vorschriften gemacht werden, um den Konstrukteur nicht unnötig zu binden.

Dampfkesselmäntel mit innerem Druck.

7. Die Kesselmäntel sollen, wenn zeitweise Vakuum in denselben entstehen kann, mindestens so stark gebaut sein, daß sie einem äußeren Drucke von 1 Atmosphäre mit Sicherheit widerstehen können.
8. Die aufzustellende Formel für die Berechnung der Wandstärken von Kesselmänteln muß gestatten, den Werth der absoluten Festigkeit des zu verwendenden Materials in Rechnung zu ziehen.
9. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit ist in die Formel für Mantelbleche eine Konstante einzusetzen, deren Größe den örtlichen Betriebseinflüssen anzupassen ist; für Feuerplatten ist ein weiterer Zuschlag zu empfehlen.
10. Die unter Erwähnte Konstante wechselt zwischen 0 und 3 mm Flammrohre.

Flammrohre mit äußerem Druck.

11. Glatte Flammrohre sollen die genügende Widerstandsfähigkeit gegen Eingedrücktwerden besitzen, ohne Rücksichtnahme auf Versteifungen. Versteifungen sind in diesem Falle nur als Sicherheits-Konstanten anzusehen. Diesen Grundsätzen entsprechend sind folgende Formeln festgestellt:
 - a) für Kesselmantelbleche (die innerem Druck zu widerstehen haben)

$$\delta = \frac{2500 \cdot D \cdot p}{K \cdot z} + C$$

- b) für die Bleche glatter Flammrohre (äußerer Druck)

$$\delta = 1,8 \cdot D \cdot p + 4 \text{ mm}$$

worin bedeuten:

- δ -- Blechstärke in Millimetern
- D -- den Durchmesser in Metern
- p -- den Ueberdruck in Atmosphären
- K -- die Zerreißfestigkeit des Materials in Kilogramm für ein Quadratmillimeter,
- z -- Anzahl der Procente der Blechfestigkeit in der Längsnaht,

C == Konstante, zwischen 0 bis 3 mm betragend.

Ferner sind, da im Absatz 4 verlangt wird, daß die Festigkeit der Niete gegen Abscheerung mindestens gleich der Festigkeit des Bleches in der Nietnaht sein solle, folgende Formeln für die Vernietung vorgeschlagen:

$$d = \frac{45 \delta}{15 + \delta} \text{ und}$$

$$\text{für einfache Nietung } e = \frac{300 d}{106 + d}$$

$$\text{für doppelte Nietung } e_1 = \frac{500 d}{132 + d}$$

worin bedeuten:

- d — Durchmesser des Nietloches in Millimetern,
 δ — Blechstärke in Millimetern,
 e und e_1 — Entfernung von Mitte zu Mitte der Niete in Millimetern.

VII. Art und Gestalt der Kessel.

Der Lage nach unterscheidet man zunächst liegende und stehende Kessel. Erstere sind in sehr überwiegender Anzahl im Gebrauche, weil sie den stehenden gegenüber mehrfache Vorzüge besitzen, als da sind: größere Sicherheit bezüglich der Aufstellung, größerer Wasserspiegel und geringere Höhe des Wasserraumes, Beides günstig für die Erzeugung trockenen Dampfes; ferner bessere Ausnutzung der Wärme, bequemere Bedienung und Reinigung u. s. w.

Den stehenden Kesseln dagegen gebührt der Vorzug, daß sie zu ihrer Aufstellung eine geringere Grundfläche erfordern, und aus diesem Grunde findet man sie, außer bei beweglichen Maschinen für das Kleingewerbe, auch häufig in Hüttenwerken.

Eine andere Eintheilung der Kessel gründet sich auf das Verhältniß des Wasserraums zur Heizfläche und hiernach unterscheidet man: Kessel mit großem, mittlerem und kleinem Wasserraum. In Hinsicht auf die Anordnung der Feuerung unterscheidet man Kessel mit Unter-, Zwischen-, Vor- und Innen-Feuerung. Bezüglich der Anordnung der Feuerzüge unterscheidet man Flammrohr-, Siederohr- und Vorkärmerkessel, sowie Gleichstrom- und Gegenstromkessel u. s. w. Außerdem giebt es Wasserröhrenkessel, Feuerröhrenkessel, Gliederkessel, Batteriekessel, Bombenkessel, Lokomotivkessel, Lokomobilkessel, Schiffskessel u. s. w.

Die sonst wohl noch vorkommende Eintheilung der Kessel in Hoch-, Mittel- und Niederdruckkessel, entsprechend der gleichen Klassifizierung der Dampfmaschinen, hat heutzutage keinen Werth mehr, da man durchaus nicht nöthig hat, für jede Art des Dampfverbrauchs anders konstruirte Kessel anzuwenden, wie später nachgewiesen werden wird.

Nach den Bestimmungen des Bundesraths des deutschen Reiches für die Statistik der Dampfkessel ist folgende Eintheilung gemacht worden:

1. Einfache Walzenkessel,
2. Walzenkessel mit Siederöhren,
3. Engröhrige Siederohrkessel oder sogenannte Gliederkessel
 - a) mit Siederöhren bis zu 10 cm Weite
 - b) " " über 10 cm bis 15 cm Weite
4. Flammrohrkessel mit 1 Flammrohr

5. Flammrohrkessel mit 2 Flammröhren
6. " " " Quersiedern
7. Heizröhrenkessel ohne Feuerbüchse
8. Feuerbüchsenkessel mit Feuerröhren
 - a) mit vorgehenden Feuerröhren
 - b) mit rücklehrenden Feuerröhren
9. Feuerbüchsenkessel mit Siederöhren.

In Folgendem mögen nun die hauptsächlichsten Kesselsysteme angeführt und besprochen werden.

1. Der einfache Zylinder- oder Walzenkessel. Figur 32.

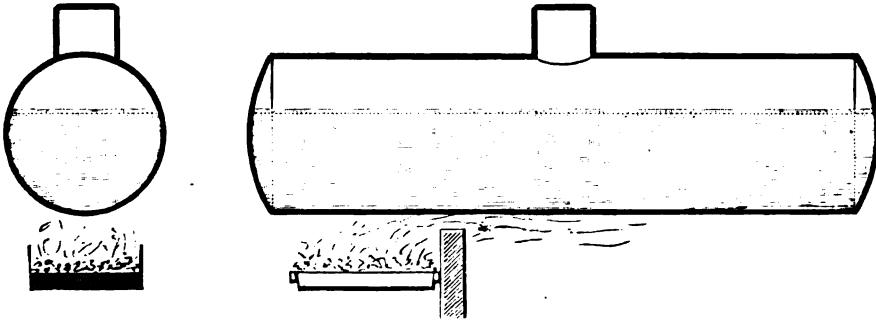


Fig. 32.

Der Walzenkessel ist der einfachste aller Dampfkessel; er besteht nur aus einem hohlen Blechzylinder, der an beiden Enden mit gewölbten Böden geschlossen ist. Oben trägt er gewöhnlich einen sogenannten Dom, d. i. einen kurzen, zylindrischen Aufsatz von mäßiger Weite zur Anbringung des Dampf- ablaß- und des Sicherheits-Ventils.

Dieser Kessel bietet einen großen Raum für Wasser und für Dampf, hat auch einen großen Wasserpiegel und liefert daher trockenen Dampf. Ferner ist derselbe bequem zu befahren und kann also leicht gereinigt werden; er erhält gewöhnlich eine Unterfeuerung und die Heizgase bespülen die untere Hälfte des Mantels; seine Heizfläche ist daher verhältnismäßig klein.

Da der Kessel bei großem Durchmesser auch eine große Blechdicke erfordert und seine Länge auch nicht allzugroß genommen werden kann, so wird er nur für kleine Anlagen von 1 bis etwa 15 Quadratmeter Heizfläche Anwendung finden. Bei einem Durchmesser von 1,2 m und 8 m Länge würde seine Heizfläche 15,63 qm betragen, wenn man das Verhältnis des Dampfraums zum Wasserraum etwa $\approx 1 : 2$ nimmt, wobei nur der halbe Zylindermantel von den Heizgasen bespült werden darf. Bei

einer solchen Größe würde er wegen der Feuerzüge und der Ummauerung schon eine Grundfläche von $9.2 = 18$ m beanspruchen. Offenbar würden bei solchem Kessel die Heizgase nur schlecht ausgenützt, wenn ihn dieselben nur in einer Länge bestreichen sollten; deshalb führt man die Feuergase gewöhnlich zunächst unter dem Kessel nach hinten, läßt sie dort aufsteigen und an einer Seite nach vorn ziehen, wo sie die vordere Stirnwand umgehend nach der anderen Seite gelangen und diese bespülend, schließlich ihren Weg nach dem Fuchse nehmen.

Die Dauer dieses Kessels ist trotz seiner Einfachheit doch nicht so groß, als man vermuthen sollte, woran hauptsächlich seine bedeutende Wanddicke und sein großer Wasserraum schuld ist. Zunächst muß wegen des dicken Blechs, namentlich die Feuerplatte (der Theil der Kesselwand, welcher sich über dem Rost und der Feuerbrücke befindet) besonders stark angegriffen werden, wie dies früher schon auseinander gesetzt worden ist. Dies Uebel wird noch erhöht durch den Umstand, daß in dem Kessel eine zweckmäßige Wasserströmung fehlt, und die, nur im geringen Grade vorhandene es mit sich bringt, daß gerade über der Feuerplatte sich Schlamm und Kesselstein anhäufen, was zum Erglühen und Durchbrennen des Blechs Veranlassung geben kann. Außerdem ist für solche Kessel aber auch die darin befindliche große Wassermasse Ursache für einen Verschleiß derselben.

Weil der Kessel nur für kleine Anlagen im Gebrauche ist, die auch nur selten in stetem Betriebe sind, so findet sehr häufig eine Erkaltung des Kessels und seines Inhaltes statt. Da nun bei der Verbrennung der Brennstoffe sich immer mehr oder weniger Wasserdampf bildet, der mit den Heizgasen fortzieht, so wird sich derselbe an der kalten Kesselwand verdichten und das gebildete Wasser verursacht dann, daß sich der Kessel an den, mit den Heizgasen in Berührung kommenden Stellen mit Rost bedeckt. Ist die Kesselwand über 100° warm geworden, so hört das Beschlagen derselben durch den Wasserdampf allerdings auf. Die entstandene Rostschicht wird aber beim nächsten Anheizen von, sich abermals niederschlagendem Wasser durchdrungen, und da die Verdunstung dieses Wassers jetzt nur durch die Wärme von innen erfolgen kann, so bildet sich zwischen der ersten Rostschicht und dem Kesselblech neuer Rost, und so nutzt sich der Kessel im Laufe der Jahre mehr ab, als es bei Kesseln mit kleinem Wasserraum der Fall ist, Geschäfte dieses Verrostens nun ganz gleichmäßig, so hätte der Verschleiß hierdurch keine so große Bedeutung; erfahrungsgemäß sind es aber gerade einzelne Stellen, an welchen die Rostbildung vorzugsweise sehr energisch vor sich geht, und dies erklärt es, daß auch dieser einfachste aller Kessel keine unbegrenzte Dauer haben kann.

Da endlich der Kessel einen großen Raum einnimmt, so ist auch die Abkühlungsfläche eine große und es ist zu empfehlen, das ganze Mauerwerk und alle bloß liegenden Theile des Kessels, so gut es angeht, durch Isolirung und Umhüllung gegen Wärme-Verluste zu schützen.

2. Der zusammengesetzte Walzenkessel.

Um eine größere Heizfläche zu erzielen, werden Walzenkessel in der verschiedensten Weise theils unter, theils neben einander gelegt und so mit einander in Verbindung gebracht, daß sie zusammen als ein Kessel in Gebrauch kommen.

Da zwei über einander angeordnete Walzenkessel keine größere Grundfläche beanspruchen, als ein einziger, der Zuwachs an Heizfläche dabei aber ein sehr bedeutender ist, weil man den unteren, der stets vollständig mit Wasser angefüllt bleibt, ganz ins Feuer legen kann, während nur der obere einen Dampfraum erhält, so ist von solchen Verkuppelungen von zwei oder mehr Walzenkesseln sehr häufig Gebrauch gemacht worden.

Hierbei lassen sich zwei Systeme unterscheiden, nämlich:

- a) die sogenannten Bouilleur- oder Siederkessel, bei welchen die unten liegenden Zylinder befeuert werden und die oberen erst die zweite Hitze empfangen und
- b) die Vorwärmerkessel, d. h. Kessel mit Zwischenfeuerung, bei welchen der Oberkessel die erste, und der, oder die Unterkessel die zweite Hitze empfangen.

a) Der Bouilleur- oder Siederkessel.

a) Der Doppel- oder Einsiederkessel. Figur 33.

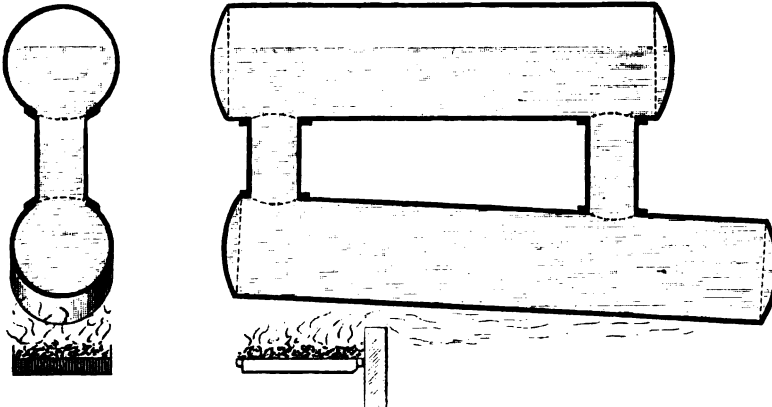


Fig. 33.

Der einfachste Siederkessel besteht aus zwei liegenden, lothrecht über einander befindlichen Walzenkesseln, welche durch zwei, bei großen Kessellängen auch mehr, kurze aber weite Hälse oder Rohrstützen so mit einander verbunden sind, daß der Unterkessel, welcher hier den Namen Bouilleur oder Sieder führt, stets vollständig mit Wasser angefüllt ist, und nur der Oberkessel einen Dampfraum hat.

Der Koft wird unter den Unterkessel gelegt, und die Heizgase können den ganzen Sieder und etwa die Hälfte von dem Mantel des Oberkessels umspülen, so daß eine große und auch wirksame Heizfläche erhalten wird. Da man bei der hierdurch erzielten bedeutenden Vergrößerung der Heizfläche nicht nöthig hat, den Durchmesser der beiden Zylinder sehr groß zu nehmen, so braucht auch die Blechdicke derselben nicht groß zu sein, und da andererseits in solchem Kessel eine lebhafte Wasserströmung stattfindet, sobald er richtig konstruirt ist, so wird die Heizfläche auch eine recht wirksame sein. Das Speisewasser wird etwas hinter dem vorderen Stutzen in den Oberkessel eingeführt und ihm eine Richtung nach hinten gegeben. Der Sieder wird mit seinem vorderen Ende höher gelegt als hinten, damit die sich in demselben frei machenden Luft- und Dampfblasen leicht durch den vorderen Stutzen in den Oberkessel aufsteigen und nach dem Dampfraum gelangen können.

Gleichzeitig mit dem Dampfe steigt aber auch das, durch die erste Hitze im Sieder heißer, und dadurch spezifisch leichter gewordene Wasser durch den vorderen Hals nach oben und wird durch das minderheiße und von Dampfblasen befreite, daher spezifisch schwerere Wasser aus dem Oberkessel ersetzt, das durch den hinten befindlichen Hals nach dem tiefsten Theile des Sieders herabsinkt. Hierdurch entsteht in dem Wasser des Kessels ein ununterbrochener Kreislauf, der durch das eingeführte Speisewasser noch beschleunigt wird. Trogdem ist es aber auch hier nicht zu vermeiden, daß bei unreinem Wasser sich über der Feuerplatte des Unterkessels Schlamm und Kesselstein anhäuft, was unter Umständen Veranlassung zum Durchbrennen des Kesselblechs u. s. w. werden kann, obgleich sich die entstehenden Niederschläge hier über die ganze untere Fläche beider Kessel vertheilen, und daher die Anhäufungen an einer bestimmten Stelle nicht so groß werden können, wie bei dem einfachen Walzenkessel.

Die Führung des Feuerzuges erfolgt am besten so, daß die Feuergase vom Kofte ausgehend den Sieder vollständig umspülen, hinten aufsteigen und zunächst unter dem Oberkessel nach vorn ziehen, wo sie sich zu beiden Seiten theilen, um auch die Seitenflächen zu bespülen, sich dann hinter dem Oberkessel wieder zu einem Strome vereinigen, um ihren Weg nach dem

Schornstein zu nehmen. Ueber dem Sieder ist daher ein flaches Gewölbe gespannt, das im Scheitel der Leitung auf dem Sieder aufliegen kann, während zwei schmale Mauerzungen die Seitenzüge von dem Unterzuge am Oberkessel trennen.

Damit sich im Unterkessel in keinem Falle Luft- oder Dampfblasen ansammeln können, muß die Steigung desselben nicht zu gering sein und der vordere Stutzen am höchsten Punkte des Sieders angebracht werden, was leicht dadurch zu bewirken ist, daß man den, über den Hals hervorragenden Theil des Sieders konisch verjüngt; dadurch erreicht man, daß die Scheitellinie des Sieders vom Vorderstutzen aus nach beiden Seiten hin abfällt. Da man bei einer derartigen Verbindung zweier Walzentessel zu einem Doppelkessel in keiner Hinsicht beschränkt wird, so kann man auch den Dampf- und Wasserraum ganz dem Bedürfnisse entsprechend einrichten, also sowohl trockenen Dampf erzeugen, als auch in der Wassermasse eine genügende Menge Wärme, selbst für den unregelmäßigsten Dampfverbrauch aufspeichern.

Damit der Kessel in allen Theilen leicht zugänglich sei und leicht gereinigt werden könne, soll der Unterkessel nicht unter 550 mm weit sein. Dem Oberkessel giebt man wegen des Dampfraumes in der Regel einen größeren Durchmesser. Man findet den Durchmesser der Oberkessel von 900 mm bis 1200 mm bei einer Länge der Kessel bis zu 10 m, während die Sieder in der Regel 600 mm bis 800 mm im Durchmesser groß sind.

Die beiden, die Kessel verbindenden Stutzen dürfen nicht zu eng sondern sollen etwa 500 mm weit, auch von stärkerem Bleche gemacht sein, als dieser Durchmesser für andere Theile es erfordern würde. Die Stutzen haben nämlich die ganze Last des Oberkessels zu tragen, und bleiben auch nicht frei von Spannungen, welche durch die ungleiche Ausdehnung des Ober- und Unterkessels hervorgerufen werden. Ein Kessel von 8 m Länge mit einem Oberkessel von 1,2 m und einem Sieder von 0,8 m Durchmesser würde eine Heizfläche von etwa 38 qm haben.

Ein Doppelkessel hat bei einer wirksamen Heizfläche nur ein geringes Gewicht, ist leicht zu reinigen, erfordert keinen sehr großen Raum, die Abkühlungsfläche ist ebenfalls nicht bedeutend und Ausbesserungen sind nicht leicht zu erwarten. Ein Uebelstand liegt darin, daß ein Siederkessel sich hoch aufbaut, weil sich die Feuerung unter dem Unterkessel befindet, in Folge dessen seine Wartung und Beobachtung unbequem wird. Mißlich ist es auch, daß die Verbindung beider Kessel nur am Orte der Aufstellung geschehen kann, weil die Beförderung des fertig zusammengesetzten Doppelkessels zu unbequem sein würde.

β Der Zweifiederkeffel. Figur 34.

www.libtool.com.cn

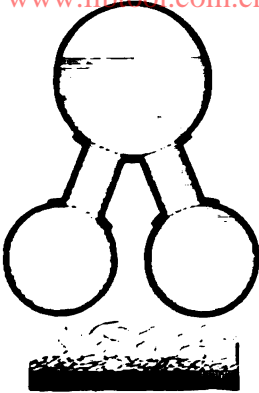


Fig. 34

Der Zweifieder- oder *Woolf'sche* Keffel unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur dadurch, daß er anstatt eines Unterkeffels, deren zwei hat, wodurch eine dem entsprechenden größere Heizfläche erhalten wird. Es gilt für denselben alles schon vorher Gesagte ebenfalls. Jeder der beiden Sieder muß selbstverständlich durch 2 oder mehr Stutzen mit dem Oberkeffel verbunden sein und weil der Mantel des Oberkeffels durch die Löcher für die Halslöcher geschwächt wird, sind die Bleche, an welche die Stutzen anzumieten sind, 2 mm stärker als die übrigen Mantelbleche zu nehmen. Die Vernietung der Stutzen ist doppeltreilig auszuführen und es ist auch dafür Sorge zu tragen, daß die Halslöcher in den Mantelblechen nicht zu nahe aneinander kommen; sie werden deshalb besser verjagt, d. h. nicht in dieselbe lothrechte Querschnittsebene gelegt.

γ Der Dreifiederkeffel. Figur 35.

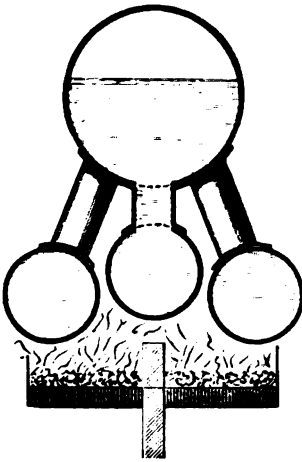


Fig. 35

Bei diesem, der auch *Elläcker* Keffel genannt wird, sind 3 Sieder mit einem Oberkeffel in Verbindung gebracht und dadurch die Größe der Heizfläche demgemäß noch weiter erhöht. Die Fenerung wird hier besonders gut ausgenutzt, weil die 3 Sieder über dem Roste der strahlenden Wärme von der glühenden Brennstoffschicht eine große Oberfläche zuzehren, also viel Wärme aufnehmen können. Der Mantel des Oberkeffels wird durch die vielen Halslöcher hier noch mehr geschwächt, und es sind demnach angemessene Verstärkungen vorzunehmen. Auch darf der Manteldurchmesser des Oberkeffels nicht zu klein gewählt werden. Von besonderer Wichtigkeit ist es auch, daß in

den Siedern in keinem Falle sich irgendwo Luft oder Dampf ansammeln könne, wodurch die Kesselwände theilweise vom Wasser entblößt würden, und durchbrennen könnten.

b) Vorwärmerkessel.

Bringt man bei zusammengefügten Walzenkesseln die Feuerung unmittelbar unter dem Haupt- oder Oberkessel an, und läßt die Feuergase erst nachdem sie diesen umspült, also die größte Hitze bereits abgegeben haben, zu den darunter oder daneben liegenden Zylindern treten, während man das kalte Speisewasser an der tiefsten Stelle des Unterkessels in diesen einführt, so nennt man dieses System: Vorwärmerkessel.

Bei richtiger Anordnung soll hierbei der Weg, den die Heizgase machen, demjenigen gerade entgegengesetzt gerichtet sein, welchen das Speisewasser von dem Punkte an, wo es in den Kessel eintritt, bis dorthin macht, wo die stärkste Verdampfung desselben stattfindet. Man nennt daher einen solchen Kessel einen Gegenstromkessel und erreicht durch solche Anordnung den Vortheil, daß die Heizgase viel weitgehender ausgenutzt werden können, als dies bei andern Systemen möglich, bei denen die Temperatur in den einzelnen Zylindern eine nahezu gleiche ist.

Da das kalte Speisewasser an der tiefsten Stelle des Unter- oder Nebenkessels eingeführt wird, steigt es nur allmählig auf, und zwar genau in dem Verhältnisse, in welchem Dampf im Oberkessel entwickelt wird; gleichzeitig wird es auch nur nach und nach wärmer, bis es schließlich im Oberkessel zur Verdampfung gelangt. Von einer Wasserströmung, wie beim Siederkessel, kann hier natürlich keine Rede sein, diese wird sogar absichtlich dadurch verhindert, daß man die einzelnen Kessel nur mit je einem Halse mit einander in Verbindung bringt, durch welchen das Wasser nur nach oben steigen kann. Da nun die Heizgase, wo sie am heißesten sind, auch den heißesten Theil des Kessels, d. i. den Oberkessel über dem Roste, und dort, wo sie am weitesten abgekühlt sind, den kältesten Kesseltheil, also den tiefsten Punkt des Unterkessels berühren, der Temperaturunterschied zwischen Heizgasen und Kesselfläche also überall groß ist, so folgt, daß die Heizgase bei dieser Anordnung sich am weitesten abkühlen können, also am besten ausgenutzt werden.

Die Kesselwand am letzten Ende des Unterkessels, wo das kalte Speisewasser eintritt, wird eine Temperatur haben, die abhängig ist von der Wärme des Speisewassers, die aber in der Regel weit unter 100° liegt, und diese besitzt in Folge dessen eine weit größere Wärmeaufnahmefähigkeit als z. B. die Kesselwand eines Siederkessels, welche mindestens die Temperatur des Dampfes besitzt, der in diesem erzeugt wird.

Eine der besten Anordnungen eines Gegenstromkessels wird durch Figur 36 erläutert.

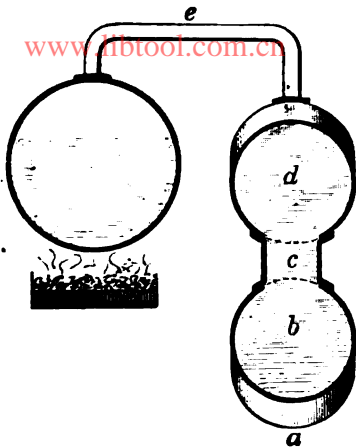


Fig. 36.

Der Kessel besteht aus einem Hauptkessel mit Unterfeuerung und zwei daneben liegenden Vorwärmer-Zylindern, die vorn an der konvergierenden Stelle durch einen Stutzen in Verbindung gebracht sind, während die Verbindung dieses Doppelt-Vorwärmers mit dem Hauptkessel durch ein Uebersteigerrohr bewerkstelligt ist. Die Speisung erfolgt bei a; das Wasser steigt im Unterkessel b langsam auf, geht durch den Stutzen c und nimmt seinen Weg durch den oberen Vorwärmer d. Von hier aus gelangt es durch den Uebersteiger e in den Hauptkessel, in

welchem die Verdampfung stattfindet.

Damit alle Luft, die aus dem Wasser frei wird, so wie der Dampf, der sich schon im Vorwärmer bilden könnte, leicht und sicher mit dem aufsteigenden Wasser bis nach dem Oberkessel gelangen kann, muß jedem der beiden Vorwärmer eine nicht zu geringe Neigung gegeben werden und es müssen die einzelnen Schiffe der Vorwärmer so zusammengesetzt sein, daß sich an keiner Stelle Luft oder Dampfblasen verhalten können.

Die Heizgase dagegen umspülen zunächst die untere Hälfte des Oberkessels, werden hinten um den Boden desselben herum nach dem höchsten Punkte des Doppelt-Vorwärmers geleitet, umspülen denselben ringsum, kommen nach vorn, nehmen hier ihren Weg nach unten, bespülen hier wieder den Unterkessel von allen Seiten und verlassen denselben an der Stelle, wo das kalte Speisewasser eingeführt wird. Durch diese Anordnung ist man im Stande, den Heizgasen fast alle Wärme zu entziehen, sobald man sie lange genug mit der Kesselwand in Berührung läßt; aus diesem Grunde hat man früher mit Vorliebe Gegenstromkessel ausgeführt und in Gebrauch genommen. Der hierdurch erreichte Vortheil wird aber mit Opfern erkauft, die viel bedeutender sind, als jener, und deshalb ist man mit Recht davon zurückgekommen, von dem Gegenstromprinzip ferner noch Gebrauch zu machen. Wie nämlich schon bei dem einfachen Walzenkessel gesagt wurde, führen die Heizgase immer eine gewisse Menge Wasserdampf mit sich, welcher bei der Verbrennung entstanden ist. Kommen nun diese Heizgase mit solchen Heizflächen in Berührung, die eine Temperatur besitzen, welche unter 100° liegt, so schlägt sich daran der Wasserdampf nieder; in dem entstandenen nassen Beschlage löst sich auch schweflige Säure u. s. w. welche von dem Schmel-

gehalt der Steinkohlen u. s. w. herrührt, und dies veranlaßt, daß diese Kesselwandungen sehr schnell verrosten und der Kessel in kurzer Zeit ausbesserungsbedürftig, wenn nicht ganz unbrauchbar wird.

Wo man demnach einen derartigen Kessel im Betriebe behalten, und vor einer raschen Zerstörung retten wollte, hat man entweder das Gegenstrom-Prinzip, oder die Speisung des Kessels mit kaltem Wasser aufgeben müssen, wodurch der Kessel dann noch für lange Zeit betriebsfähig blieb.

Außerdem dürfte wohl auch der Vortheil, den man durch eine so sehr weitgehende Ausnutzung der Heizgase zu erreichen im Stande ist, meistens illusorisch sein; denn so sehr weit abgekühlte Heizgase können den erforderlichen Schornsteinzug nicht erzeugen, und wenn in diesem Falle der Zug künstlich verstärkt werden muß, dann muß dazu wieder Dampf geopfert werden.

Eine Unänderung der Befuerung von Vorwärmerkesseln ist durch v. Reiche angegeben und mit recht gutem Erfolge mehrfach ausgeführt worden. Da nämlich die Wärmeübertragung eine ungleich bessere ist, wenn der Strom der Heizgase, anstatt parallel daran entlang zu ziehen, die zu beheizenden Flächen möglichst rechtwinkelig trifft, wodurch zugleich eine recht günstige Vermischung der Heizgase herbeigeführt wird, so hat v. Reiche die Beheizung von solchen Doppelkesseln so eingerichtet, daß durch Anlage von Heizkammern, anstatt der mit dem Kessel parallelen Feuerzüge, die Heizgase gezwungen werden, ihre Richtung vielfach so zu ändern, daß sie gegen die Kesselwandungen wiederholt fast rechtwinkelig anströmen. Dies wird erreicht durch mehrere, theils stehende, theils hängende Feuerbrücken, welche die Heizgase schlangenförmig und zwar abwechselnd nach oben und nach unten führen, wobei dieselben gleichzeitig den Ober- und auch den Unterkessel bespülen müssen. Die Länge der, durch die lothrechten Querwände gebildeten Kammern nimmt vom Roste nach dem Fuchse hin ungefähr in dem Verhältnisse ab, wie sich das Volumen der Heizgase in Folge der Abkühlung vermindert.

Figur 37 zeigt dieses Heiz- und Kesselsystem nach v. Reiche's „Anlage und Betrieb der Dampfkessel“, 3. Auflage.

Die hier dargestellte Anlage ist für Braunkohlen eingerichtet, und deßhalb ist der Feuerungsraum über die Hälfte mit einem feuerfesten Material überwölbt. Für Steinkohlenfeuerung würde diese Ueberwölbung fortfallen und der Oberkessel bis zu seinem Austritt aus der vorderen Mauerfläche reichen, der Wasserstandsdom demnach ebenfalls entbehrlich sein.

Die Heizgase treten aus dem Feuerungsraum A über die erste Feuerbrücke a in die Heizkammer I, wo sie einen Theil des Oberkessels, sowie den Kopf des Unterkessels, (leider aber auch den Verbindungsstutzen s) um-

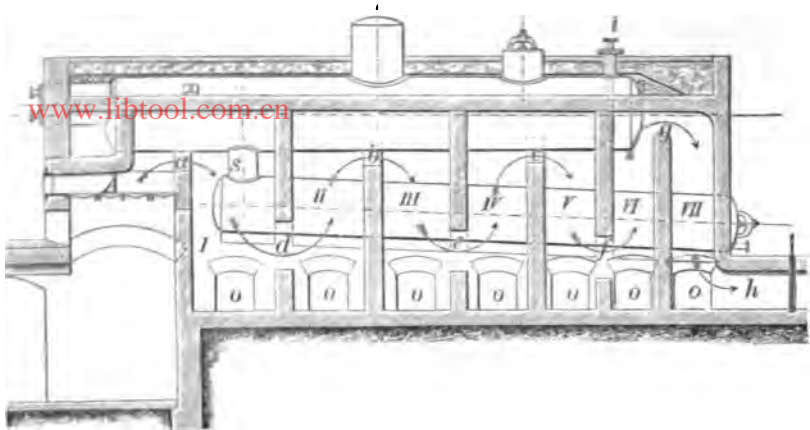


Fig. 37.

spülen; ziehen unter der hängenden Wand *d* in die Heizkammer II, umspülen hier von allen Seiten den Unterkessel und den untern Theil des Mantels vom Oberkessel, ziehen über die stehende Feuerbrücke *b* hinweg, und treten in die Heizkammer III. Von hier strömen sie unter der hängenden Wand *e* in die Heizkammer IV, und so in derselben Weise, ihren Weg in einer abwechselnd auf und niedergehenden Schlangenlinie nehmend, durchziehen sie die folgenden, nach und nach enger werdenden Heizkammern, um aus der mit VI bezeichneten (damit auch das letzte Ende des Oberkessels gut beheizt werde) über die besonders hochgeführte Feuerbrücke *g* hinweg durch die letzte Heizkammer VII, in den Fuchs *h* zu gelangen.

Damit die, bei leichter Braunkohle von den Feuergasen reichlich mitgeführte Flugasche den Zugquerschnitt nicht verenge, sind die Heizkammern tiefer angelegt, als es sonst nöthig wäre, und durch stehende Wände unter den hängenden, sind Abtheilungen *O* gebildet, in welchen sich ziemlich viel Flugasche ansammeln kann, bevor ihre Beseitigung nothwendig wird. Das Fortschaffen der Asche aus diesen Abtheilungen muß hier von der Seite aus erfolgen, und wird deshalb ziemlich beschwerlich, auch erfordert es bei großen Anlagen mit mehreren Kesseln, daß zwischen je 2 derselben, der Länge nach ein Durchgang frei gelassen werde, aus welchem seitliche Zugänge zu den Abtheilungen *O* führen, die während des Betriebes durch eine, $\frac{1}{2}$ Stein starke gemauerte Wand einzeln abgesperrt werden müssen. Der Schornsteinzug muß bei diesem System natürlich ein sehr kräftiger sein.

Das Speisewasser wird in den Oberkessel durch den Strögen *i* am hinteren Ende eingeführt und dadurch natürlich vermieden, daß die Temperatur in irgend einem Kesseltheile unter 100° sinke, und sich, wie bei den

Vorwärmerkesseln, an der Außenfläche Wasser aus dem Dampfe der Heizgase niederschlagen, was zur Rostbildung führen müßte. Leider wird hierdurch aber auch jede Wasserströmung aufgehoben, die für eine gute Dampferzeugung gerade nothwendig ist, wie wir früher nachgewiesen haben.

Da der Ober- und Unterkessel nur mit einem Stutzen verbunden ist, durch welchen demnach sowohl der im Unterkessel erzeugte Dampf und das Dampfwasser aufsteigen, als auch gleichzeitig das zum Ersatz des, im Unterkessel verdampften Wassers nothwendige Speisewasser niedersinken muß, so kann von einer Wasserströmung weder im Unter- noch im Oberkessel eine Rede sein. Das Wasser des Unterkessels vermehrt demnach nur die Wassermasse, welche zur Aufspeicherung einer großen Wärmemenge für recht unregelmäßigem Dampfverbrauch günstig ist, wie dies auch in jedem anderen Großwasserraumkessel der Fall ist.

Eine recht wesentliche Verbesserung würde daher dies Kesselsystem erfahren, wenn eine kräftige Wasserströmung z. B. dadurch ermöglicht würde, daß das Speisewasser nicht am hintern Ende des Oberkessels, sondern etwa in der Mitte desselben eingeführt, und der Ersatz des im Unterkessel verdampften Wassers durch ein Uebersteigerrohr in letzteren eingeführt würde, welches vom hintern Ende des Oberkessels ausgehend, in das tiefste Ende des Unterkessels einmündend müßte. Die Lage des Verbindungsstuzens zwischen Ober- und Unterkessel welcher der unmittelbaren Wirkung der über die erste Feuerbrücke a schlagenden Stichflamme ausgesetzt ist, kann auch nicht als günstig bezeichnet werden und wäre wohl zweckmäßiger Weise mit einer Umkleidung von Chamotte Masse zu schützen.

Die Vorwärmer dieser Kessel liegen gewöhnlich unter dem Fußboden, so daß sie leicht der Feuchtigkeit und dem Grundwasser ausgesetzt sind und ihre Stüge meistens so eng sind, daß ein Befahren unmöglich ist, so wird man Undichtigkeiten und Zerfressen erst später entdecken.

Weinlig hat daher*) bei sämmtlichen Kesseln mit unten liegenden Vorwärmern das Freilegen dieser angeordnet und in Folge dessen viele und schwere Fehler aufgefunden.

Einer dieser Vorwärmer war so verrostet, daß er mit Leichtigkeit durchgeschlagen werden konnte, während in mehreren anderen Fällen in Folge von Undichtigkeiten die Mähte der Vorwärmer mehr oder weniger angefressen waren. In einigen Fällen war durch mangelhafte Unterstützung der Vorwärmer ein Verbiegen der einzelnen Schiffe und Verrosten an den Mähtstellen aufgetreten.

Alle diese Erscheinungen geben Veranlassung, bei den Revisionen die

*) Jahresbericht des Magdeburger Kesselvereins 1886.

höchste Maßmaß unter der Voraussetzung genommen und weil diese schwer zu ändern ist, ist es wichtig es zu berücksichtigen, daß das Kammermaß alle 3—4 Jahre in der geüblichen Weise erneuert wird.

3. Kammerkessel.

Um Kessel von größerer Heizfläche zu erhalten, kann auch eine Veränderung von zwei Umständen in der Sache stattfinden. Daß man den einen derselben in einer bestimmten Richtung von gleicher Länge erstreckt, und nach Beschluß des Durchschneidenden, nachher einen bestimmten Durchmesser einen Kessel bildet, bei welchem dieser Durchmesser den Höhen- und Kammermaß darstellt.

Hierdurch wird die Heizfläche um die Durchmesser des inneren Zylinders, welche in ihrer ganzen Ausdehnung als Heizfläche Verwendung finden kann, vergrößert — ohne daß man eine größere Heizfläche für die Aufstellung des Kessels nötig hätte, als für einen einfachen Kessel von denselben äußeren Abmessungen. Bei einer solchen Verbindung nennt man den engeren, inneren Zylinder ein Kammerrohr und den so gebildeten Kessel einen Kammerkessel.

Die Größenverhältnisse eines Kammerkessels können aber nicht beliebig gewählt werden, wie aus Nachstehendem leicht ersichtlich wird. Der innere Zylinder dient hier als Heizung, wovon sich folgerichtig ergibt, daß seine Werte eine angemessene Größe haben muß, nach welcher der Durchmesser zu bestimmen ist. Der Durchmesser des äußeren Zylinders aber ist mindestens so groß zu nehmen, daß der Hohlraum geräumig genug sei,

1. um dem Wasser und Dampfe ausreichenden Raum zu gewähren, deren Mengen, bezw. dessen Rauminhalt von der Art des Betriebes abhängig ist, für welchen der betreffende Kessel Dampf liefern soll;
2. um befahren werden zu können, was durchaus nothwendig ist, sowohl wegen der Reinigung des Kessels von Schlamm und Kesselstein, als auch für die unerläßliche innere Untersuchung, sowie für die Befestigung der Kessel-Ausrüstungsstücke, behufs auszuführender Ausbesserungen u. s. w.

Hieraus geht schon hervor, daß sich Kammerkessel nur für einen großen Betrieb eignen.

Um die Heizfläche noch mehr zu vergrößern, bezw. um die Heizgase noch besser auszunutzen, versieht man Kessel anstatt mit nur einem, auch mit zwei oder selbst drei Flammrohren, und hiernach unterscheidet man, abgesehen von noch weiteren Zusammenstellungen: Einflammrohrkessel, Zweiflammrohrkessel und Dreiflammrohrkessel.

a) Der Einflamrohrkessel. Figur 38.
www.libtool.com.cn

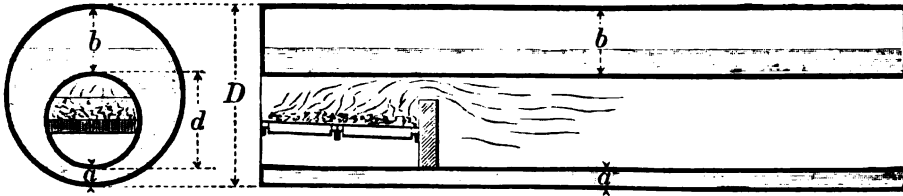


Fig. 38.

Wie bereits oben angegeben wurde, sind die Durchmesser der beiden, einen Flammrohrkessel bildenden Zylinder so zu bestimmen, daß der innere, als Feuerkanal dienende Zylinder diejenige Weite haben muß, welche der Zug verlangt, und welche, wie ebenfalls schon früher nachgewiesen, von der Rostgröße oder der Menge des in der Stunde zu verbrennenden Brennstoffs abhängig ist.

Der äußere Zylinder dagegen muß so groß sein, daß zwischen ihm und dem Flammrohre Raum genug vorhanden sei, um den Kessel befahren und reinigen, d. h. mit einem Hammer ausklopfen zu können. Dies erfordert, daß der kleinste Zwischenraum *a* Figur 38 zwischen Mantel und Flammrohr mindestens 15 cm und der größte *b* mindestens 60 cm betrage.

Nach v. Reiche ist, wenn *D* den Durchmesser des Mantels, und *d* den des Flammrohrs bezeichnet, der letztere zu nehmen: $d = \frac{D}{2} - 5$ cm.

Dann würde sich der geringste Durchmesser des Mantels ergeben: $D = 0,15 + 0,6 + d = 0,15 + 0,6 + \frac{D}{2} - 5$ woraus sich berechnet $D = 1,4$ m.

Nimmt man, wie angemessen, das Verhältnis von Heizfläche zu Zug d. h. also hier zu Flammrohrquerschnitt = 80 : 1 und setzt die größte Länge *L*, die man einen Flammrohrkessel geben soll, auf 11 Meter fest, so muß unter der Voraussetzung, daß die ganze Innenfläche des Flammrohrs und der halbe Umfang des äußeren Mantels als Heizfläche zu benutzen ist, die Gleichung stattfinden

$$\frac{D\pi}{2} + d\pi \cdot L = \frac{d^2\pi}{4}$$

Setzt man hierin annäherungsweise $d = \frac{D}{2}$, so ergibt sich $L = 5 D$

und daraus folgt wieder, wenn L höchstens 11 m sein darf, der größte Durchmesser $D = \frac{11}{5} = 2,2$ m.

Demnach waren die Abmessungen des kleinsten Einflamrohrkessels folgende: Äußerer Durchmesser $D = 1,4$ m
 Innere Durchmesser $d = \frac{D}{2} - 5 \text{ cm} = 0,7 - 0,05 = 0,65$ m
 Länge $L = 5D = 5 \cdot 1,4 = 7$ m.

Um die wirkliche, nutzbare Heizfläche dieses Kessels zu berechnen, würde man, das nicht die ganze Innenfläche des Flammrohrs als Heizfläche zu betrachten ist, sondern, da wegen der unvermeidlichen Aschenablagerung auf dem unteren Theile des Flammrohrs nur etwa $\frac{2}{3}$ derselben von den Wassern wirklich berührt wird, so berechnet sich die Heizfläche des kleinsten Einflamrohrkessels von obigen Abmessungen wie folgt:

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{D}{2} - d \right) \right) \pi \cdot L = \left(\frac{1,4}{2} \pi + \frac{2}{3} \cdot 0,65 \pi \right) 7 = \text{ca. } 25 \text{ Quadratmeter}$$

und im den größten Einflamrohrkessel, dessen Abmessungen folgende sind:

$$\text{äußerer Durchmesser } D = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Durchmesser der beiden Flammrohre } d = 1,05 \text{ m}$$

$$\text{Länge } L = 11 \text{ m}$$

berechnet sich die Heizfläche unter derselben Annahme wie oben zu

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{D}{2} - d \right) \right) \pi \cdot L = \left(1,1 + 0,7 \right) \pi \cdot 11 = \text{ca. } 62 \text{ qm.}$$

Bei Anordnung bei einem Flammrohrkessel kann sowohl eine Unter-, als auch eine Innenfeuerung sein.

Für einen Einflamrohrkessel ist eine Unterfeuerung zu verwerfen, weil bei einer solchen die Feuerplatte dann gar nicht zu erhalten ist. Nach dem engen Räume zwischen Flammrohr und äußerem Mantel, wo die stärkste Aschenablagerung wegen der dort herrschenden größten Hitze stattfindet, werden sich Aschen und alle Kesselsteinplitter, die vom Flammrohr und anderen Stellen sich abgelöst haben, von dem dorthin ziehenden Wasser mitgeschleppt und lagern sich dort an. Die Feuerplatte wird in Folge dessen bald so verunreinigt, daß eine Wärmeübertragung auf das Wasser aufhört, und weil die Aschen auch bei Kessel am unzugänglichsten, demnach am unbequemsten zu entfernen ist, so ist eine Unterfeuerung für Einflamrohrkessel ganz unzulässig.

Man sollte nicht für einen solchen, namentlich bei Anwendung geringen Wasserdampfdrucks, wie Braunkohlen u. s. w. eine zweckmäßige Vorfeuerung

am Platze sein, von welcher die Heizgase direkt in das Flammrohr zu führen sind.

Um jedoch den Rand, welcher durch die Verbindung des Flammrohrs mit der Stirnwand des Kessels gebildet wird, vor schneller Zerstörung durch die Stichtamme der Feuerung zu schützen, muß die Einmündung durch einen Ring von Schamotte- oder Asbestmasse bekleidet werden, welcher zugleich als Feuerbrücke dient und die zweckmäßige Einschnürung des Feuerkanals behufs der letzten Vollendung der Verbrennung der Rauchgase herstellt. Dieser Schamotte-Ring muß mindestens noch 10 cm in das Flammrohr hineinragen, und wenn bei kleinen Kesseln sich hierdurch eine zu starke Verminderung des Zugquerschnitts ergeben sollte, so ist es zweckmäßig, den ersten Schuß des Flammrohrs etwas weiter zu machen, als die des übrigen Theiles.

Der niedrigste Wasserstand im Kessel muß das Flammrohr an seiner höchsten Stelle mindestens noch um 10 cm überragen, was auch für die Seitenzüge des Kessels gilt. Bei dieser Anordnung kann dort, wo die Kesselwand die größte Hitze der Feuerung erhält, d. i. der Scheitel des Flammrohrs keine Ablagerung von Schlamm und Kesselstein, schon wegen der Form desselben, stattfinden; auch läßt sich dort der Kessel am leichtesten und vollkommensten reinigen. Die Ablagerung von Unreinigkeiten unter dem Flammrohre aber haben hier nicht soviel Bedeutung, weil sich solche dort nicht leicht festbrennen können.

Bei Anwendung von Innenfeuerung, die für Einflammrohrkessel nur dann zu empfehlen ist, wenn beste Kohle als Brennmaterial verwendet wird, muß vor Allem das Flammrohr eine für den Rost genügende Weite haben, damit die Rostlänge nicht für die Bedienung zu groß werde, und die bei Innenfeuerung besonders nothwendige Feuerbrücke den Zugquerschnitt nicht zu sehr verringere. Um letzteres zu vermeiden, pflegt man auch wohl den Rost hinten im Flammrohr etwas tiefer zu legen als vorn, was aber wegen der nach unten schnell abnehmenden Rohrweite nur in beschränktem Maße geschehen kann.

Die Führung des Feuerzuges bei Flammrohrkesseln kann eine verschiedene sein; in jedem Falle aber ist es aus dem schon angegebenen Grunde am rathsamsten, den ersten Zug durch das Flammrohr zu führen.

Für die Weiterführung des Feuerkanals ergeben sich dann folgende möglichen Anordnungen:

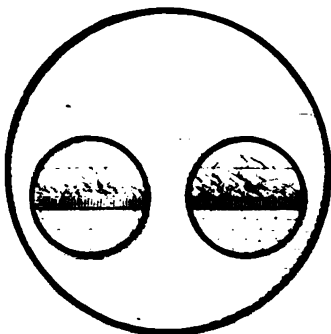
1. Man führt die aus dem Flammrohre kommenden Heizgase unter dem Kessel nach vorn, läßt sie sich dort in zwei Hälften theilen, von welchen die eine die rechte, die andere die linke Seite des äußeren Mantels

hinten vereinigen sich dann beide Ströme wieder zu einem,
 ~~von dem nach dem Schornstein zu ziehen.~~

- 2. Man thut den Zug schon bei seinem Austritt aus dem Flammrohre in zwei Hälften, läßt die Heizzase zu beiden Seiten parallel nach vorn ziehen, und führt sie nach ihrer Vereinigung unter dem Kessel entlang nach dem Schornsteine.
- 3. Man läßt die Heizzase aus dem Flammrohre ohne sie zu theilen erst auf einer Seite nach vorn ziehen, und führt sie von hier unter dem Kessel herum nach der andern Seite und wieder zurück nach dem Schornsteine. Die Trennung beider Züge, welche vom tiefsten Punkte des Kessels bis 10 cm unter dem niedrigsten Wasserstand im Kessel hinauf reichen, wird hierbei durch eine schmale Mauerzunge bewirkt, die dem Kessel zugleich als Auflage dient und nur vorn, wo die Verbindung der beiden Seitenzüge stattfindet, fehlt.
- 4. Die aus dem Flammrohre tretenden Heizzase werden in einem einzigen Kanale, der die ganze seitliche und untere Mantelfläche des Kessels, soweit sie von den Heurgasen umspült werden darf, einschließt, nach vorn geführt um hier an beiden Seiten aufzusteigen, sich über dem Kessel wieder zu vereinigen und auf ihrem Wege nach hinten den Mantel oben zu besputen, bevor sie nach dem Schornsteine ziehen.

Diese in neuerer Zeit häufig angewendete Anordnung ermöglicht es, in dem Übergange zwei Röhren-Vorwärmer einzulegen, durch welche das Speisewasser gedrückt wird, bevor es in den Kessel tritt, was sich namentlich im große Kessel als besonders vorteilhaft erweist. Eine Beheizung des Kessels an der oberen, vom Wasser nicht benutzten Fläche wird hierbei weniger beachtet, da sie, wie schon früher bemerkt wurde, fast ganz werthlos ist, wohl aber wird der Kessel hierdurch aufs Beste gegen Abkühlung geschützt, und seine Oberfläche ist für eine Untersuchung besser zugänglich, als wenn dieselbe mit einem Wärmeisungsmittel dicht bedeckt ist.

Alle vier dieser Zug-Anordnungen haben ihre Vor- und Nachteile, so daß man von keiner behaupten kann, daß sie die beste sei.



b) Der Zweiflammrohrkessel
Figur 39.

Der Kessel ist dem Einflammrohrkessel in zweifacher Hinsicht überlegen, und zwar, einmal, weil er eine größere Heizfläche

als dieser befestigt, und zum andern eine sichere und bequemere Reinigung derjenigen Stellen gestattet, wo sich am meisten Schlamm und Kesselstein ablagert und festzubrennen pflegt, nämlich an der tiefsten Stelle des Mantels, welcher beim Einflamrohrkessel kaum beizukommen ist.

Was die zweckmäßigen Abmessungen eines Zweiflamrohrkessels anbetrifft, so kann man die nothwendigen Rohrweiten in ähnlicher Weise, wie beim Einflamrohrkessel dadurch ermitteln, daß man zunächst den Durchmesser der Flammrohre annimmt, und durch diese sowie die erforderlichen Entfernungen derselben von der Mantelfläche wie auch untereinander, feststellt. Den Durchmesser der Flammrohre eines Zweiflamrohrkessels nimmt man passend $= \frac{D}{3}$ wenn D den Manteldurchmesser bezeichnet.

Die Entfernung der beiden Flammrohre, welche man horizontal neben einander einzusetzen pflegt, muß so groß sein, daß sie einem erwachsenen Menschen gestattet, von oben zwischen den Rohren hindurch nach dem darunter befindlichen Raume zu gelangen, was für die Reinigung und die unerläßlichen Untersuchungen ein nothwendiges Erforderniß ist. Hierzu genügt ein lichter Abstand von 0,27 m.

Die Entfernung eines Flammrohres vom Mantel wird bedingt durch die Breite der beiden Nietflansche, mittelst welcher einerseits die Rohre, andererseits der Mantel an die Böden angenietet werden müssen; dafür sind etwa 0,14 m zu rechnen.

Da die Flammrohre nun aber stets vom Wasser bedeckt sein müssen, und zwar so weit, daß der niedrigste Wasserstand im Kessel noch mindestens 0,1 m über dem höchsten Punkte der Flammrohre liegt, und um trotzdem noch für den Dampf einen ausreichenden Raum frei zu behalten, so legt man die Flammrohre nicht in der Höhe der geometrischen Achse des Mantels, sondern um 0,15 m bis 0,25 m tiefer, und es wird mit Rücksicht hierauf die nothwendige Entfernung von 0,14 m zwischen Flammrohr und Mantel um einen freien Spielraum zu erhalten auf 0,16 m erhöht.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich der Durchmesser für den Mantel des Zweiflamrohrkessels

$$D = 2 \cdot 0,16 + 2 \cdot \frac{D}{3} + 0,27 \text{ woraus sich ergibt}$$

$D = 1,77$ m als Durchmesser des Mantels für den kleinsten Zweiflamrohrkessel; und da wir $d = \frac{D}{3}$ angenommen haben, so folgt

$$d = \frac{1,77}{3} = 0,59 \text{ m als Durchmesser eines Flammrohrs. Ferner}$$

muß die Summe der Querschnitte von den beiden Flammrohren gleich sein dem nothwendigen Zug-Querschnitte, und nimmt man für diesen wieder das Verhältniß von Heizfläche zu Zug-Querschnitt = 80 : 1 an, und setzt die größte Keißlänge auf 11 m fest, so folgt:

$$\frac{D \pi}{2} + 2 d \pi \cdot L = 2 \frac{d^2 \pi}{4}$$

und weil wir $d = \frac{D}{3}$ angenommen haben, so berechnet sich hieraus
 $L = 3,8 D$.

Somit ergeben sich für den kleinsten Zweiflammrohrkessel ein Mantel-Durchmesser von $D = 1,77$ m.

$$\text{Durchmesser der beiden Flammrohre } d = \frac{D}{3} = 0,59 \text{ m}$$

$$\text{und die Länge des Kessels } L = 3,8 \cdot 1,77 = 6,72 \text{ m}$$

Für den größten Zweiflammrohrkessel folgt:

$$\text{Der Durchmesser des Mantels } D = \frac{11}{3,8} = 2,89 \text{ m}$$

$$\text{„ „ der Flammrohre } d = \frac{D}{3} = \frac{2,89}{3} = 0,96 \text{ m}$$

$$\text{Länge des Kessels } L = 11 \text{ m}$$

Die Heizfläche würde sich, unter derselben Voraussetzung, die wir beim Einflammrohrkessel gemacht haben, nämlich, daß von der Innenfläche eines Flammrohrs nur $\frac{2}{3}$ als wirksame Heizfläche gelten können, wie folgt berechnen lassen:

für den kleinsten Zweiflammrohrkessel

$$\left(\frac{D}{2} \pi + \frac{2}{3} \cdot 2 d \pi \right) L = \left(\frac{1,77}{2} + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot 0,59 \right) \pi \cdot 6,7 = 35,2 \text{ qm}$$

und für den größten Zweiflammrohrkessel

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot d \right) \pi L = \left(\frac{2,85}{2} + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot 0,96 \right) \pi \cdot 11 = 93,5 \text{ qm}$$

In Bezug auf die Feuerung gilt für Zweiflammrohrkessel dasselbe wie für die Einflammrohrkessel. Von einer Unterfeuerung steht man auch hier am besten ganz ab. Kleine Zweiflammrohrkessel und solche, welche mit geringwerthigem Brennmaterial geheizt werden sollen, wird man zweckmäßigerweise mit Vorfeuerung versehen. Größere Zweiflammrohrkessel erhalten — gute Kohlen vorausgesetzt — Innenfeuerung, und um für diese eine bequeme Bedienung des Kofes zu erreichen, werden die Flammrohre oft im ersten Schusse weiter gemacht, als in den folgenden, damit der Kof nicht zu lang

werde und die Feuerbrücke eine angemessene Höhe erhalte. Man geht mit der Erweiterung der Flammrohre für die Kofslänge so weit, als es die gute Verbindung der Flammrohre mit der Stirnwand eben noch zuläßt, ohne Rücksicht darauf, daß die oben angegebene nothwendige Entfernung von 0,27 m für die Flammrohre in der Kofslänge dann nicht mehr vorhanden sein kann.

Für die Anordnung der Feuerzüge um den Kessel gilt dasselbe, was beim Einflammrohrkessel gesagt worden ist.

Die Einführung des Speisewassers bei Flammrohrkesseln hat stets an einer, vom Kofste möglichst weit entfernten Stelle zu erfolgen und dasselbe ist vor Einführung in den Kessel möglichst weit vorzuwärmen, da die unter den Flammrohren befindliche große Wassermasse schwer zu erwärmen ist und besonders beim Anheizen viel Zeit erfordert.

Flammrohrkessel haben einen genügend großen Dampf- und Wasserraum, und entwickeln wegen des geringen Abstandes der wirksamen Heizfläche von dem großen Wasserspiegel, ziemlich rasch Dampf, erfordern aber eben deshalb auch eine besonders aufmerksame Wartung, da ein zu niedriger Wasserstand bei keinem andern Kessel so gefährlich werden kann, als bei dem Flammrohrkesseln.

c) Der Dreiflammrohrkessel. Figur 40.

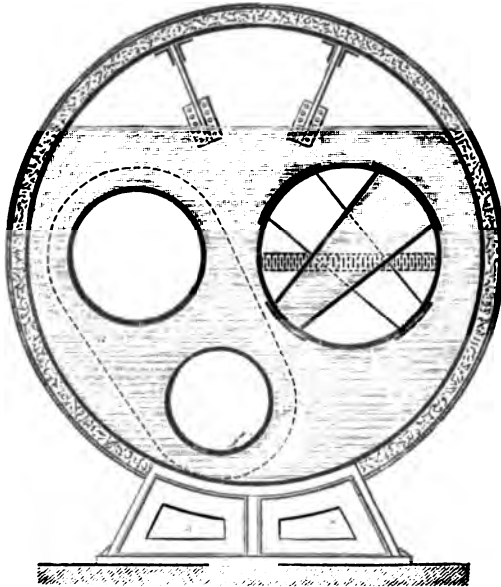


Fig. 40.

Seit einigen Jahren ist auch ein Dreiflammrohrkessel konstruirt und patentirt worden, der keiner Einmauerung bedarf, also auch leichter von einem Orte nach einem andern versetzt werden kann, als ein eingemauerter. Derselbe muß aber behufs der Reinigung und Untersuchung befahrbar sein, und deshalb einen sehr weiten dickwandigen Mantel erhalten; er wird besonders für einen hohen Dampfdruck empfohlen.

Bei diesem Kessel kommen die geometrischen Achsen von zwei Flamm-

rohren, von denen das eine besonders weit ist, weil es den Koft für die Innenfeuerung aufzunehmen hat, mit der Achse des Mantels in ein und dieselbe horizontale Ebene zu liegen. Das dritte Rohr, welches den geringsten Durchmesser hat, wird unter die beiden ersten gelegt und zwar so, daß die Entfernung zwischen je zwei Flammrohren mindestens 0,3 m beträgt, um das Befahren des Kessels nicht allzusehr zu erschweren.

Das weiteste Rohr enthält den Koft, und die Heizgase nachdem sie das erste Rohr durchzogen haben, treten am Ende des Kessels durch eine angebaute Wendekammer hindurch ins zweite Rohr, und ziehen in demselben wieder nach vorn. Durch eine zweite Vorkammer gelangen die Heizgase ins dritte Rohr, aus welchem sie hinten nach dem Schornsteine abziehen.

Das erste weite Flammrohr ist hinter dem Koste durch sogenannte Querstieber (Galloway-Röhren, von denen im Folgenden noch weiter die Rede sein wird) versteift, wahrscheinlich, weil die sonst für Flammröhren üblichen Versteifungsringe das Befahren und Reinigen des Kessels allzusehr erschweren würden.

Der äußere Mantel wird so von den Heizgasen gar nicht berührt, wird aber so viel als möglich gegen Abkühlung geschützt, indem man ihm eine Bekleidung von Filz und Holz giebt und diese noch mit einem lackirten Blechmantel versteift, wie es bei Lokomotivkesseln u. s. w. üblich ist.

Der Kessel wird auf zwei bis vier starke Eisenfüße gestellt, die ihrerseits auf einem soliden Fundamente ruhen. Er wird auch stehend angeordnet, und bietet dann allerdings eine bessere Heizfläche, als andere stehende Kessel, was wohl das Einzige ist, was zu seiner Empfehlung angeführt werden könnte.

d) Der Wellrohr- oder Seitrohrkessel. Figur 41.

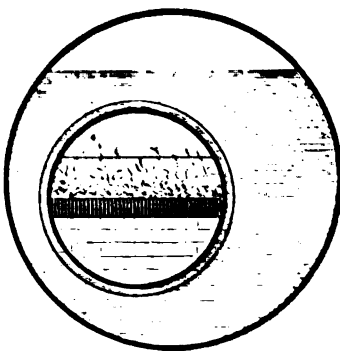


Fig. 41.

Derfelbe ist ein Einflammrohrkessel von besonders großen Dimensionen, welche die hohe Widerstandskraft des gewellten Blechs gegen ein Zusammengebrücktwerden anzuwenden gestatten.

Die Flammrohre haben den Druck des Dampfes von außen zu er leiden, welcher das Rohr flach zusammenzudrücken bestrebt ist. Dieses Zusammendrücken tritt um so leichter ein, je weniger genau kreisrund der Querschnitt eines von außen gepreßten Rohres ist; eine genau kreis-

runde Form der Rohre aber ist durch die gewöhnliche Ueberblattungsvermierung gar nicht herstellbar. Aus diesem Grunde dürfen glatte Flammrohre nur

einen mäßigen Durchmesser haben, wenn ihre Blechstärke nicht übermäßig groß werden soll.

Durch ein, dem Engländer Fox patentirtes Verfahren werden nun von der Gesellschaft Schulz, Knaut & Co. in Essen in der Längsfuge geschweißte Rohre hergestellt und durch ein eigenthümliches Walzverfahren wellig gemacht, so daß ein Längsschnitt wellenförmig erscheint, während die Querschnitte der Rohre Kreisringe von wechselndem Durchmesser darstellen. Der Unterschied des kleinsten und des größten Durchmessers beträgt etwa 10 Zentimeter, so daß eine Welle 5 Zentimeter hoch ist.

Durch diese wellige Form, sowie durch den Wegfall der Nietung erlangen die genau kreisrund hergestellten Rohre eine außerordentliche Steifigkeit und Widerstandskraft gegen äußere Pressungen, und da solche Rohre in Weiten bis zu 1,2 m Durchmesser angefertigt werden, so eignen sich dieselben besonders gut zu Flammrohren. Sie erfordern bei gleicher Widerstandskraft nur eine verhältnißmäßig geringe Wandstärke, liefern demnach eine bessere, und wegen der gewellten Oberfläche auch größere Heizfläche als Flammrohre mit glatten Blechen.

Um nun auch den Fehler, welcher Einflammrohrkesseln eigenthümlich ist, bei denen die geometrischen Achsen von Mantel und Flammrohr in derselben lothrechten Ebene liegen, zu umgehen, haben Schulz & Knaut einen Flammrohrkessel konstruirt, bei welchem das weite, aus Wellblech hergestellte Flammrohr aus der Mitte nach einer Seite, dem Mantel nahe gerückt ist, so daß der letztere in seinen tiefsten Punkten, wo sich leicht Schlamm und Kesselstein anhäufen, zugänglicher und bequemer zu reinigen ist, als bei den gewöhnlichen Einflammrohrkesseln.

Die große Weite des Flammrohrs gestattet auch eine bessere Unterbringung einer Innenfeuerung, und die wellige Form macht das Rohr der Länge nach in einem mäßigen Grade nachgiebig, in Folge dessen die Bewegungen, welche durch die ungleiche Erwärmung von Mantel und Flammrohr eintreten, auf die Verbindungen der Rohre mit den Stirnwänden nicht in dem Maße zerstörend einwirken können, wie dies bei Flammrohren aus glatten Blechen geschieht.

Dergleichen Wellrohrkessel werden 10 bis 12 m lang, und mit Mänteln von 2 m bis 2,4 m Durchmesser hergestellt.

Wenn nun auch auf der einen Seite durch eine geringere Wanddicke des Flammrohrs eine mäßige Verringerung des Gewichts für dieses eintritt, so werden doch Kessel von den angegebenen Abmessungen immerhin sehr schwer und gefährlich wegen der übergroßen Wanddicke der Mäntel von Kesseln für hohe Dampfspannungen sein.

e) Vor- und Nachteile der Flammrohrkessel.

www.libtool.com.cn

Ein Vorzug der Flammrohrkessel ist die größere Einfachheit der Einmauerung gegenüber z. B. derjenigen der Siederkessel. Wärmeverluste, welche durch große Abkühlungsflächen entstehen, können bei Flammrohrkesseln nicht leicht eine solche Höhe erreichen, wie bei andern Kesseln, weil die erste Hitze der Feuerung durch das Flammrohr schon von selbst besser zusammengehalten wird.

Im Vergleich mit einfachen Walzentesseln haben Flammrohrkessel allerdings den Vorzug, daß sie bei derselben Grundfläche eine viel größere Heizfläche besitzen; gut konstruirten Siederrohrkesseln aber stehen sie hierin schon nach, weit mehr aber noch hinsichtlich ihres Gewichtes und Preises. Andere Vorzüge aber, als die eben genannten lassen sich für Flammrohrkessel nicht auffinden, falls man sie nicht eben mit schlechteren Dampfkesseln vergleicht.

Was dagegen die Fehler und Mängel der Flammrohrkessel anlangt, so ist ihre Zahl und Größe bedeutender, als bei irgend einer andern Kesselkonstruktion. Der erste Fehler eines Flammrohrkessels besteht darin, daß er einen ausnahmsweise großen Durchmesser und in Folge dessen große Wanddicke erfordert. Ein weiterer Fehler ist der, daß die Flammrohre einem Drucke von außen zu widerstehen haben, aus welchem Grunde dieselben noch größere Wandstärken bekommen müssen, als wenn sie bei demselben Durchmesser einem gleich hohen innern Drucke ausgesetzt werden.

Ferner werden die Böden der Flammrohrkessel wegen des bequemeren Einbaus der Flammrohre und anderer Gründe aus ebenen Blechplatten hergestellt, und diese müssen deshalb ebenfalls dicker genommen werden, als es bei gewölbten Böden unter sonst gleichen Umständen nöthig wäre. Da nun die sehr dicken Böden nur schwierig, bez. kostspielig mit Krampen versehen werden können, so werden sie meistens mit besonders dicken Winkel-eisenringen, so wohl an den äußeren Mantel, als auch an die Flammrohre angenietet, was überall eine Rundnaht mehr erfordert, als bei der Verbindung mit der Krampe.

Weiter müssen die ebenen Platten mit dem Mantel noch besonders durch kräftige Unter versteift und widerstandsfähiger gemacht werden, was Alles das Gewicht, die Arbeit und auch die Kosten solcher Kessel erhöht. Welchen großen Nachtheil aber dicke Kesselwandungen, die als Heizflächen dienen müssen, an und für sich schon haben, ist bereits weiter oben dargelegt worden,

Leider sind aber hiermit die größten Fehler noch nicht alle auf gezählt. Um diese leichter zu erkennen, denke man sich zunächst einen einfachen Walzentessel mit Unter- oder Vorfeuerung. Ein solcher wird während des

Betriebes an der unteren Seite stärker erhitzt als an der oberen; er dehnt sich demnach unten mehr aus wie oben und erleidet in Folge dessen eine Ausbauchung nach unten, welche ungehindert eintreten kann.

Läge er nun an beiden Enden auf seinen Unterstüzungen frei auf, so würde sei eigenes Gewicht und das Gewicht des darin befindlichen Wassers eine Durchbiegung des Kesselförpers hervorbringen welche die Ausbauchung nach unten noch verstärkt. Ist der Kessel dagegen der ganzen Länge nach unterstüzt, so würde er im geheizten Zustande in Folge seiner Ausbauchung nach unten nur noch in der Mitte aufstiegen können, d. h. in dem gekrümmten Zustande der untern Fläche müßten sich die beiden Enden des Kessels nach oben richten, also von den Unterstüzungen entfernen, so daß eine Auflage auf dem graden Lager nur noch in der Mitte möglich ist. Das Gewicht des Kessels mit dem Wasser würde in diesem Falle aber der Krümmung entgegen wirken, weil sich nun der Kessel in demselben Falle befindet wie ein Balken, der in der Mitte unterstüzt, und an beiden Enden belastet ist, wodurch eine Durchbiegung nach oben eintreten müßte, wie solches die übertrieben gezeichneten, nebenstehenden Skizzen Figur 42 und 43 andeuten. Im letzteren Falle wird also der freien Ausbauchung nach unten durch die Auflage in der Mitte schon in einer gewaltsamen Weise entgegengewirkt.

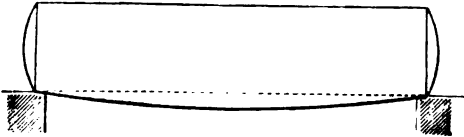


Fig. 42.

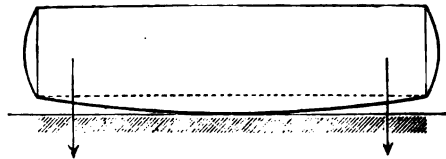


Fig. 43.

In beiden Fällen sind die entstehenden Materialspannungen jedoch nicht sehr gefährlich, weil die Formänderungen nicht so gewaltsam behindert sind, und weil einem Eingedrücktwerden des Kesselbauches im letzten Falle auch die im Innern herrschende Dampfspannung entgegenwirkt.

Anders ist es aber bei einem Flammrohrkessel.

Die meisten Flammrohrkessel haben Innenfeuerung, weil diese es gewöhnlich ist, der zu Liebe gerade die Anschaffung eines solchen Kessels erfolgt. Nehmen wir also einen solchen Zweiflammrohrkessel an. Die Flammrohre sind nur an ihren beiden äußersten Enden unterstüzt, da sie ja nur im Zusammenhange mit den Kesselböden stehen, mit welchen sie zusammengeietet wurden. Im leeren, kalten Zustande des Kessels erfahren die Flammrohre durch ihr Eigengewicht eine Durchbiegung nach unten; ist der Kessel dagegen mit Wasser gefüllt, so ist der Auftrieb der Rohre größer

als ihr Eigengewicht und die vorher stattgefundene Durchbiegung nach unten, kehrt sich in eine Durchbiegung nach oben um.

Ist der Kessel im Betriebe, so wird das Flammrohr oben bedeutend stärker erhitzt als unten und wird sich in Folge dessen noch stärker nach oben ausbauchen. Zugleich aber wird das Flammrohr, weil es im ganzen stärker erhitzt wird, als der äußere Mantel, sich in der Länge mehr ausdehnen, als dieser, und daher einen Druck auf die Kesselböden nach außen ausüben, dem aber die starken Böden, die an den dicken Mantel genietet, und mit ihm noch durch starke Anker besonders starr versteift sind, nicht nachgeben können. Hieraus ergeben sich nun Spannungen in dem Material der Flammröhre, der Böden und dem beide verbindenden Winkelseisen, die bei dem häufigen Wechsel ebenso viele Verbiegungen herbeiführen, und dies muß auf eine Zerstörung des Materials hinwirken.

Außerdem belastet der Kofst mit Zubehör und Feuerbrücke das Flammrohr gerade an einer Stelle, wo dasselbe durch die Stichflamme der Feuerung ganz besonders erhitzt und angegriffen wird, und da die Festigkeit des Eisens mit der Zunahme der Temperatur bedeutend abnimmt, so ist auch hierdurch eine Gefahr geschaffen, die nicht zu unterschätzen ist.

Der Mantel eines Flammrohrkessels wird dagegen unten stärker als oben erwärmt und verhält sich daher ebenso, wie ein einfacher Walzenkessel, nur wird die Materialspannung wegen der bedeutenden Dicke der Wandungen besonders groß und gefährlich sein. So wie die Flammröhre, so erleiden aber auch die Böden der Kessel äußerst verderbliche Spannungen. Die Flammröhre drückt oben stärker auf die Böden als unten und der Mantel drückt unten stärker als oben.

Der Boden kann daher nicht eben bleiben, wenn er diesen Drucken nachgiebt, sondern ein lothrechter Durchschnitt durch einen Boden würde eine mehrfach gebrochene Linie darstellen. Werden nun wie gewöhnlich, die Böden mit dem Mantel durch starke Dreiecksanker u. s. w. versteift, also unnachgiebig gemacht, so werden die, durch die ungleichen Belastungen und ungleichen Erwärmungen angestrebten Dehnungen und Zusammenziehungen des Materials nicht etwa aufgehoben, sondern sie werden nur mehr vertheilt und verschleiert. Diese unausgesetzt wiederkehrenden Bergewaltigungen des Kesselmaterials arbeiten so mit ununterbrochen auf Zerstörung desselben hin, und wenn auch in erster Linie darunter die Krampen und die Wickelringe, mit denen die Flammröhre an die Böden angenietet sind, zu leiden haben, so werden doch auch alle anderen Kesseltheile in Mitleidenschaft gezogen.

Alles hier Angeführte ist für den sachverständigen Techniker nichts

Neues und dies wird bei längerer Zeit im Betriebe gewesenen Flammrohrkesseln immer wieder beobachtet.

Um nun die Mängel, die sich im Laufe der Zeit an den Flammrohrkesseln herausgestellt haben, zu beseitigen, oder doch weniger nachtheilig zu gestalten, sind eine Reihe von Hilfskonstruktionen erfunden und in Anwendung gebracht worden, die jedoch die Uebelstände nicht etwa beseitigen, sondern in der Regel nur die für den einen Theil nachtheiligen Spannungen auf einen anderen Theil übertragen und so die verderblichen Wirkungen nur verschleiern. Einige von solchen, eine Verbesserung anstrebender Konstruktionen sollen hier angeführt werden.

Damit die Flammrohre durch den Dampfdruck nicht mehr zusammengedrückt werden können, wie solches früher öfter vorkam und worauf dann fast immer eine Explosion des Kessels folgte, hat man die Flammrohre in mannichfacher Weise versteift und widerstandsfähiger gemacht, und zwar:

1. durch darüber gezogene Ringe von verschiedener Form und Anordnung.

Nach Fairbairn versteift man die glatten Flammrohre durch Winkelisenringe, welche auf einer Maschine genau kreisrund gebogen und für neue Kessel zusammenschweißt werden. S. Figur 44.

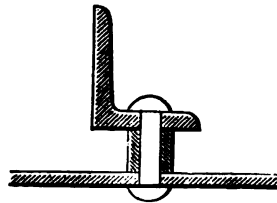


Fig. 44.

Diese Ringe haben eine Schenkellänge von 70 bis 80 mm und eine Dicke von 10 mm; ihr lichter Durchmesser ist 60 mm größer, als der äußere Durchmesser des Flammrohrs.

Ueber der Mitte eines jeden Bundes von dem Flammrohre wird ein solcher Ring angebracht und mit Hilfe von zwischen gelegten kleinen Ringen in Entfernungen von etwa 150 mm mit dem Flammrohre vernietet. Die Nieten bilden demnach kurze Stehbolzen, welche dem Ringe einen Abstand von dem Flammrohre von 30 mm sichern. Ein Zwischenraum zwischen Ring und Rohr ist deshalb nöthig, damit dasselbe unter dem Ringe vom Wasser bespült werde; ein zu kleiner Zwischenraum zwischen Winkelring und Flammrohr könnte sich leicht mit Kesselstein ausfüllen, und dann würde das Blech an solchen Stellen bald durchbrennen. Bei fertigen Kesseln müssen diese Ringe aus 2 Hälften bestehen, welche dann erst im Kessel mit doppelten Laschen zusammengenietet werden müssen. Figur 45.

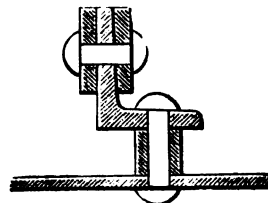


Fig. 45.

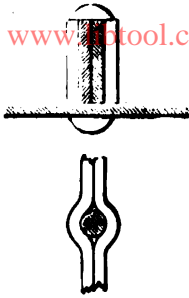


Fig. 46.

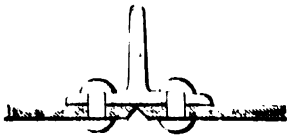


Fig. 47.

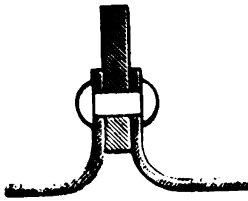


Fig. 48.

Pöding empfiehlt zusammengenietete Doppelringe aus hochkantig gebogenem Flacheisen nach Figur 46, welche sich leichter von Kesselstein reinigen lassen und die auch nachträglich im Kessel eingefest werden können, wenn man sie aus 4 Halbringen mit verfesten Fugen zusammennietet.

Während vorstehend beschriebene Ringkonstruktionen das Flammrohr in Mitten eines Bundes zu versteifen bestimmt sind, kommen ähnliche Ringe auch an den Rundnähten zur Anwendung.

Sid verwendet T-Eisen als Lasche zur Verbindung zweier Bunde eines Flammrohrs wie Figur 47 zeigt, wobei aber die für die Wärmeübertragung ungünstige Verdoppelung des Bleches breiter ausfällt und eine Rundnaht mehr nöthig ist, als bei einfacher Ueberblattung für die Nietnaht.

Aus diesem Grunde empfiehlt sich die Adamson'sche Verbindung zweier Rohrschüsse nach Figur 48, bei welcher dieselben mit aufgetrempten Flantschen versehen sind. Zwischen die aufgebogenen Flantschen zweier Bunde wird dann mit einer einzigen Rundnaht ein breiter, zusammengeschweißter Flacheiserring vernietet, wodurch eine sehr wirksame Versteifung und auch eine gewisse Nachgiebigkeit der Verbindung erzielt wird: auch kommt bei derselben kein Nietkopf mit dem Feuer in Verührung, weshalb diese Verbindung als die beste und einfachste Versteifung bezeichnet werden muß.

Bedingung für ihre Anwendung ist aber, sehr gutes Material für die Rohrbunde, welche aus dem Blech, entgegengekehrt der früher angegebenen Regel bei Herstellung der Röhren für inneren Druck, so gebogen werden müssen, daß die Auserichtung des Bleches parallel mit der Rohrachse, und nicht in der Richtung des Umfanges zu liegen kommt, weil das Blech in der Querräder, sonst bei den unausbleiblichen Bewegungen in der Drehung einreißen würde.

Eine andere Verbindung zweier Rohrbunde für Flammrohre ist die

mit dem Hülfschen Ringe. Dieser ist eine ringförmige breite Lasche, deren Querschnitt in der Mitte eine hohe, wellenförmige Ausbauchung zeigt. (Figur 49.)



Fig. 49.

Bei demselben werden aber wieder zwei Rundnähte statt einer nöthig und die Nietköpfe sind der unmittelbaren Einwirkung des Feuers ausgesetzt. Die Nachgiebigkeit ist allerdings etwas größer als bei gekrempten Bündeln, es muß zu solchen Ringen jedoch gleichfalls ein vorzügliches Material zur Verwendung kommen. Die Ringe müssen auch aus Blech geschnitten, und nicht aus Flach Eisen hergestellt werden, damit die Walzrichtung quer zur Längenrichtung der Lasche liegt, weil der Ring sonst ebenso, wie die vorher angegebenen Krempen, einreißen würde.

2. Eine wirksame Versteifung der Flammrohre hat man auch dadurch erreicht, daß man in dieselben konisch geformte Röhren quer einsteckt und solche mit den gegenüberstehenden Rohrwandungen vernietet. Diese Röhren, welche als große hohle Stehbolzen zu betrachten sind, verleihen dem Rohre eine große Widerstandsfähigkeit gegen das Zusammenbrücken und werden Quersieder, oder nach ihrem Erfinder Galloway-Röhren genannt.

Da sie die Flammrohre diametral in sich kreuzenden Richtungen durchdringen, werden sie von dem Strome der Heizgase, der das Flammrohr durchzieht, rechtwinkelig getroffen, und weil sie vom Kesselwasser durchflossen werden, so bilden sie zugleich sehr wirksame Heizflächen, und veranlassen eine gute Mischung der durchströmenden Heizgase, sowie auch eine lebhaftere Strömung in dem Kesselwasser.

Sie vergrößern demnach die Heizfläche der damit versehenen Flammrohrkessel (Galloway-Kessel) in recht wirksamer Weise, erschweren aber die Reinigung des Flammrohrs von Flugasche und sind selbst schwer von angefestem Kesselstein zu reinigen. Da sie nun von den heißesten Feuergasen rechtwinkelig getroffen werden, so brennen sie leicht durch, wenn sie nicht ganz frei von Kesselstein sind.

Die Galloway-Röhren werden in der Längenrichtung geschweißt, haben also keine Nietnaht; an ihren Enden werden sie flantschensförmig aufgekrempt und diese Krempen werden an die Flammrohre angenietet. Um sie aber von außen in das Flammrohr einstecken zu können, werden sie konisch

gehört, d. h. an einem Ende so stark verjüngt, daß der Flansch des
www.libtool.com.cn
 eines Endes kleiner ist, als das Loch für das weite Ende wie Figur 50 zeigt.

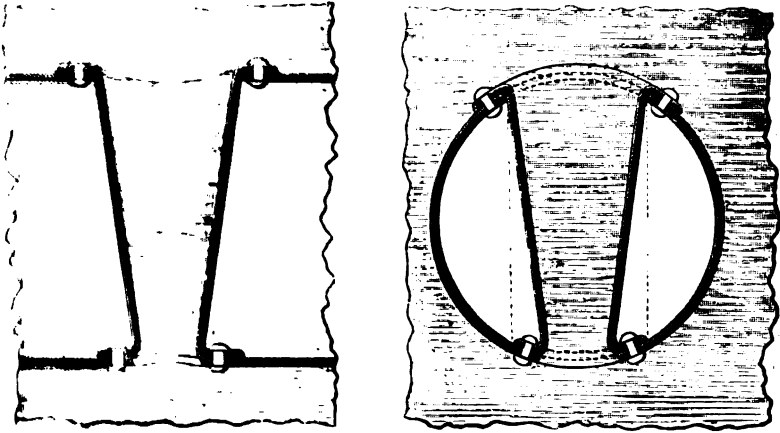


Fig. 50.

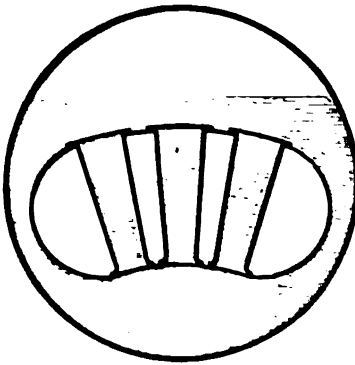


Fig. 51.

Durch Anwendung von Galloway-Röhren ist es sogar möglich, den Flammrohren statt eines kreisförmigen Querschnitts einen solchen von elliptischer oder nierenförmiger Gestalt zu geben, wie Figur 51 zeigt.

In der wirksamsten Weise aber wird der Zweck der Rohrversteifung erreicht durch Anwendung von Wellblech statt des glatten Bleches wie schon beim Wellrohrfeßel angeführt wurde.

Außer der Nothwendigkeit, die Flammrohre durch Versteifung gegen Zusammenklappen zu schützen, machte sich bald die Forderung geltend, die ebenen Böden widerstandsfähiger zu gestalten gegen die Ausbuchtung, welche sie einerseits durch den Dampfdruck, und andererseits durch die sich stärker als der Mantel ausdehnenden Flammrohre erfahren.

Auflatt für die Abhülfe dieses Uebelstandes nun den richtigen Weg einzuschlagen, wie nenerdings Schulz, Krauß & Co. gethan haben, d. h. die ebenen Böden zu verwerfen und durch gewölbte zu ersetzen, hat man die dicken Böden mit den dicken Reffelnmanteln mit noch dickeren

Winkelleisenringen vernietet und noch durch Anker und Blechwickel starr und unnachgiebig gemacht, und dadurch die gefährlichen Querschnitte in die Verbindung zwischen Flammrohr und Kesselboden verlegt.

Weil runde Anker, die man zuerst zur Versteifung angewendet hatte, Wirkung hatten, so ersetzt man sie durch breite Dreiecksanker wie Figur 52 zeigt, wodurch wieder andere nachtheilige Folgen entstehen.

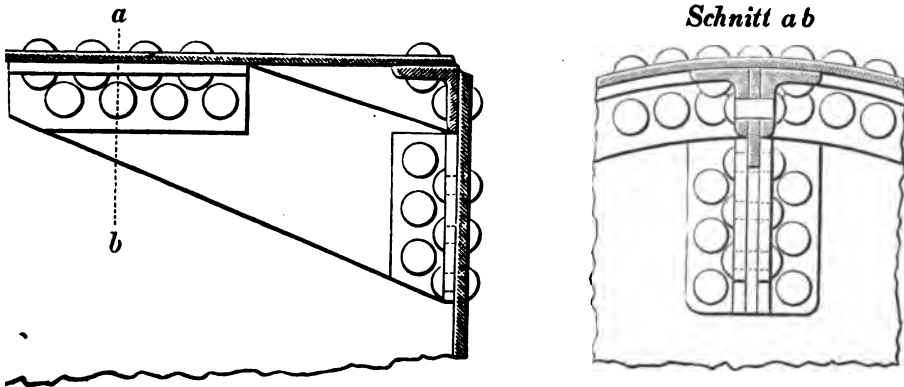


Fig. 52.

Es ist wohl nicht schwer einzusehen, daß man auf diese Weise sich nur immer im Kreise bewegt und nicht zum Ziele kommt.

Weil die Mittel das Uebel nicht bessern, sondern verschlimmern. Je mehr Masse und Gewicht man in den Kessel wirft, desto theurer wird derselbe und desto Verderben bringender werden die Explosionen solcher Ungethümle.

Die ersten Flammrohrkessel waren (nach englischen Maassen) 32 Fuß lang, hatten ein Flammrohr von 4 Fuß Weite und einen Mantel von $6\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser. Hinter der Innenfeuerung lag noch im Flammrohre ein Siederohr von $1\frac{1}{4}$ Fuß Durchmesser. Außerdem waren die Kessel in bester Weise gegen Abkühlung geschützt, und deshalb darf es nicht befremden, wenn sie bei einem Dampfdruck von nur etwa 3 Atmosphären, und bei Verwendung bester englischer Steinkohlen eine ungleich bessere Verdampfung ergaben, als andere Kessel der damaligen Zeit (vor mehr als 50 Jahren) und unter ganz anderen Verhältnissen.

Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß die Flammrohrkessel von da an sehr beliebt wurden und nach und nach eine Verbreitung gefunden haben, die sie unter den heutigen Verhältnissen durchaus nicht mehr verdienen.

Wenn es an und für sich zwar richtig ist, daß die Wärme bei keiner andern Feuerung so vollkommen ausgenutzt werden kann, als durch eine Innenfeuerung, so überflieht man dabei, daß Dampfkessel, bei denen eine

Wandstärke sehr stark möglich ist, nicht gut sein können. Solche Kessel sind deswegen weil bei ihnen große Wanddicken eine nicht zu umgehende Nothwendigkeit sind, nicht nur unvortheilhaft hinsichtlich der Wärmeübertragung, sondern auch äußerst gefährlich, wie früher nachgewiesen wurde.

Man könnte sich hierbei nun wohl zu der Frage veranlaßt fühlen: weshalb wegen denn die Vortheile einer Dampfkessel-Innenfeuerung vielleicht die genannten Nachteile so beträchtlich, daß man aus diesem Grunde, um sich zu sparen nicht Vergelt leisten zu müssen, sich dennoch nicht scheut, die expense mit dem Kauf zu nehmen, so ist diese Frage mit Nein zu beantworten, wie dies oben oft nachgewiesen worden ist.

4. Kesselschmelze.

a) Heizröhrenkessel.

Wollt man sich in einem Walzenkessel mit ebenen Böden an Stelle der flammrohren eine große Anzahl enge Röhren parallel mit der Kesselachse eingebaut, so entsteht ein sogenannter Feuerrohren- oder Heizröhrenkessel, den man näher einfach Röhrenkessel nannte.

Die Röhren, welche gerade so, wie die Flammrohren, außen von Wasser umspült werden und durch deren Hohlraum die Heizgase ziehen, haben auch den im Kessel herrschenden Druck auf ihrer Außenfläche zu tragen. Da sie aber nur einen geringen Durchmesser, keine Nietnaht, dabei aber einen guten kreisförmigen Querschnitt haben, der durch das Ziehen auf Röhrenzugschrauben leicht herzustellen ist, so folgt daraus, daß sie selbst bei hohem Druck nur eine geringe Wandstärke nöthig haben, und in Folge dessen eine ungezügliche Heizfläche bieten.

Weil man nun in einem mäßig weiten Kessel sehr viele, bis 300 und mehr solcher Heizröhren einbauen kann, indem sie ohne Nietflansche in die Längsrichtung des Kessels dicht eingesetzt werden können, so bietet ein solcher Kessel außer einer sehr guten auch eine sehr große Heizfläche, und daraus folgt weiter, daß ein Heizröhrenkessel nicht sehr lang zu sein braucht, weil die Wärmeübertragung in den vielen Röhren sich schon auf kurzem Wege vollzieht.

Die Wärme der Heizgase muß hier nothwendiger Weise viel besser und schneller aufgenommen und auf das Wasser übertragen werden als bei allen bisher genannten Kesseln, weil sich der Strom der Heizgase hier in eben so viele kleine Stränge theilen muß, als Röhren vorhanden sind, wobei an Wasserflächen so viele Verührungspunkte mit ganz vorzüglicher Heizfläche haben, daß sie schnell ihre Wärme an die kalten Kesselwände abgeben müssen.

Ein solcher Röhrenkessel erfordert aber eine Vorfeuerung, weil eine Innenseuerung wegen Kleinheit der Röhren natürlich ausgeschlossen ist, und eine Unterfeuerung dieselben Nachtheile wie beim Flammrohrkessel, und zwar in einem noch höheren Grade herbeiführen müßte.

Die Heizröhren wurden früher in der Regel aus Messingblech mit gelötheten Nähten hergestellt; jetzt werden dieselben durch die billigeren, geschweißten und gezogenen Röhren aus weichem Schweißisen, oder auch durch Stahlröhren ersetzt.

Der äußere Durchmesser der Heizröhren beträgt gewöhnlich 44 bis 90 mm, ihre Wandstärke 2 bis 4 mm höchstens 5 mm und ihre Länge 3 bis 4 m, obgleich auch dergleichen Röhren bis zu einem Durchmesser von 260 mm bei 9 mm Wanddicke und einer Länge bis 5 m vorkommen.

Je enger und dünnwandiger die Röhren sind, desto kürzer müssen sie sein, einmal, weil enge Röhren einen stärkeren Zug für die Heizgase erfordern, und für's Zweite, damit die Abkühlung der Gase nicht so weit gehe, daß ihre Temperatur nicht mehr ausreicht, um den nöthigen, kräftigen Schornsteinzug zu erzeugen. Allzu eng dürfen die Röhren auch nicht sein, weil ihre innere Reinigung von Ruß und Asche sich sonst nicht mehr rasch und leicht ausführen läßt, und daher kann man eine lichte Weite von 40 mm als untere Grenze annehmen. Je weiter man sie dagegen nimmt, desto größer muß ihre Wandstärke werden und desto kleiner wird auch die Heizfläche ausfallen. Das Verhältniß der Länge der Röhren (welche immer gleich der Kessellänge ist) zu ihrem Durchmesser ist hauptsächlich von dem vorhandenem Zuge abhängig und schwankt in der Regel zwischen 40 und 80. Ersteres Verhältniß findet man gewöhnlich bei Lokomotivkesseln, letzteres bei Lokomotivkesseln wegen des, bei diesen vorhandenen viel kräftigeren Zuges; denn je stärker derselbe ist, desto länger können natürlich auch die Heizröhren sein.

Alle Lokomotivkessel sind Heizröhrenkessel und man darf wohl sagen, daß die Lokomotiven gerade diesen Kesseln ihr Dasein verdanken. Da ein Lokomotivkessel nicht, wie ein feststehender Kessel, eingemauert werden kann, so baut man die, für einen Heizröhrenkessel nöthige Vorfeuerung in den Kessel selbst ein, indem man den Feuerraum aus metallenen Wänden herstellt und diese, um keinen Verlust an Wärme zu erleiden, von dem Kesselwasser bespülen läßt, so daß der Feuerraum als Theil des Kessels selbst erscheint.

Diesen Theil des Kessels, welcher die Feuerung, d. h. den Kof, den Feuerungs- und Aschenraum umschließt, nennt man Feuerkiste oder Feuerbüchse; dieselbe erscheint gewöhnlich als ein viereckiger, unten offener aber

doppelwandiger Kasten, bei welchem die untere Oeffnung durch den Kofst geschlossen wird. Die innere Wand desselben ist bei den Lokomotiven gewöhnlich aus dicken Kupferplatten von 15 bis 26 mm Stärke hergestellt.

Sie wird mit der äußeren, dieselbe in einem Abstände von etwa 100 mm umhüllenden Wand mittels Stehholzen verbunden und versteift. Der hierdurch entstehende Zwischenraum ist mit dem Kesselwasser angefüllt. Die obere innere Wandung der Feuerbüchse, weil in der Regel in größerem Abstände von der sich darüber hinziehenden äußeren Kesselwand, wird gegen das Eingedrücktwerden noch besonders versteift.

Da die Vorzüge des Lokomotivkessel bald erkannt wurden, so lag das Bestreben nahe, die Konstruktion auch auf feststehende Kessel anzuwenden, doch ist man bald wieder davon zurückgekommen weil man, um eine gleich gute Wirkung wie bei Lokomotiven zu erreichen, eines Schornsteinzuges von der Stärke bedarf, wie ihn die Lokomotive durch das Ausblaserohr erhält. Dagegen hat der Heizröhrenkessel seinen Platz behauptet bei den transportablen Kesseln, namentlich der Lokomobilen, bei welchen in ähnlicher Weise wie bei den Lokomotiven, der nöthige Zug künstlich durch Ausblasen des Abdampfs in den niedrigen Schornstein herbeigeführt wird.

Wenn nun Heizröhrenkesseln auf der einen Seite eine sehr gute Heizfläche eigenthümlich ist, so besitzen sie doch andererseits auch ihre Mängel. Zunächst können die Heizröhren nicht wie Flammrohre mit den Kesselböden vernietet werden, sondern werden in die genau ausgebohrten Löcher der Böden eingetrieben; ihre Mündungen werden behufs dichten Schlusses durch Auswalzen etwas erweitert, und somit gewissermaßen mit den Kesselböden vernietet und gedichtet. Sie bilden somit Anker, welche die gegenüberliegenden Kesselstirnwände mit einander versteifen. Es kann daher nicht ausbleiben, daß während des Betriebes öfter Undichtheiten, in Folge der ungleichen Erwärmung der Röhren und des, das Röhrensystem umschließenden dicken Mantels eintreten, die für einen unge störten Fabrikbetrieb sehr lästig werden, während man sie beim Eisenbahnbetriebe mit in den Kauf nehmen muß, was hier um so leichter geschehen kann, als man von keiner Lokomotive verlangt, daß sie wochen- und monatelang in ununterbrochenem Betriebe bleiben, wie die Dampfkessel der meisten Industrien.

Einen ganz besonderen Nachtheil haben die Heizröhrenkessel außerdem in so fern, als sie sich nur äußerst schwer, und auch nur theilweise von Kesselstein reinigen lassen; auch wenn ein Heizröhrenkessel so groß wäre, daß er befahren werden kann, so ist es doch nicht möglich, allen einzelnen Röhren die man (um Raum zu sparen), mit nur kleinen Zwischenräumen einbaut, behufs ihrer Reinigung beizukommen. Man muß sich dabei immer

darauf beschränken, von den wenigen Röhren, zu denen man gelangen kann, den Kesselstein-Beschlag abzutragen, so gut oder so schlecht als dies eben angeht.

Für Lokomobilen, für welche es bislang (ebenso wie für Lokomotiven) keine besseren, als die Heizröhrenkessel giebt, und welche wegen des naturgemäß beschränkten Raumes gar nicht zu befahren sind, ist dadurch eine Abhilfe geschaffen worden, daß man die Kesselböden, in welchen die Heizröhren befestigt sind, nicht in feste Verbindung mit dem Mantel bringt, sondern dieselben lösbar einrichtet und es auf solche Weise ermöglicht, daß nach Lösung der Schrauben die Böden nebst dem ganzen Röhrensystem aus dem Mantel herausgezogen werden können. Dann kann man zwar von allen Seiten zu dem Röhrensystem gelangen, aber doch nur die äußersten Röhren abkratzen; die mehr nach innen und in der Mitte des ganzen Bündels liegenden Röhren muß man dennoch ungeputzt lassen. Das beste Mittel wird hier, wie überhaupt beim Dampfkesselbetriebe immer bleiben, möglichst reines Speisewasser zu verwenden.

Figur 53 zeigt einen Heizröhrenkessel ohne Feuerbüchse, für welchen, wie schon bemerkt eine Vorfeuerung am passendsten ist; die Feuergase ziehen

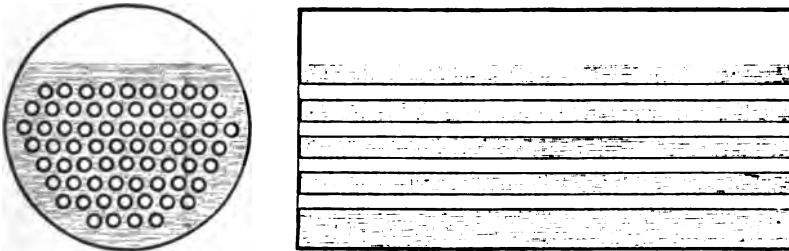


Fig. 53.

dann zunächst durch die Heizröhren und können außen in Kanälen um und unter der Kesselwand entlang geführt werden ebenso wie bei einem Flammrohrkessel, vorausgesetzt, daß dieselben nicht in den Heizröhren sich schon genügend abgekühlt haben, in welchem Falle die Gase gleich nach dem Schornsteine zu führen sind, und man den Mantel des Kessels mit einer gegen Abkühlung schützenden Umhüllung versehen muß.

Für feststehende Dampfanlagen ist der einfache Heizröhrenkessel fast nicht mehr im Gebrauche, wohl aber kommt er neuerdings häufiger in

verschiedenen Verbindungen, so wohl in liegender als stehender Anordnung zur Anwendung. Sind die Röhren nicht zu lang, und ist die Erwärmung der selben nicht gar zu verschieden von der Temperatur des Mantels, so halten die Röhren ziemlich lange dicht, und bewirken bei gutem reinem Speisewasser eine kräftige Verdampfung; bei sehr unreinem Speisewasser jedoch sind sie auf die Dauer unbrauchbar.

Figur 54 zeigt einen Heizröhrenkessel mit Feuerbüchse wie er für Lokomotiven und Lokomobilen im Gebrauche steht. a ist der Feuerraum,

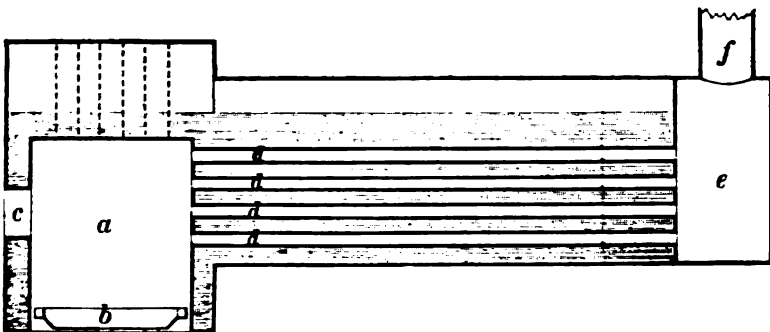


Fig. 54.

b der Rost, c die Feuerthür und d sind die Heizröhren; e ist die sogenannte Rauchkammer in welche die Heizgase eintreten; nachdem sie die Heizröhren passiert haben. Ueber der Rauchkammer erhebt sich der kurze Blech-Schornstein f, in dessen untern Theile das Ausblaserohr ausmündet, durch welches der Abdampf stoßweise ausströmt oder auspufft.

Daß die Heizröhrenkessel ebenso, wie die Flammrohrkessel dickwandige Mäntel und starke Böden erfordern, ist leicht einzusehen; da die Mäntel aber nur selten bei Lokomotiven und niemals bei Lokomobilen beheizt werden, so fällt der Nachtheil dicker Wandungen nicht so groß aus, als wenn dieselben auch als Heizfläche dienen müßten. Hieraus folgt aber, daß Mantel und Röhren sehr verschiedene Temperaturen haben werden und sich deshalb ungleich ausdehnen, wodurch die Gefahr des Undichtwerdens und Krümmens der Röhren aber gesteigert wird. Es ist deshalb eine gute Umhüllung des Mantels zum Schutze des Kessels gegen Abkühlung nach außen besonders nothwendig.

Zur Explosion kommen Heizröhrenkessel seltener, weil ihre Mäntel keiner

Abnutzung unterliegen, und sowohl Lokomotiven als Lokomobilen durchschnittlich öfter sachverständigen Untersuchungen unterzogen werden, als die Kessel feststehender Dampfanlagen; häufiger aber treten Rohrverbiegungen und Rohrbrüche ein, die im Allgemeinen aber ziemlich ungefährlich sind.

b) Wasserröhrenkessel.

Da enge, dünnwandige Röhren sehr gute Heizflächen geben, so hat man auch die umgekehrte Anordnung getroffen, indem man enge Röhren mit Wasser füllt, und solche eben so wie die Siederöhre von außen beheizt. Auf diese Weise hergestellte Dampferzeuger nennt man Wasserröhrenkessel, zum Unterschiede von den Heizröhren- oder Feuerröhrenkesseln.

Die Wasserröhrenkessel bieten den letzteren gegenüber unter Anderem den großen Vortheil, daß sie keiner dickwandigen Mäntel bedürfen, da jedes einzelne, an beiden Enden geschlossene und zum Theil mit Wasser gefüllte enge Rohr schon einen kleinen Kessel darstellt. Vereinigt man nun eine größere Anzahl solcher Kesseln mit einander und sorgt dafür, daß der in allen erzeugte Dampf sich in einem Gefäße ansammeln kann, und daß das in den Röhren verdampfte Wasser immer durch neues ersetzt wird, so hat man den besten und wirksamsten Dampferzeuger, der allerdings im Vergleiche zu der sehr großen Heizfläche innerhalb der Röhren nur einen kleinen Wasserraum, also auch die sich hieraus ergebenden Nachtheile besitzt, andererseits aber grade deshalb die schnellste und reichlichste Dampferzeugung möglich macht.

Hinsichtlich der Anordnung und Verbindung der Wasserröhren mit einander, sowie bezüglich der Größe und Gestaltung des erforderlichen Dampf- und Wasserraumes, mit welchen die Röhren in Verbindung gesetzt werden müssen, treten nun große Verschiedenheiten auf, und hierdurch ist eine ganze Reihe von eigenthümlichen Kesselsystemen entstanden, welche sich mehr oder weniger dem Ideal eines guten Dampferzeugers nähern.

a) Der Belleville-Kessel.

Werden die einzelnen Wasserröhren so mit einander verbunden, daß das Wasser und der entwickelte Dampf darin einen Schlangenweg von unten nach oben machen müssen, und ordnet man eine Reihe von solchen Rohrschlangen in vertikalen Ebenen nebeneinander an, bei welchen die unteren Enden mit einem gemeinschaftlichen, horizontalen Wasserrohr, und die oberen in gleicher Weise mit einem gemeinschaftlichen Dampfrohr in Verbindung stehen, so hat man den Wasserröhrenkessel von Belleville, der in Figur 55 schematisch dargestellt ist.

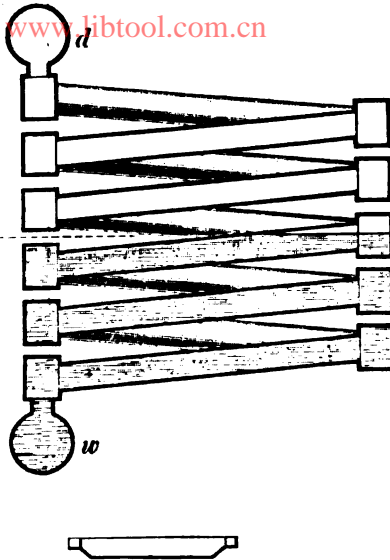


Fig. 55.

Die Rohrschlangen bestehen aus graden, schräg ansteigenden Röhren, die an ihren Enden durch horizontale Kapseln abwechselnd hinten und vorn mit einander in Verbindung stehen. Dies Rohrsystem ist nur etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt, und unmittelbar unter den Röhren befindet sich die Feuerung. Die Heizgase nehmen ihren Weg zwischen den Röhren hindurch nach oben, um hinten nach dem Schornsteine abzuziehen. Unten treffen die Heizgase daher auf mit Wasser gefüllte, und oben auf mit Dampf gefüllte Röhren. Das Speisewasser wird in das gemeinschaftliche Wasserrohr *w* eingeführt, während die in dem gemeinschaftlichen Dampfrohre *d* angesammelten Dämpfe nach dem Orte des Verbrauchs abgeführt werden.

Von einer Wasserströmung ist hier natürlich keine Rede; das Wasser ruht vielmehr in jeder einzelnen Rohrschlange, und die Dampfblasen, welche sich schon in den untersten Rohrlagen in bedeutender Menge entwickeln müssen, weil solche gerade der ersten und stärksten Hitze ausgesetzt sind, müssen sich durch das Wasser in allen höher liegenden Rohrstücken hindurch zwängen, um nach dem Dampfrohre zu kommen; dieselben müssen demnach viel Wasser mit fortreißen, um so mehr, als das Dampfrohr nur geringe Größe hat, der entweichende Dampf also gar nicht zur Ruhe kommen kann. Das verdampfte Wasser wird zwar aus dem gemeinschaftlichen Wasserrohre stetig ersetzt, doch müßte die Speisung ganz ununterbrochen und genau in dem Verhältnisse des wechselnden Dampfverbrauchs erfolgen, wenn der Wasserstand im Kessel auch nur annähernd eine bestimmte Höhe behalten soll, was eben gar nicht ausführbar ist.

Dieses Kesselsystem ist demnach weit entfernt davon, den Anforderungen zu genügen, die man heutzutage an einen guten Dampferzeuger stellen kann. Wir verzichten deshalb darauf, Einzelheiten der Konstruktion, so wie die eigenthümlichen Apparate, womit der Erfinder seine Kessel zur selbstthätigen

Regulirung des Wasserstandes und der Dampffpannung ausgerüstet hat, hier näher zu beschreiben.

β) Wasserröhrenkessel von Root.

Eine andere Anordnung der Röhren findet sich bei dem Kessel von Root, der in Figur 56 schematisch dargestellt ist. Bei diesem sind ebenfalls

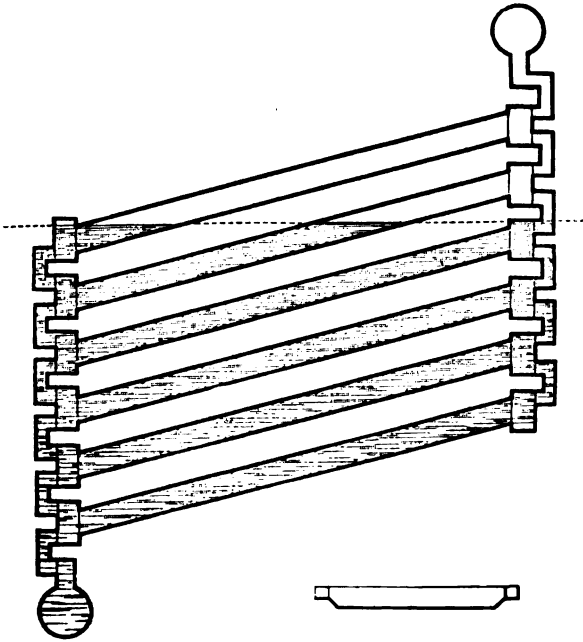


Fig. 56.

eine große Zahl schrägansteigender Röhren in lothrechten Ebenen übereinander angeordnet, doch so, daß sie sämmtlich unter sich parallel, aber versetzt liegen, damit die aufsteigenden Heizzgase sich mehrfach brechen und die Röhren schlängelförmig umzängeln müssen.

Die einzelnen Rohrstücke sind an ihren Enden ebenfalls mit Kapseln verschlossen, jedoch so, daß jedes Rohr mit einem solchen der darüber, und einem der darunter liegenden Reihe in Verbindung steht. Hierdurch wird erreicht, daß die, sich in einem unten liegenden Rohre entwickelnden Dampfblasen nicht gezwungen sind, erst durch die darüber liegenden Rohre zu gehen, wie beim Belleville-Kessel, sondern bei ihrem Austritt aus dem Rohre durch die Verschlußklappen gleich auf kürzestem Wege nach dem Dampfrohre gelangen können.

Das Dampfrohr, welches an der höchsten Stelle des Kessels horizontal und quer über den Rohrreihen liegt, nimmt allen entwickelten Dampf auf

ebenso befindet sich auf der entgegengesetzten Seite quer unter den Siederöhren das Wasserrohr, aus welchem das Wasser nach den Röhren aufsteigen kann. Die Feuerung liegt bei dem Root'schen Kessel auch unter den Röhren, nur sind die Heizzgase durch zwischen die Röhren eingeschobene Eisenplatten gezwungen, sich in einer Schlangenlinie zwischen den Röhren hindurch zu winden, bevor sie in den Schornstein gelangen.

Der Wasserstand im Kessel ist so bemessen, daß an der hinteren, niedriger liegenden Seite des Kessels alle Rohrenden noch unter dem Wasserspiegel liegen, während an der vorderen, hoch liegenden Seite nur 4 bis 5 Röhren mit Wasser vollständig gefüllt sind. Daß bei solcher Anordnung ebensowenig eine Wasserströmung in den Röhren möglich ist, leuchtet ohne Weiteres ein. Dies mag auch von den Erbauern solcher Kessel empfunden worden sein, denn bei späteren Ausführungen wurden in die unteren Rohrreihen besondere Zirkulationsröhren eingeschoben; was dieselben jedoch in dem ruhenden Wasser sollen, ist nicht erfindlich. Als besondere Empfehlung wird von Fabrikanten Root'scher Kessel noch angeführt, daß sich an den lose eingeschobenen Zirkulationsröhren Kesselstein niederschlage, der durch Herausziehen der Röhren und Abklopfen derselben leicht zu entfernen sei, was jedoch der Thatsache widerspricht, daß sich Kesselstein nur immer an der heißesten Kesselwand ansetzt und festbrennt, an welcher sich die meisten Dampfblasen entwickeln. An den ganz von Wasser angefüllten und von demselben umspülten Zirkulationsröhren kann eine Kesselsteinbildung überhaupt nicht stattfinden.

Die Höhe des Wasserstandes, sowie die Dampfspannung muß auch beim Root'schen Kessel ungemein schnell wechseln, und somit entspricht auch dieser nicht den Anforderungen, die man jetzt an einen guten Kessel zu stellen berechtigt ist.

Mehrere Wasserröhrenkessel-Konstruktionen, welche nach den Vorbildern von Belleville und von Root ausgeführt, und mit geringen oder größeren Abänderungen und Verbesserungen versehen wurden, aber ebensowenig vor einer strengen Kritik bestehen können, sollen hier gar nicht erst erwähnt werden.

Mangelhaft und umständlich sind an allen diesen Kesseln die Röhrenverbindungen durch Kapseln oder Kappen, bei denen Gummi-Einlagen und Schrauben nöthig sind, die sich bei hohen Dampfspannungen nicht bewähren können, abgesehen davon, daß diese Kapseln ursprünglich fast alle aus Gußeisen, später aus schmiedbarem Guß, und zuletzt aus Schmiedeeisen gemacht wurden, wodurch die Herstellung der Kessel sich theurer stellen muß, ohne daß damit viel erreicht wird.

Hauptfehler sind eben bei diesen Systemen der sehr kleine Wasserraum, der niemals auf angemessener Höhe zu erhaltende Wasserstand, der gar zu geringe Vorrath von Wärme, Wasser und Dampf und der Uebelstand, daß der entweichende Dampf große Mengen von Wasser mit überreißt.

γ) Wasserröhrenkessel von Steinmüller.

Seit dem man auf der einen Seite von der großen Verdampfungs-fähigkeit, auf der anderen aber auch von den Nachtheilen engröhriger Dampfessel und der Unzulänglichkeit ihres gar zu unbedeutenden Dampf- und Wasserraums Ueberzeugung gewonnen hatte, war man selbstverständlich auf Beseitigung dieser Uebelstände bedacht, und so griffen L. & C. Steinmüller in Gummersbach auf einen Wasserröhrenkessel zurück, den Dr. Alban in Plau bereits vor etwa 50 Jahren konstruirt und wiederholt ausgeführt hat. Dieser Alban'sche Kessel besteht aus einem Bündel enger Siederöhren, welches zwischen zwei flachwandige, parallel gegenüberstehende Wasserklammern eingebaut ist. Ueber diesem Röhrenkessel befanden sich zwei einfache, mit einander, und mit den Wasserklammern des Röhrenkessels in Verbindung stehende Walzenkessel, von denen der untere etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist.

Sowohl der Röhrenkessel, als auch die beiden Walzenkessel befinden sich in einer geneigten Stellung. Während nun das Röhrensystem beheizt wird, entwickelt sich in den engen Röhren Dampf, und dieser steigt mit dem stark erhitzten und dadurch spezifisch leichter gewordenen Wasser in der höher stehenden Wasserkammer auf, und tritt in den Oberkessel ein. Der hierdurch in den Röhren entstehende Wassermangel wird auf der entgegengesetzten Seite durch das Herabsinken des Wassers aus dem Oberkessel in die tiefer stehende Wasserkammer und in die tiefer liegenden Röhrenenden sofort wieder aufgehoben.

Bei dieser Anordnung sind die engen Röhren sowohl, als auch die Wasserklammern stets vollständig mit Wasser gefüllt, und durch das ununterbrochene Aufsteigen des Dampfwassers in der hochstehenden, und das Niedersinken des dichteren, kälteren Wassers in die niedriger stehende Wasser-kammer, findet ein lebhafter Kreislauf des Wassers in diesem Kesselsystem statt, welcher sehr viel zu einer guten Verdampfung beiträgt. Zugleich ist dem Mangel eines zu kleinen Wasser- und Dampf-raumes in der einfachsten und naturgemähesten Weise abgeholfen, und durch die Anordnung des zweiten Walzenkessels über dem ersten, die hier beide ebenfalls von den Heizgasen umspült werden, ist auch dafür gesorgt, daß der Dampf sich von dem mitgerissenen Wasser vollständig trennen und vollkommen trocken aus dem Kessel treten kann.

Damit die flachwandigen Wasserkammern sich durch den hohen inneren Druck nicht ausbauchen, sind ihre gegenüberstehenden Wandungen durch Stehbolzen gehörig versteift. Die hierzu verwendeten Stehbolzen dienen zugleich als Verschlussschrauben für die Deckel, mit denen die Reinigungs-löcher verschlossen sind, die jedem Rohre gegenüber, in den äußeren Kammerwänden angebracht sind.

Dieses Kessel-System nahmen sich L. & C. Steinmüller zum Vorbilde, verbesserten und vereinfachten dasselbe noch dadurch, daß sie nur einen Oberkessel anordneten, der von den Heißgasen gar nicht berührt wird, in diesen aber einen sinnreichen Wasserabscheider einbauten, und durch Anbringung von Schlammfammern unter den Wasserkammern dafür sorgten, daß das Wasser die abgesetzten festen Bestandtheile dort fallen läßt, wo sie ungefährlich sind, und durch Abblasen von Zeit zu Zeit aus dem Kessel entfernt werden können.

So entstand ein Wasserröhrenkessel, der heute noch zu den besten bis jetzt gebauten zu zählen ist, und fast allen Anforderungen entspricht, die man an einen guten Dampferzeuger stellen kann.

Figur 57 zeigt den Steinmüller'schen Kessel in einem lothrechten Längenschnitt. A A sind die Siederöhren, welche mit ihren Enden in die

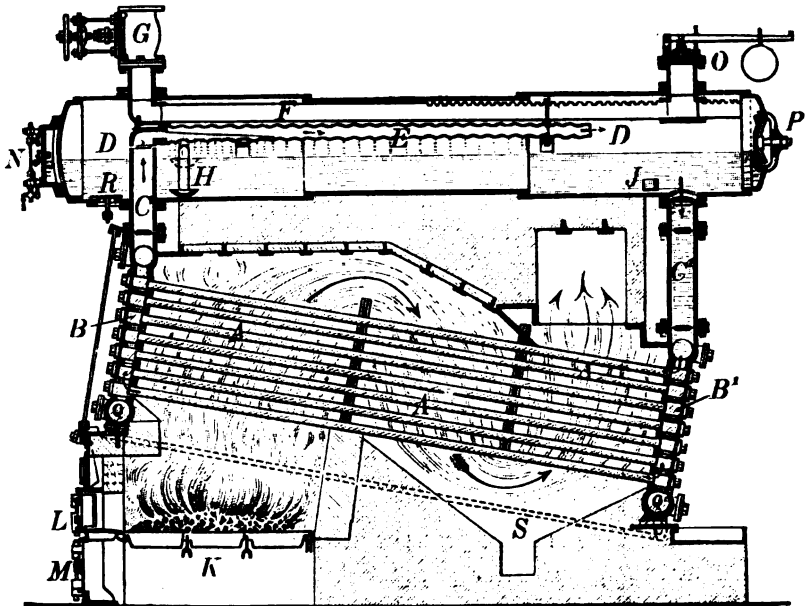


Fig. 57.

flachen Wände der Wasserkammern B und B¹ dicht eingesezt sind. Durch die Rohrstutzen C und C¹ stehen die Wasserkammern mit dem Oberkessel D in Verbindung, der etwa bis zur Hälfte mit Wasser angefüllt ist.

Indem das Wasser aus dem hinteren Theile des Oberkessels durch den Stutzen C¹ in die Wasserkammer B¹ herabsinkt, ersetzt es das Wasser in dem Röhrensystem in dem Maße, in welchem das Dampfwasser durch die Kammer B und den Stutzen C nach dem Oberkessel aufsteigt. Dieser Stutzen C überragt aber mit einem Knie den Wasserstand in dem Oberkessel, und das Gemisch von Wasser und Dampf tritt aus C zunächst in einen langen geschlossenen Kasten E von rechteckigem Querschnitt aus glattem oder Wellblech, welcher in horizontaler Lage sich weit in den Oberkessel hinein erstreckt und nur an seinem Hinterende offen ist. Der Boden dieses Kastens, über welchen der Strom des Dampfwassers hinfließt und dadurch eine große Verdampfungs-Oberfläche erlangt, ist mit vielen kleinen Löchern oder Schlitzen versehen, durch welche das Wasser, daß sich auf dem langen Wege von dem Dampfe getrennt hat, nach unten abfließt. Der nun vom Wasser befreite Dampf tritt erst am Ende des Kastens in den Dampfraum des Oberkessels, in dem sich zwar eine große, aber ruhige Wasserfläche befindet, so daß derselbe trocken bleibt.

Außer diesem Wasserabscheider ist in dem Oberkessel noch ein langes Rohr F eingebaut, in welches durch viele, oben angebrachte kleine Löcher der Dampf eintritt, um durch das Ventil G vollkommen trocken nach dem Orte des Gebrauchs geleitet zu werden. Das Speisewasser wird durch das Rohr H in den Oberkessel an der Stelle eingeführt, wo das heißeste Wasser aus dem Wasserabscheider ausfließt, wodurch sich das Speisewasser bald bis auf die Dampftemperatur erwärmt, und bereits im Oberkessel ein großer Theil der festen Bestandtheile aus dem Wasser als Schlamm ausgeschieden wird. Dieser Schlamm kann hier ruhig zu Boden sinken und muß nach Erforderniß entfernt werden.

Die Einlage J im Oberkessel, kurz vor dem Stutzen C¹ hält einen großen Theil des den Boden bedeckenden Schlammes zurück und verhindert, daß derselbe von dem nach hinten ziehenden Wasser in die Wasserkammer B¹ hineingeschwemmt werde. Da der Schlamm aber nicht vollständig zurückgehalten wird, so haben die mit übergerissenen Unreinigkeiten Gelegenheit, sich in den Schlammrohren Q und Q¹ an der tiefsten Stelle der Wasserkammern abzusetzen, aus welchen dieselben von Zeit zu Zeit ausgeblasen werden können.

Das Speisewasser tritt nicht in vollem Strahle in den Oberkessel ein, sondern strömt erst auf eine flache Schale, um sich möglichst nach allen Seiten ausbreiten und so sich schnell erwärmen zu können.

Da das aus den Siederöhren sich in den Oberkessel ergießende Wasser sich erst dann mit dem Wasser desselben mischt, nachdem es von dem mitgeführten Dampfe befreit ist, und da der Oberkessel andererseits auch nicht beheizt wird, so ist das darin befindliche Wasser frei von Dampfblasen, und daher dichter und schwerer, als das Gemisch von Wasser und Dampf in den Siederöhren. In Folge dessen findet in dem Kesselwasser ein so lebhafter Umlauf statt, daß die ganze Wassermasse des Kessels in wenigen Minuten die Siederöhren durchströmt.

Der Kofst K liegt unter dem ersten Drittel des Röhrenbündels. Die Heizgase durchziehen wegen der, zu den Röhren rechtwinkelig angeordneten Scheidewände mehrere Male das Röhrensystem in einer sehr günstigen Richtung, bevor sie nach dem Schornsteine gelangen.

L ist die Feuerthür, M eine Thür vor dem Aschenfall, N der Wasserstandszeiger, O das Sicherheitsventil, P ein Mannloch, um den Kessel befahren zu können, R ein Reinigungsloch und S ein Aschensack zur Ablagerung der Flug-Asche.

d) Andere Wasserröhrenkessel mit 2 Wasserklammern.

Da der Alban'sche Wasserröhrenkessel, bei dem die Röhren ebenso, wie bei den Heizröhrenkesseln in die flachen Kesselwände eingesezt und befestigt

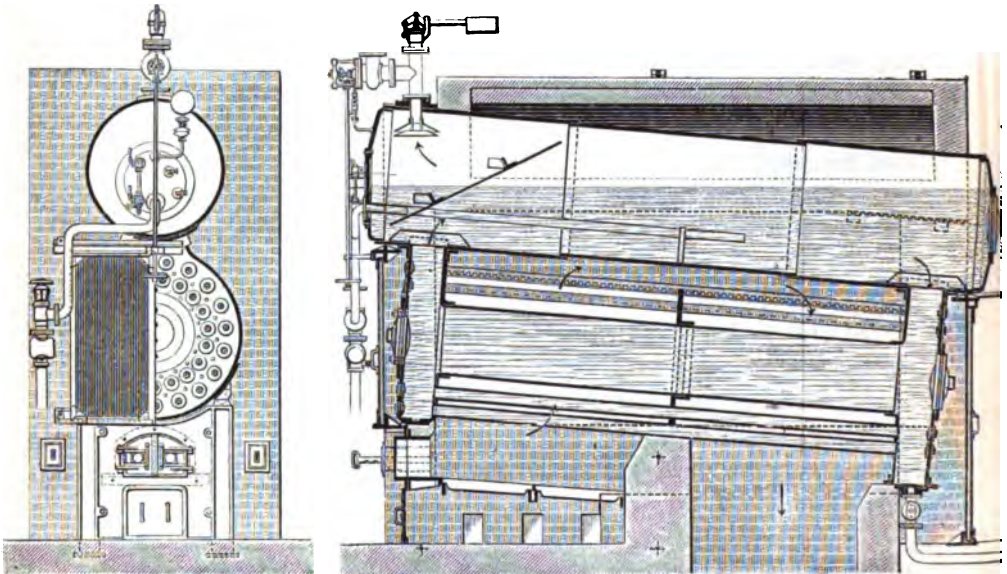


Fig. 58.

werden, durch kein Patent geschützt ist, so wird derselbe von mehreren Kesselfabriken nachgebaut, welche dann, um trockenen Dampf zu erhalten, statt des patentirten Steinmüller'schen Wasserabscheiders, irgend eine andere, eigenthümliche Einrichtung an ihren Kesseln anbringen.

Ein solcher Wasserröhrenkessel ist der von Heine, von dem Figur 58 einen senkrechten Längenschnitt (in seiner früheren Ausführung) zeigt.

Dieser Kessel unterscheidet sich von dem Steinmüller-Kessel nur dadurch, daß seine flachen Wasserklammern rund sind und sich in Mitten des in konzentrischen Kreisen angeordneten Bündels von engen, ein weites Siederohr von 0,3 m bis 0,8 m Durchmesser befindet, und daß der Oberkessel ebenfalls den Heizgasen ausgesetzt ist.

Bei den neueren Ausführungen des Heine-Kessels fehlt das weite Siederohr, wodurch der Kessel entschieden an Sicherheit gewinnt. Der weite Sieder wird besser durch enge Röhren ersetzt, da hierdurch zugleich eine größere Heizfläche erhalten wird.

Um trockenen Dampf zu erhalten, ist in dem Heine-Kessel über der Mündung des Stuzens, der die vordere, höher liegende Wasserlammer mit dem Kessel verbindet, eine schräge Platte angeordnet, welche das Spritzwasser von dem vorderen Dampftraume zurückhält, aus welchem die Dampfenahme stattfindet. Zugleich wird dadurch dem Wasser, welches mit dem Dampfe in den Oberkessel eintritt, eine Richtung nach dem hinteren Kesselttheile gegeben, aus welchem das zur Speisung der Siederöhren erforderliche Wasser in die hintere Kammer niedersinkt. Bei geräumigem Oberkessel kann hierdurch recht wohl trockener Dampf erhalten werden. Das durch die vordere Stirnwand des Oberkessels eingeführte Speisewasser, dem durch ein langes, weit in den Kessel hineinragendes, mit der Kessellage paralleles Rohr ebenfalls die Richtung nach der hinteren Wasserlammer gegeben wird, befördert den Kreislauf des Wassers im Kessel, und der geräumige Schlammfack der hinten liegenden Wasserlammer giebt dem niedersinkenden Kesselwasser Gelegenheit, die ausgetriebenen festen Bestandtheile dort abzusetzen, von wo sie durch Abblasen mittels des Hahnes unter dem Schlammfackler nach Erforderniß entfernt werden können.

Anderer Kesselfabriken, wie z. B. Breda & Co. in Schleuditz bei Leipzig, führen das Dampfwasser nur durch einen trichterförmig nach oben erweiterten Stuzen bis über den Wasserstand im Oberkessel, wo dasselbe zum Ueberlaufen kommt, während die Dampfenahme aus dem Kessel durch ein langes, oben durchlöcheretes Rohr von hinten her stattfindet, so daß der Dampf auch trocken aus dem Kessel tritt. Auch suchen diese und andere

Kesselfabriken die Ablagerung des Schlammes in dem nicht geheizten Oberkessel dadurch zu begünstigen, daß in demselben rechtwinkelige Blecheinlagen eingestellt werden; der sich am Kesselboden ablagernde Schlamm wird dann durch ein langes durchlöcheretes Rohr von Zeit zu Zeit entfernt.

Figur 59 zeigt Durchschnitt und Vorder-Ansicht des Breda'schen Kessels, dessen Anordnung und Einzelheiten nach dem eben Gesagten leicht verständlich sein dürften.

*) Wasserröhrenkessel mit einer Wasserkammer.

Während bei den vorherbeschriebenen Kesseln die Siederöhren in zwei Wasserkammern eingebaut sind, um die bei solchen Kesseln durchaus nöthige Wasser-Strömung herbeizuführen, haben die Kesselfabriken von Dürr & Co. in Ratingen, E. Willmann in Dortmund und andere nur eine Wasserkammer

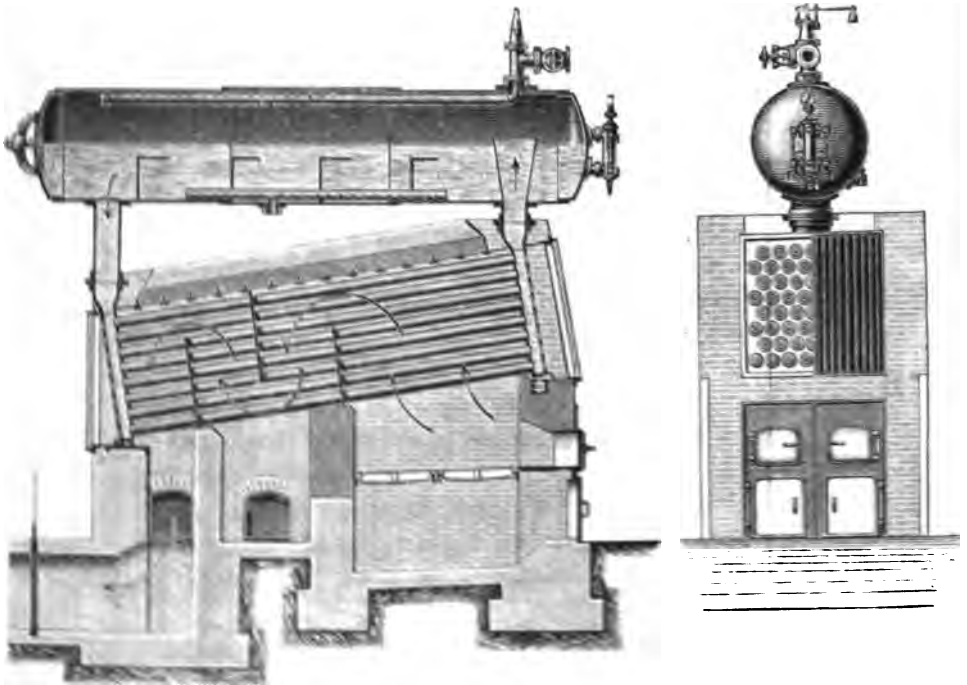


Fig. 59.

mit dem Oberkessel verbunden, in deren eine flache Wand die Siederöhren angelegt werden.

Hierdurch wird ein großer Uebelstand beseitigt, der bei allen, an beiden Enden befestigten Röhren unvermeidlich ist, nämlich das Undichtwerden der Verbindungen, beziehungsweise das Krümmen der Röhren.

Da sich nämlich die Röhren, die Wasserkammern, und der mit ihnen in Verbindung stehende Oberkessel ungleich erwärmen, so müssen sie sich ungleich ausdehnen, und die Folge davon ist, daß sich entweder die Röhren krümmen, oder undicht werden. Sizen die Röhren in den beiden Wasserkammern jedoch sehr fest, und krümmen sie sich auch nicht, so werden die beiden Kammer auseinander gedrängt und die Verbindung der Stützen mit dem Oberkessel muß nachgeben, oder die Wandung des Oberkessels wird verbogen. Da nun bei einer darauf folgenden Erkaltung des Kessels die Bewegungen im entgegengesetzten Sinne stattfinden, so folgt, daß hier jeder Wechsel der Temperatur bei der Erwärmung und Erkaltung auf eine Zerstörung des Materials hinarbeitet und zu Undichtheiten, Rohrbrüchen und dergl. führen muß.

Sind dagegen die Siederöhren nur auf einer Seite in der Kesselwand befestigt, so können sie sich frei ausdehnen und zusammenziehen ohne gewaltsame Spannungen und Verbiegungen hervorzurufen.

Die Siederöhren sind dann am andern Ende geschlossen; um aber eine Wasserströmung in ihnen hervorzubringen, wird in jede einzelne Röhre eine beiderseits offene engere Röhre eingeschoben, die nicht ganz bis zum Boden der Siederöhre reicht. Die einzige Wasserkammer aber wird durch eine Zwischenwand in zwei Abtheilungen oder Zellen getheilt, und es sinkt in der einen derselben, mit welcher die engen Speiseröhren verbunden sind, das dicke, schwerere Kesselwasser nieder, womit die Siederöhren gespeist werden, während in der andern Zelle das Dampfwasser aufsteigt, um sich in den Oberkessel zuergießen und hier auf einem langen Wege den Dampf frei werden zu lassen. Figur 60 f. S. zeigt den Kessel von Dürr & Co. Diese geben ihren Kesseln zwei etwas geneigte, parallel nebeneinander angeordnete Oberkessel, die aber an ihrem hinteren Ende durch einen horizontalen Stützen mit einander in Verbindung stehen. Die Wasserkammer ist mit beiden Oberkesseln und zwar so verbunden, daß der eine mit der Dampfwaterzelle, der andere aber mit der Speisewaterzelle in Verbindung steht. Das Speisewater wird in denjenigen der beiden Oberkessel eingeführt, in welchen das Dampfwater aus den Siederöhren eintritt; hier mischt es sich mit dem letzteren, erwärmt sich dabei bis auf die Dampfwatertemperatur, und kann auf dem langen Wege, den es zu nehmen hat, um in die Siederöhren zu gelangen, die dabei ausgeschiedenen festen Bestandtheile fallen lassen.

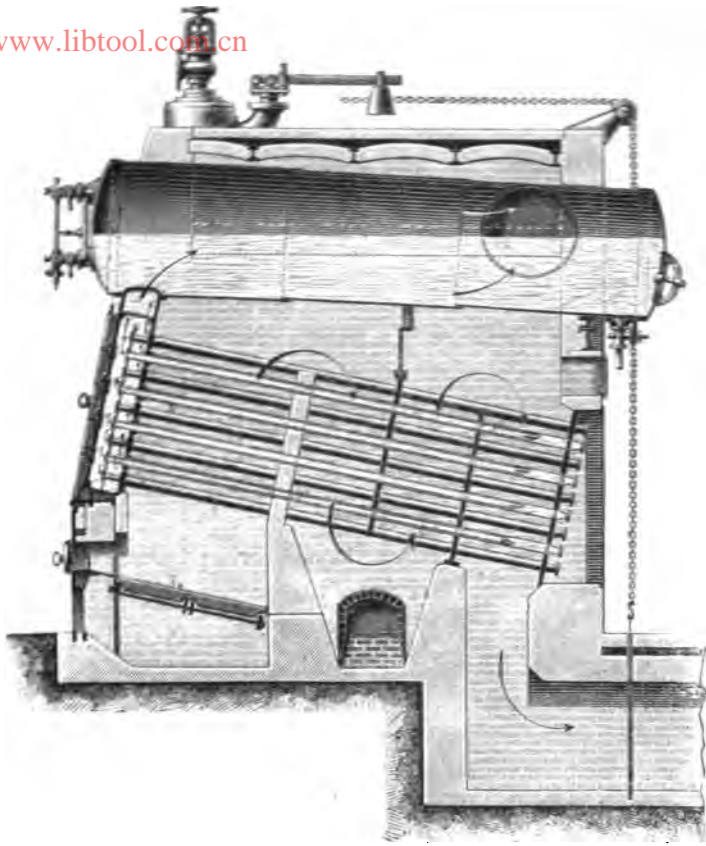


Fig. 60.

Das Speisewasser muß beide Oberkessel in ihrer ganzen Länge durchströmen; ebenso auch der Dampf, welcher auf diesem Wege Zeit hat, sich aus dem langsam hinfließenden Kesselwasser frei zu machen ohne Wasser mit fortzureißern, so daß er aus dem Kessel trocken entnommen werden kann.

Bei Anwendung nur eines Oberkessels werden durch Einfügung einer lothrechten Mittelwand in denselben zwei Abtheilungen geschaffen, die nur hinten eine Verbindung des Dampfes und Wassers gestatten. Beides muß dann erst die eine, und danach die andere Kesselhälfte durchfließen, so daß die Wirkung dieselbe ist, wie bei zwei Oberkesseln.

Die flachwandige Wasserkammer muß durch Stehholzen gehörig versteift werden, und da die Vorderwand jedem einzelnen Siederohre gegenüber mit einer verschließbaren Oeffnung zu versehen ist, welche ein Herausnehmen

und Wiedereinsetzen der Röhren gestattet, so muß auch die Zwischenwand in der Wasserkammer, in welcher die engen Speiseröhre ausmünden, aus einzelnen Theilen zusammengesetzt werden. Außerdem sind die Siederöhren an ihrem hinteren Ende je mit einem Verschlußdeckel verschraubt.

Dies alles macht den Kessel ziemlich umständlich und daher theuer; auch muß der Schlamm nur unvollständig in den Oberkesseln zur Ablagerung kommen und kann daselbst auch festbrennen, weil die Oberkessel mit den Siederöhren gleichzeitig geheizt werden.

Siederöhren überhaupt horizontal oder schräg zu legen ist ein doppelter Fehler, einmal, weil sich auf ihnen Flugasche ablagern kann, und dann weil dadurch den sich entwickelnden Luft- und Dampfblasen das schnelle Aufsteigen nach dem Dampfraume sehr erschwert, ein Durchbrennen der Röhren aber ungemein, selbst bei dem reinsten Speisewasser, begünstigt wird.

ζ. Senkrechte Siederöhren.

Eine ganz eigenthümliche Einrichtung hat der neue Wasserrohrkessel, Patent Hohlfeld (D. R.-P. Nr. 35 077 und 39 021), welcher in Figur 61 dargestellt ist. *) Der Kessel besteht je nach der Größe seiner Heizfläche aus 2, 3 oder mehreren Röhrenbündeln und sind dieselben in der Weise

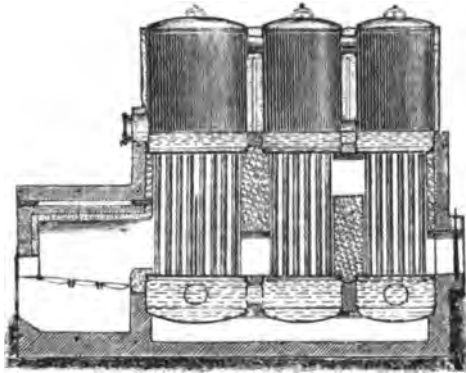


Fig. 61.

hergestellt, daß immer zwei Zylinder durch eine Anzahl Rohre verbunden sind. Wesentlich und eigenthümlich ist, daß die lästigen Verschlässe und Verdichtungen der einzelnen Rohre ganz fortfallen; der Verschluß geschieht in der einfachsten Weise durch Mannlöcher.

*) Derselbe wird angefertigt von L. Koch, Sieghütte bei Siegen.

Die Speisung geschieht in dem untersten, hinteren Zylinder und das Wasser rückt durch das letzte Rohrsystem in den hinteren oberen Zylinder, tritt von hier in den nächsten oberen und durch das mittlere Rohrbündel nach dem mittleren unteren, um schließlich durch den ersten unteren Zylinder und das erste Rohrsystem nach dem ersten oberen Zylinder zu gelangen.

Die Heizgase ziehen dem Wasserwege entgegengesetzt. Sie bestreichen zuerst das 1. Rohrbündel, schlagen über die Manerzungen nach dem zweiten u. s. f. Durch diese Anordnung ist das Gegenstromprinzip in Anwendung gebracht; an der kältesten Stelle wird gespeist und die vorderen, die größte Hitze empfangenden Röhren enthalten nur vollkommen reines, im höchsten Grade erwärmtes Wasser. Ueber dem Feuergebläse ist ein Luftkanal eingeführt, in welchem die Luft stark vorgewärmt wird; dieselbe tritt beim ersten Rohrbündel aus, vermischt sich mit den Gasen und bringt letztere zur vollständigen Verbrennung.

Durch die vertikale Anordnung der Röhre können die entwickelten Dampfbläschen ungehindert nach oben entweichen, jede stoßweise Bewegung des Wassers ist vermieden und ein Mitreißen des Wassers kann nicht erfolgen. Die lebhafteste Wasserbewegung und senkrechte Lage der Röhre verhindert ein Ansetzen und Festbrennen von Kesselstein auf denselben. Die Ausscheidung der festen Bestandtheile erfolgt in den untersten Zylindern und hier ist eine Steinbildung ausgeschlossen, da die Flamme dieselben nicht umspült.

Ausbesserungen sind fast gänzlich ausgeschlossen, da weder Riete noch Naht im Feuer liegt, etwaige kleine Undichtigkeiten an den Röhren können leicht von jedem Schlosser durch Nachwalzen mit der Dichtmaschine behoben werden. Eine Explosion ist „gänzlich ausgeschlossen“, da bei Wassermangel einfach das aus den undichten Röhren ausströmende Wasser das Feuer löschen würde. Als Vorzüge dieses Kessels werden bezeichnet:

Bedeutende Kohlen-Ersparniß, keine Rohrverschleiß, Undichtwerden und Ausbesserungen fast ausgeschlossen, bequeme Reinigung innen und außen, Explosionsicherheit, billiger Anschaffungspreis.

7. Allgemeine Bemerkungen über die sogenannten nicht explodirenden Sicherheits-Dampfkessel. *)

Das Wort „nicht explodirbar“ ist geeignet den Glauben zu erwecken, daß nun an einem solchen Kessel gar keine Unglücksfälle vorkommen können. Das ist irrtümlich.

*) Weintig, Jahresbericht des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb 1886.

Unzweifelhaft haben die engröhrigen Sieberohr-Kessel, an richtiger Stelle angewendet, ihre Vorzüge, auch ist sicherlich die Explosions-Wirkung verhältnißmäßig gering, aber die Anwendung des hohen Dampfdruckes bringt auch manche Gefahr mit sich.

Nicht selten zerreißt ein über dem Feuer liegendes Rohr und der mit 10—15 Atm. herausspritzende Wasserstrahl vermag erhebliche Zerstörungen und Verletzungen hervorzubringen.

Folgender Fall ereignete sich an einem Koot'schen sogenannten nicht-explo-dirbaren Dampf-Kessel von 42,6 qm Heizfläche und 2,0 qm Rostfläche. Der Kessel ist zu 10 Atm. konzeffionirt und arbeitet auch in Folge dessen mit hohem Druck. Gefeuert wird derselbe fast ausschließlich mit Holzabfällen. Das Speisewasser hinterläßt viel Schlamm, welches ein sehr häufiges Abblasen des Kessels bedingt und welches, nach Aussage des Besitzers, regelmäßig in bestimmten Zwischenräumen auch geschehen sein soll.

Eines Tages ist nun plötzlich ein im Feuerherde liegendes Rohr in dem Augenblick, wie der Heizer den Rost beschicken will, aufgerissen und der Heizer dabei schwer verletzt worden. Wie nachträglich durch die Untersuchung nachgewiesen wurde, ist das Rohr überhitzt gewesen, hat geglüht und in Folge dessen zerplatzt es. Die aufgerissene Stelle, welche nicht in der Schweißnaht lag, war etwa 320 mm lang und 80 mm breit.

Ein zweiter Fall trug sich bei einem Huldschinsky'schen Kessel (Schmidt's Patent) zu, wobei die Hausbewohner glücklicherweise mit bloßem Schrecken davon kamen, welchen der heftig ausblasende Dampf verursachte, der durch das aufgerissene Rohr entströmte.

Bei einem 1 Jahr alten Belleville-Kessel bogen sich zwei über dem Roste liegende Rohre aus nicht genau ermittelten Ursachen derartig gefährlich durch, daß der Betrieb sofort unterbrochen werden mußte. Hier verdankte man es lediglich der guten Aufsicht durch die Fabrikbeamten, daß die Rohre nicht aufrißen oder durchbrannten.

Es hat die Erfahrung gezeigt, daß ein zu geringes Maaß für den Dampf- und Wasserraum diese Kessel für den Betrieb untauglich macht, dieselben müssen für einen rationellen Betrieb mit einem Dampfsammler versehen sein, welcher den Dampf- und Wasserraum des Kessels vergrößert. Im allgemeinen liegt der Dampfsammler außerhalb des Bereichs der Feuergase, er ist zugänglich und kann leicht besichtigt werden. Das Prinzip, durch Anwendung enger Rohre möglichst explosions-sichere Kessel zu erhalten, wird durch Anwendung solcher Sammler in bedenklicher Weise durchlöchert. Trotzdem dadurch anscheinend die Betriebssicherheit vermindert wird, so hat sich doch herausgestellt, daß nicht etwa der Dampfsammler, sondern die

Rohre die gefährlichen Theile der engröhrigen Kessel sind. Letztere unterliegen der Einwirkung der Feuergase und des Wassers und sind mit dem großen Uebelstande behaftet, innerlich nicht besichtigt werden zu können. Dieser Umstand wiegt theilweise den hohen Werth der größeren Festigkeit auf, welchen die engröhrigen Kessel vor den Kesseln mit großem Wasserraum voraus haben. Nur das rechtzeitige Erkennen einer drohenden Gefahr giebt die Mittel an die Hand, die Gefahr zu beseitigen. Bei den engröhrigen Kesseln wird in den meisten Fällen die Gefahr nicht erkannt werden können, sie sind deshalb also nicht so betriebssicher, wie sie den Anpreisungen nach sein müßten und es muß bei deren Betriebe alle mögliche Vorsicht angewandt werden.

An einem Schmidt'schen Kessel (Huldschinsky, Patent Schmidt) explodirte Nachmittags 1 $\frac{1}{2}$ Uhr ein Rohr der zweiten Rohrreihe des Vorderkessels, wenn die direkt über der Feuerung gelegene Reihe als erste betrachtet wird. Der fragliche Kessel besaß drei Wasserstandsgläser, von denen das oberste am Dampfsammler angebracht war; auf der Höhe der Marke dieses Wasserstandes wurde das Wasser im Kessel während des Betriebes gehalten und soll nach Aussage des Meisters und Heizers auch zur Zeit des Vorfalles auf derselben gestanden haben. Der Kessel ist zu zehn Atmosphären konzeffionirt, der Druck soll neun Atmosphären zur Zeit der Katastrophe betragen haben. Das Rohr hat etwa 100 mm lichten Durchmesser und 2500 mm Länge. Die unteren Rohrreihen sind durch Chamottegewölbe, in welchen sich behufs Durchlaß der Feuergase Schlitze befinden, gegen zu starke Einwirkung der Flamme geschützt. Der Kofst besteht aus zwei Theilen, von denen jeder durch eine besondere Feuerthür beschißt wird. Genau vor der linken Feuerthür befindet sich die Thür des Kesselhauses.

Der Heizer hatte eben die linke Feuerthür nach erfolgtem Kohlenanwerfen geschlossen, als das Rohr platzte. Er wurde durch die Kesselhausthür hindurch ins Freie geschleudert und fiel auf eine Kohlenarre. Das Rohr war gerade über der rechten Thür aufgeplatzt, das Gemisch von Wasser und Dampf strömte hauptsächlich aus dieser rechten Thür aus, während zur linken Thür die glühenden Kohlen herausgeschleudert wurden, welche nur die Kleider des Heizers etwas verbrannten. Hätte der Heizer vor der rechten Thür gestanden, so wäre er schwerlich mit dem Leben davongekommen. Das Rohr war auf eine Länge von 535 mm bei 160 mm Maximalbreite aufgeplatzt. Auffallend war die geringe Blechstärke an der Bruchstelle. Einzelne Rohre der unteren Rohrreihen waren stark durchgebogen. Ob Kesselsteinablagerung im Rohr die Ursache der Explosion gewesen, ließ sich

nicht mehr ermitteln, da durch den Dampf das Rohr innerlich rein gefegt wurde, ausgeglüht war dasselbe allem Anschein nach nicht.

Die Rohre des Vorderkessels waren mit denen des Hinterkessels öfters vertauscht worden, um das Anfressen der Rohre im Innern durch die Luft möglichst unschädlich zu machen. Es läßt sich hiernach annehmen, daß das fragliche Rohr nicht während der gesammten Betriebszeit über der Feuerung gelegen hat.

VIII. Die Dampfkessel-Ausrüstung.

Zum Betrieb eines Dampfkessels sind mancherlei Nebentheile nothwendig, welche in ihrer Gesamtheit als Ausrüstung oder Armatur bezeichnet werden. Dieselben dienen zur Zuführung und Vorwärmung des Speisewassers, zur Abführung und Entwässerung des Dampfes, zur Beobachtung von Druck und Wasserstand, zur Schonung gegen Explosionsgefahr, endlich zur Ermöglichung der Reinigung und vollständigen Revision des Kessels.

Die Speisung und Vorwärmung.

Da eine Unterbrechung im regelmäßigen Ersatz des verdampften Wassers durch Speisewasser leicht dazu führen kann, daß ein Theil der feuerberührten Kesselfläche ins Glühen kommt und hierdurch Explosionsgefahr entsteht, so muß nach gesetzlicher Vorschrift jeder Dampfkessel mit zwei von einander unabhängigen Speisevorrichtungen versehen sein. Als solche stehen zur Verfügung:

1. Handspeisepumpen, welche nur für kleine Kessel oder zum Füllen des Kessels brauchbar sind,
2. Pumpen, welche durch die Dampfmaschine direkt oder vermittelt betrieben werden,
3. Selbständige Dampfpumpen, bestehend in der Verbindung einer Speisepumpe mit einer kleinen Dampfmaschine, welche aus dem zu speisenden oder einem anderen Kessel den nöthigen Dampf erhält,
4. Die Dampfstrahlpumpe (Giffards-Injektor),
5. Der sogenannte retour d'eau,
6. Zahlreiche selbstthätige Speisevorrichtungen neuerer Konstruktion,
7. Hochdruckwasserleitungen.

Statt erschöpfender Beschreibung dieser verschiedenartigen Speisevorrichtungen mögen hier einige allgemeine Bemerkungen über dieselben Platz finden.

Um den Zweck der Bestimmung zu erreichen, daß zwei Speisevorrichtungen vorhanden sei müssen, ist es natürlich auch nöthig, daß diese

immer in gutem Zustande sind. Das erreicht man am besten, wenn dieselben tags- oder wochenweise abwechselnd in Dampfung genommen werden.

Jede Speisevorrichtung muß wesentlich mehr Wasser liefern können als der Kessel bei normalem Betrieb braucht. Deshalb muß die Speisung entweder periodisch unterbrochen oder reguliert werden können. Letzteres ist vorzuziehen, da hierbei der Wasserstand möglichst in gleicher Höhe bleibt. Bei Dampfzumpen reguliert man durch die Hubzahl, bei Pumpen, die von der Haupt-Dampfmaschine getrieben werden, durch Mischungen einer kleinen Luftmenge oder durch ein mit Hub veränderliches Rückschloß zwischen Saug- und Druckraum der Pumpe, oder, am besten, durch Verstellung des Kolbenhubes mittelst Antriebshebel.

Die selbsttätigen Speiseapparate erleichtern dem Kesselswärter die Arbeit sehr; sie schließen aber die Aufmerksamkeit ein. Man ist deshalb noch verschiedener Ansicht darüber, ob man der Zuverlässigkeit dieser Apparate mehr trauen darf, als der des Durchschmittsheizers.

Hinsichtlich der Betriebskosten ist zu bemerken, daß die von der Hauptmaschine betriebenen Pumpen in der Regel weniger Dampf verbrauchen als die selbsttätigen Dampfzumpen und daß sie in dieser Beziehung auch allen andern Speiseapparaten überlegen sind. Im Vergleich zum Dampfverbrauch der Hauptmaschine ist jedoch derjenige für die Speisung immer so gering (meist unter 1%), daß die Unterschiede für die Wahl der Speisevorrichtung nicht maßgebend sein können. Vielmehr sollen hier Einfachheit und Zuverlässigkeit in erster Linie entscheiden.

Die Speiserohrleitung muß im Kessel durch ein selbsttätiges Ventil Speiseventil, abgeschlossen sein, welches sich immer gleichzeitig mit dem Druckventil der Pumpe öffnet. Bringt man über dem Ventil eine Druckschraube an, durch welche es auf den Sitz hernieder gedrückt werden kann, so kann auch diese Schraube dazu dienen, die dem Kessel zuströmende Wassermenge zu regeln, doch muß dann, um Rohrbrüche zu vermeiden, irgendwo ein zweites stark belastetes Ausflußventil vorhanden sein. Bei Kesselbatterien d. h. einer Reihe von Kesseln, die in dieselbe Dampfleitung arbeiten, wird jeder Kessel mit der gemeinschaftlichen Speiseleitung in Verbindung gebracht. Es ist nicht zulässig, die Wasserräume derartiger Kessel mit einander in offene Verbindung zu setzen, da schon durch die Widerstände, welche der Dampf in den Dampf-Ventilen findet, leicht verschiedener Druck in den Kesseln entstehen kann, wodurch das Wasser schnell aus einem Kessel in einen andern gedrückt werden könnte.

Das Speiseventil muß möglichst bequem zugänglich und so eingerichtet sein, daß man es leicht reinigen kann.

Das Speiserohr führt man soweit in das Innere des Wasserraums, daß das Speisewasser nicht unvermischt die Kesselwand berühren kann, da sich sonst an den betreffenden Stellen leicht Kesselstein absetzen, auch das Blech durch die häufigen Temperaturänderungen geschädigt werden könnte.

Zur Vorwärmung kann sowohl die Abhize des Kessels als auch die Wärme des verbrauchten Dampfes dienen. Ersteres findet statt bei dem unter dem Namen Greens Economiser bekannten Bündel gußeiserner Röhren, welches in den erweiterten Fuchs zwischen Kessel und Schornstein eingebaut wird, und durch einen in beständiger Bewegung befindlichen Rußträger oberflächenrein erhalten wird, damit die Wärmeabgabe leicht vor sich gehen kann.

Letzteres kann sowohl bei Auspuffmaschinen als auch bei Kondensationsmaschinen mit Vorteil geschehen, wenn die Wärme des entweichenden Dampfes nicht oder nur theilweise für andere Zwecke verwendet wird.

Bei Auspuffmaschinen entweicht der Dampf mit einer Temperatur von wenig über 100° C. und enthält in jedem Kilogramm eine Wärmemenge von 637 W. E. Hat nun das Speisewasser eine natürliche Temperatur von 10° so sind, um es bis 100° zu erwärmen 90 W. E. erforderlich, eine Wärmemenge, welche der in gleicher Menge entweichende Dampf 7 mal enthält, so daß zu dieser schon sehr weit gehenden Vorwärmung nur $\frac{1}{7}$ des Dampfes gebraucht würde. Am meisten werden Röhrenvorwärmer benutzt, und zwar empfiehlt es sich in denselben dem Dampf die entgegengesetzte Bewegung zu geben wie dem Wasser, da auf diese Weise die höchste Temperatur erreicht wird. Röhrenvorwärmer können auch zwischen Zylinder und Kondensator bei Kondensationsmaschinen eingeschaltet werden, doch ist hier eine so weit gehende Vorwärmung nicht möglich, da der Dampf bei guter Ausnutzung schon mit wesentlich weniger als 100° aus dem Zylinder entweicht. Man kann die Wärme des Abdampfes auch durch Mischung an das Speisewasser übertragen. Das geschah früher in den nur noch selten vorkommenden offenen Vorwärmern mit frei im Dampf strömenden Wasser, geschieht aber noch jetzt in den Mischhähnen der meisten Lokomobilen, bei denen ein Theil des Abdampfes, der zur Zugerzeugung im Blasrohr nicht gebraucht wird, in einem kleinen Strahlapparat Wasser saugt, etwas gewärmt in den Speisebottich zurückwirft, von neuem saugt u. s. f. bis dasselbe genug Wärme aufgenommen hat.

Es wird hiervon später noch eingehender die Rede sein.

Die Dampfentnahme und Entwässerung.

Die Hauptschwierigkeit bei der Ableitung des Dampfes aus dem Kessel besteht in der Zurückhaltung des Kesselwassers. Ist der Dampfraum groß

genug, so ist es leicht, trockenen Dampf zu gewinnen. Bei kleinem Dampfraum ist jedoch die Strömung in demselben so stark, daß Wassertheilchen mitgerissen werden, welche sich später schwer abcheiden lassen.

Ein sehr gebräuchliches und bewährtes Mittel zur Erzielung trockenen Dampfes ist der sogenannte Dampfdom. In England hat man denselben als altmodisch verlassen und findet es zweckmäßiger, in den Dampfraum ein langes siebartig durchbohrtes Rohr zu legen, welches auf seiner ganzen Oberfläche den Dampf aufnimmt und hierdurch eine horizontale Strömung über der Wasserfläche, die besonders schädlich sein würde, vermeidet.

Zur möglichsten Entwässerung eines Dampfstromes giebt es zahlreiche Apparate, bei denen in der Regel ein mehrfacher Richtungswechsel die Hauptrolle spielt. Wirklich befriedigend wirken dieselben jedoch selten, da der mit großer Geschwindigkeit strömende Dampf auch die an die Gefäßwände geschleuderten Wassertröpfchen wieder losreißt und mitführt. Mit einiger Sicherheit läßt sich die Aufgabe nur dadurch lösen, daß man dem Dampfstrom in aufsteigender Strecke einen so stark erweiterten Querschnitt giebt, daß die Geschwindigkeit kleiner wird als die relative Fallgeschwindigkeit der Wassertröpfchen im Dampf. Es ist offenbar dasselbe Mittel, welches auch schon der Dampfdom darstellt.

Die sogenannten Dampfwaterableiter haben eine andere Aufgabe. Sie dienen zur Ableitung des bereits zur Ruhe gekommenen Wasserniederschlages in Dampfleitungen und können daher als zusätzliche Apparate bei Wasserabscheidern von Nutzen sein, um das noch im Gefäß des Dampfstromes befindliche Wasser zu entfernen.

Es giebt zwei Klassen von Ableitern, welche sich durch die Wirkungsursache unterscheiden. Bei der einen Klasse veranlaßt der Unterschied im spezifischen Gewicht zwischen Wasser und Dampf, daß das sich in dem Apparat anammelnde Wasser abläuft, während dem Dampf der Ausgang versperrt bleibt, bei der andern ist es der Temperaturunterschied, welcher durch Wärmedehnung eines Metallgestänges ein Wasserventil öffnet oder schließt, je nachdem es mit Wasser oder Dampf bedeckt ist. Bei den Apparaten der ersten Klasse wird das Wasserventil entweder durch einen Schwimmer geöffnet, wenn der Wasserstand in dem Schwimmergehäuse eine bestimmte Höhe erreicht hat, oder die Oeffnung erfolgt durch einen schwimmenden Topf, dessen Höhenstellung begrenzt ist, so daß nach Erreichung der höchsten Stellung das Wasser überläuft und den Topf zum Sinken bringt, hierdurch aber das Wasserventil so lange öffnet, bis genug Wasser durch ein in den Topf reichendes Rohr abgeblasen ist.

Die durch den Temperaturunterschied wirkenden Wasserabscheider können auch gleichzeitig oder ausschließlich zur Luftabführung dienen, da auch die Luft, welche sich in einer Dampfleitung etwa angefangen hat, eine niedrigere Temperatur behält als der Dampf und daher das Ventil in derselben Weise beeinflusst wie Wasser.

Beobachtung von Druck und Wasserstand.

Mit wenigen Ausnahmen werden zur Beobachtung des Dampfdruckes, besser des Ueberdruckes über den jeweilig herrschenden Luftdruck, sogenannte Federmanometer verwendet, da die früher gebräuchlichen Quecksilbermanometer theurer und, besonders für hohe Dampfspannungen, unbequem sind.

Die Federmanometer wirken entweder vermöge der Durchbiegung einer gewellten Metallplatte, auf welche von einer Seite der Dampf, von der anderen Seite die Atmosphäre drückt oder vermöge eines nahezu kreisbogenförmigen Metallrohres von elliptischem Querschnitt, welches sich durch den im Innern wirkenden Dampfdruck etwas ausbiegt. In beiden Fällen wird die zunächst sehr kleine Bewegung auf ein dieselbe vergrößerndes Zeigerwerk übertragen und so deutlich auf dem Zifferblatt lesbar gemacht. Um die formändernde Einwirkung der hohen Temperatur des Dampfes thunlichst auszuschließen, empfiehlt es sich stets, zwischen dem Manometer und dem Dampfsteil eine Sperrflüssigkeit, in der Regel Wasser, anzubringen. Das erreicht man, indem man in dem Anschlußrohr eine Uförmige Biegung anordnet, die sich von selbst nach und nach mit Wasser füllt und daher Wasserfad genannt wird. Schnelle Druckwechsel schaden den Manometern und sind daher thunlichst zu vermeiden.

Besonders feine Manometer, namentlich die Kontrolmanometer der Revisionsbeamten, werden aus diesem Grunde mit Schraub-Ventilen versehen, welche eine sehr behutsame Belastung des Mechanismus ermöglichen.

Zur Beobachtung des Wasserstandes im Kessel dienen Wasserstandsgläser, Schwimmer und Wasserstandshähne, und zwar muß nach gesetzlicher Vorschrift jeder Kessel mit einem Wasserstandsglase und mit einer zweiten zur Erkennung des Wasserstandes geeigneten Vorrichtung versehen sein. Wasserstandsgläser sind entweder Glasröhren von 15 bis 17 mm lichter Weite, welche oben mit dem Dampfraum, unten mit dem Wasserraum in Verbindung stehen, oder es sind starke Glasplatten, welche eine Schließöffnung in der Kesselwand bedecken. Die Rohrstücke, durch welches die Fassung eines Wasserstandsglases mit dem Kessel in Verbindung steht, sollen eine Weite von mindestens 25 mm haben und so eingerichtet sein, daß man

se leicht von Roststeinansatz befreien kann, auch müssen Hähne vorhanden sein, um im Falle eines Rohrbruches diese Verbindungsrohre schließen zu können.

Haßig werden die Wasserstandshähne gemeinsam mit dem Wasserstandsglas an einem besonderen weiten Gußeisenrohre angebracht. Die Verbindungsrohren nach dem Kessel müssen jedoch dann einen lichten Querschnitt von mindestens 60 qmm besitzen. Auch die Probirhähne müssen jederzeit leicht mit einem Draht durchstoßen werden können um den guten Zustand nachzuweisen und etwaige Verstopfungen entfernen zu können.

Schwimmer sind bei guter Ausführung theuer, werden jedoch neuerdings sehr zuverlässig geliefert und sind besonders in Frankreich und England sehr im Gebrauch. Die Schwimmer kann man leicht mit elektrischen oder Schallsignaleinrichtungen versehen, durch welche auf das Eintreten des höchsten oder niedrigsten zulässigen Wasserstandes aufmerksam gemacht wird.

Sicherung gegen Explosionsgefahr.

Indirekt dienen hierzu bereits die Speisevorrichtungen und Wasserstands- wie Druckanzeiger. Die hier zu besprechenden Einrichtungen haben jedoch die weiter gehende Aufgabe, einer bevorstehenden Gefahr selbstthätig ohne Huthun des Wärters entgegen zu wirken. Es sind dies die Sicherheitsventile, welche sich bei Ueberschreitung der höchsten zulässigen Dampfspannung öffnen und Dampf entweichen lassen, um eine weitere Drucksteigerung zu verhindern, sodann aber diejenigen Apparate, welche bei zu niedrigem Wasserstand oder zu hohem Dampfdruck, ein Signal geben oder das Feuer löschen. Die Sicherheitsventile erhalten meist durch Hebel vermittelte Gewichtbelastung, doch wird auch direkte Gewichtbelastung angewandt. Lokomotivkessel und Lokomotiven erhalten gewöhnlich Federbelastung mit Hebelübertragung, da sich die Gewichtbelastung infolge der Bewegung leicht ändert, sodas der Dampf vorübergehend abläßt, ehe noch die zulässige Wronge erreicht ist.

Nur den Betrieb ist die aufmerksame Beobachtung des Sicherheitsventiles eine Sache von großer Wichtigkeit, und es ist ein nicht zu verkennender Mangel der Ventile mit direkter Belastung, daß leichtsinnige oder verdrachserische Beeinflussungen derselben nicht so leicht möglich sind, wie bei den Hebelventilen. Wichtig ist ferner, daß das Ventil eine recht genaue und gegen Klemmung gesicherte Führung im Ventilgehäuse hat und mit einer möglichst schmalen Ringfläche auf seiner Sitzfläche ruht.

Andere Sicherheitsvorrichtungen, wie z. B. der Blasche Warner oder der H. Schwarztopf'sche Sicherheitsapparat wirken thermometrisch, indem

sie bei Ueberschreitung einer bestimmten Temperatur in Folge zu hoher Dampfspannung oder zu niedrigen Wasserstandes einen leicht schmelzbaren Pfropfen zum schmelzen bringen, wodurch bei ersterem eine Dampfpeife, bei letzterem ein elektrischer Strom und durch diesen ein Läutewerk in Thätigkeit gesetzt wird.

Aus einem Vortrage*) über Neuerungen an Sicherheitsvorrichtungen entnehmen wir folgende Bemerkungen über den Schwarzkopff'schen Sicherheitsapparat, welchen der Vortragende (Direktor Lach) ganz besonders empfahl.

Der Schwarzkopff'sche Sicherheits-Apparat giebt auf elektrischem Wege ein Alarmsignal und zwar gleichzeitig im Kesselhause und an beliebigen anderen Stellen, sobald durch einen Fehler in der Kesselwartung oder durch irgend welchen Zufall die Sicherheit des Betriebes gefährdet wird.

Er soll melden:

1. den Wassermangel im Betriebe, bei Unterschreitung der polizeilich vorgeschriebenen Marke für den niedrigsten Wasserstand;
2. den Wassermangel beim Anheizen des Kessels, ehe die Bleche glühend werden;
3. die Ueberschreitung der höchsten zulässigen Spannung, wenn der Konzeptionsdruck um 0,5 bis 1 Atm. überschritten wird;
4. Ueberhitzungen im Kesselwasser bei überangestregtem Betriebe, zu hohem Salz- oder Schlammgehalt, Siedeverzug.

Für die unter 2 und 4 angegebenen Arbeiten ist kaum ein anderer brauchbarer Apparat außer dem Schwarzkopff'schen in die Praxis eingeführt. Die meisten sonst gebräuchlichen Kessel-Sicherheits-Apparate zeigen entweder nur den Wassermangel oder die Drucküberschreitung an; kein einziger vereinigt beides.

Sobald eine der unter 1 bis 4 genannten Unregelmäßigkeiten eintritt, schmilzt eine im Innern des Apparates angebrachte Metall-Legierung. Das schmelzende Metall stellt einen Kontakt her zwischen den beiden isolirten Einsatzdrähten. Hierdurch ertönen im Kesselhause und auf den übrigen Stellen die Alarmglocken, so lange bis der Apparat ausgeschaltet und der Kessel in Ordnung gebracht worden ist.

Die Konstruktion und Wirkungsweise des Apparates soll durch folgende Beschreibung erklärt werden.

Der Apparat besteht aus zwei konzentrischen Röhren, welche fest mit einander verbunden und durch einen Flantsch in geeigneter Weise auf dem

*) Jahresbericht des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb 1887.

Kessel befestigt sind. Das innere Rohr ist unten geschlossen und oben offen und geht in einem Stück durch. Das äußere Rohr ist oben geschlossen und unten offen und reicht bis zum niedrigsten zulässigen Wasserstande in den Kessel herab.

Es bildet sich also zwischen diesen beiden Rohren ein ringförmiger Hohlraum. Ein ebensolcher befindet sich in dem doppelwandigen Kopfe. Beide Ringräume sind durch ein kupfernes Schlangrohr mit einander verbunden.

Befindet sich der Wasserstand im Kessel in mittlerer Höhe, so wird vor dem Anheizen das Wasser im Kessel und im Ringraume des Apparates gleich hoch stehen. Bei dem geringsten Ueberdruck aber wird es in letzterem emporgedrückt und wird — wenn man den Luſthahn geöffnet hat — schon bei $\frac{1}{2}$ Atm. durch das Schlangrohr aufsteigend den ganzen Ringraum bis in den Kopf erfüllen.

Dieses Wasser kühlt sich durch Wärmeausstrahlung ab, und es bleibt erfahrungsmäßig bei den für den Apparat gewählten Dimensionen der Kopf des Apparates kühler als 100° C., so lange derselbe mit Wasser erfüllt ist, d. h. so lange das Eintauchrohr im Kessel durch Wasser verschlossen ist.

Sobald aber im Kessel der Wasserstand unter den niedrigst zulässigen Punkt sinkt, also die untere Oeffnung des Außenrohrs frei wird, fällt der gesammte Kühlwasserinhalt aus dem Ringraum des Apparates in den Kessel zurück, und es tritt dafür Dampf mit derjenigen Temperatur ein, welche der jeweiligen Kesselspannung entspricht. Hierdurch erhitzt sich in wenigen Sekunden der Kopf des Apparates wesentlich über 100° , und diese Veränderung wird benutzt, um das Signal für beginnenden Wassermangel zu geben.

In das Innenrohr ist ein Einsatzkörper, die sog. Kette eingeschoben. Diese besteht aus 2 starken Kupferdrähten welche durch aufgeschobene Serpentinsteine von einander isolirt und zugleich zu einem für sich hantirbaren Körper verbunden sind. Diese Drähte werden in der üblichen Weise in eine elektrische Signalleitung eingeschaltet. In Höhe des Kopfes befindet sich eine Büchse aus Messingrohr, deren trichterförmiger Boden und Verschlußdeckel aus isolirendem Schieferstein gebildet ist. In diese Büchse wird ein Ring eingelegt, aus einer Metalllegirung, welche bei 104° schmilzt.

In normalem Zustande liegt also dieser Ring um die Drähte herum, ohne sie zu berühren; dieselben sind vielmehr vollständig isolirt. Sobald aber, wie vorbeschrieben, durch Wassermangel im Kessel der Kopf des Apparates über 100° erhitzt wird, schmilzt der Ring; der erste abschmelzende Tropfen geht nach dem tiefsten Punkte des trichterförmigen Bodens der

Büchse und stellt hier einen metallischen Kontakt her zwischen den beiden bis dahin isolirten Drähten und setzt so die Alarmglocken im Kesselhause, u. s. w. in Bewegung.

Da hierbei weder Dampf noch Wasser aus dem Apparate austritt, so kann man sofort, mitten im Betriebe des Kessels, die Einsatzdrähte herausziehen, das geschmolzene Metall ausgießen und einen neuen Ring einsetzen und hat, sobald der Wasserstand im Kessel wieder in normaler Höhe und der Kopf des Apparates abgekühlt ist, Alles wieder im arbeitsfähigen Zustande.

Im Bezug auf die Ueberschreitung der Konzessionsspannung ist zu erwähnen, daß einem jeden Dampfdruck im Kessel eine ganz bestimmte Temperatur entspricht z. B.:

3	Atm. Ueberdruck	. . . . .	144°	C.	
4	"	"	. . . . .	152°	"
5	"	"	. . . . .	159°	"
6	"	"	. . . . .	165,5°	"
7	"	"	. . . . .	171°	"
8	"	"	. . . . .	176°	"

Es werden nun zu dem Apparate Legirungsringe geliefert, deren Schmelzpunkt genau bei den oben angegebenen Temperaturgraden liegt und von der Kaiserl. Normalmischungs-Kommission geprüft werden.

Am untersten Ende der Einsatzdrähte ist nun eine eben solche Schmelzbüchse angebracht, wie die oben beschriebene. Da sich dieses untere Ende des Messingrohres dauernd im Kesselwasser befindet, so nimmt es auch dessen Temperatur an; dasselbe thut die untere Schmelzbüchse und der in diese eingelegte Legirungsring. Man verwendet hierfür einen Ring, dessen Schmelztemperatur mindestens 1 Atm. über der Konzessionsspannung liegt, z. B. für einen auf 4 Atm. konzessionirten Kessel einen unteren Ring von 159° C. So lange nun die zulässige Spannung nicht überschritten wird, hält sich der untere Ring unverändert und die Einsatzdrähte bleiben isolirt.

Sobald aber der Druck im Kessel die Konzessionsgrenze übersteigt, wird der untere Ring weich und stellt in der vorbeschriebenen Weise den Kontakt her, wodurch die Läutewerke auf den verschiedenen Stationen in Thätigkeit gesetzt werden.

Das untere Ende des Messingrohres befindet sich in der Nähe der feuerberührten Theile des Kessels. Wird dieser also angeheizt, ohne daß sich Wasser darin befindet, so kommt durch die strahlende Wärme der Feuerplatten der untere Ring ebenfalls zum Schmelzen, und zwar, wie durch direkte Versuche erwiesen ist, wenn die Feuerbleche eine Temperatur von

260–300° C. angenommen haben, also lange bevor dieselben glühend werden, was bekanntlich erst bei 525° beginnt.

Wenn das Kesselwasser durch Salz- oder Schlammgehalt, durch ungesteuerten Betrieb oder durch Siedeverzug über diejenige Temperatur erhitzt wird, welche unter normalen Verhältnissen dem jeweiligen Drucke entspricht, so wird der untere Ring ebenfalls erweichen und das Alarmsignal veranlassen, sobald seine Schmelztemperatur im Wasser erreicht und hierdurch ein gefahrdrohender Zustand eingeleitet ist.

Diese vier Arbeiten versteht der Apparat mit der peinlichsten Genauigkeit, ohne das dabei der Betrieb irgendwie gestört wird. Schmilzt z. B. ein Ring, so schaltet man die Kette aus, zieht dieselbe heraus, entfernt den geschmolzenen Ring und legt einen neuen ein, was alles während des Betriebes in 5 Minuten geschehen kann. Sobald der ordnungsmäßige Zustand des Kessels wieder hergestellt ist, wird die Kette wieder eingeknüpft und eingeschaltet. Die Genauigkeit der Einfasringe wird durch die Kaiserliche Normal-Messungs-Kommission gewährleistet.

Auf einen Punkt ist noch aufmerksam zu machen: Es kann nämlich nach längerer Betriebszeit eine geringe Veränderung in der Beschaffenheit der Ringe eintreten, wodurch mitunter auch ein Schließen der Leitung bewirkt wird. Das Klingeln ist dann jedoch so leise und unterscheidet sich von dem, welches bei einer Unregelmäßigkeit ertönt, so bedeutend, daß man sich dadurch nicht weiter stören läßt.

Ursachen der Kessel-

Es konnte eine große Zahl größerer und kleinerer Unfälle namhaft gemacht werden^{*)}, welche in Folge der Mangelhaftigkeit der Einrichtungen zum Abblasen der Kessel entstanden sind und zwar in der Regel

- a) bei Verstopfung der Abblaseröhren,
- b) beim Platzen von Abblaseröhren in Folge Erschütterungen, schlechten Materials und Festes,
- c) beim Herausfliegen oder Wiedereintreten der Ventile der Abblaseröhren,
- d) bei Verstopfungen der Abblaseröhren oder Ventile durch den feigen Momentdruck der den Druckraum abschließenden Kessel mit allerhand Schlamm und Schlammkrümel, wodurch sich das Abblasen als einer der wichtigsten Vorgänge zu dem Zweck, der im obigen Bericht erwähnt ist, in Folge der Hartnäckigkeit um Entweichen gegen sich Schlamm und Schlammkrümel in den Abblaseröhren und damit beginnen die Gefahren

*) S. S. 22.

und Plagen beim Abblasen. Ist solch ein Rohr zugeseht und verstopft, so muß das Abblaseventil oder der Hahn gelöst oder eine Flantschverschraubung gelockert werden, um mit scharfen Drähten und Stangen durch zu stoßen.

Das ist gefährlich, denn wenn sich der Schlammflock plötzlich löst, so stürzt das heiße Wasser heraus und selten gelingt es, den Hahn oder den Flantsch zu schließen. Die Mannschaft muß vor dem ausströmenden heißen Wasser flüchten und kann froh sein, wenn sie unverbrannt davon kommt.

Zwar hat man deshalb seit Jahren begonnen, die Speisung der Kessel von oben zu besorgen und mit der Abblasevorrichtung so zu verbinden, daß das Speisewasser das Abblaserohr stets rein erhält. Aber dies hat trotz aller Vorzüge, die namentlich in der Uebersichtlichkeit und leichten Kontrolle besteht, auch seine großen Schattenseiten. Das Speiserohr darf nicht tief in den Kessel hineingehen, sonst trifft der kalte Wasserstrahl die erhitzten Kesselplatten und macht die benachbarten Nähte undicht. Der Kessel kann nicht wasserleer gemacht werden, weil das Einlaufrohr nicht tief genug geht. Will man ihn leer haben, so muß er ausgeschöpft werden und beim nachherigen Auswaschen kann man Schmutz und Wasser nicht gut loswerden.

Trotz aller Erkenntnis der Gefahren ist man deshalb immer wieder zum Abblasen von unten gekommen, wenigstens hat man außer der oben angebrachten verbundenen Abblase- und Speise-Vorrichtung unten am Kessel doch noch ein besonderes Rohr mit Verschuß angebracht, um auch den Kessel entleeren zu können.

Auch beim Reinigen der Kessel sind große und vielfache Unglücksfälle dadurch entstanden, daß bei mehreren im Betriebe befindlichen Kesseln Leute in dem einen kalt gelegten Kessel beschäftigt waren ihn zu reinigen und verbrannten, weil unablässlich ein anderer Kessel abgeblasen wurde und das heiße Wasser und Dampf in den Kessel eintraten. Die Leute konnten von Innen die Abblase-Öffnung nicht schließen und nicht rasch genug aus dem Mannloch herausklettern.

Würde man eine Vorrichtung haben, wodurch die Abblase-Öffnung von Innen im Kessel geschüßt und von Außen geöffnet und geschlossen werden kann, so wäre Sicherheit auf alle Fälle geschaffen, und die Erkennung dieses Bedürfnisses hat Weinlig Veranlassung zur Konstruktion der Sicherheits-Abblase-Vorrichtung D. R.-P. Nr. 34386 gegeben. *)

Die Konstruktion ist einfach und läßt sich bei jedem Zweiflamrohrkessel anbringen.

Sie hat den Zweck:

*) Jahresbericht des Magdeburger Kesselvereins 1886. S. 28 mit Abb.

1. das Abblaserohr im Inneren des Kessels öffnen und schließen zu können,
2. das Öffnen und Schließen oben auf dem Kessel besorgen und beaufsichtigen zu können,
3. das Abblaserohr jederzeit im Betriebe durch einen Dampfstrahl von Schmutz reinigen zu können, um Verstopfungen zu vermeiden,
4. die Abblaseöffnung schließen zu können, wenn man sich im Inneren des Kessels befindet,
5. das Abblasen des Dampfes und Wassers recht langsam vornehmen zu können.

Die Vorrichtung besteht in Folgenden: eine Platte in Rothguß wird im Kessel auf den Abblaseflugen aufgeschraubt. Sie dient als Sitz eines großen Ventilsiegels (50—80 mm) von Rothguß, welcher an einem Rohre sitzt und durch Drehung des Rohres geöffnet und geschlossen wird. Dieser Ventilsiegel hat in der Mitte eine Bohrung (10—15 mm) welche durch ein kleines Ventil geöffnet und geschlossen wird. Dieses kleine Ventil sitzt an einer Stange, welche sich im Inneren des Rohres befindet.

Rohr und Stange gehen oben durch den Kesselmantel (durch Stopfbüchse gestrichelt) hindurch und tragen zwei Handräder, das größere sitzt auf dem Rohr und dient zum Bewegen des großen Ventils, das kleinere ist zum Stellen des kleinen Ventils bestimmt.

Innerhalb des Kessels, im Dampfraum, hat das Rohr mehre Löcher für das Dampfventil.

Öffnet man das kleine Ventil mittelst des kleinen Handrades, so strömt der Dampf durch die erwähnten Löcher in das Rohr und tritt unten durch das große Ventil in das Abblaserohr und reinigt dasselbe. Sollte das Rohr schon ganz verstopft sein, dann kann ohne Gefahr unten im Abblaserohr eine Klammerverschraubung gesetzt und der Schammwedel herangezogen werden, wenn der kleine Dampfstrahl keine keinen Schaden bringen. Soll der Wedel ganz abgedreht werden, so schließt man das große Ventil.

Wichtig der Dampfkegel-Vorrichtung.

Die meisten Maschinen der Dampfkegel haben verschiedene manuelle Anlagen im Kessel und diesen Schutzbestimmungen in der Konstruktion und in der Betriebsweise Rücksicht zu nehmen.

Bei den Maschinen werden die Vorrichtungen, die sich hier wiederholen werden.

Wichtig die Vorrichtungen gegen alle unbedeutende Abweichungen und ungenügende Ausdehnung werden. Die Vorrichtung der Vorrichtung ist meistens in den ganzen

Temperaturunterschieden zu suchen, denen die Manometer ausgesetzt sind und es empfiehlt sich daher stets, dieselben nicht in unmittelbarer Nähe heißer Kesselwände anzubringen.

In einigen Fällen waren die Wasserstandsapparate nicht in Ordnung, Uebelstände, denen jedoch gewöhnlich sofort abgeholfen werden konnte, desgl. gaben mehrere Reserve-Speisevorrichtungen zu Erinnerungen Veranlassung. In einem Falle war die zweite Speisevorrichtung ausgeschaltet und nicht wieder ersetzt, ebenso waren gelegentlich einer größeren Reparatur die Rückschlagventile weggenommen und bei der Inbetriebsetzung nicht wieder angebracht. In mehreren Anlagen sind die sogen. Ampflet'schen Schwimmerpfeifen mit Erfolg angewendet. Leider wird bei Neuanlagen immer noch ein zu geringer Werth auf gute Ausrüstung gelegt. Die geringere Beschaffenheit bestricht durch den niederen Preis, während im Laufe der Zeit soviel Ausbesserungen und Störungen vorkommen, daß die Ersparniß dadurch nicht aufgewogen werden kann.

So werden z. B. von einer Firma Rückschlagventil und Abblasehahn in dürftigster Ausführung verbunden und an der vorderen Stirnwand befestigt. Hierbei kam es nun mehrfach vor, daß der schlecht ausgeführte Hahnschlüssel beim Oeffnen behufs Abblasen herausgeschleudert wurde. Diese Ausführung ist soweit als nicht betriebsficher zu verwerfen.

Ebenso mangelhaft findet man öfters die Sicherheitsventile ausgeführt und gerade bei ihnen sollte die größte Aufmerksamkeit angewendet werden. Vor allen Dingen müssen sämtliche bewegliche Theile derselben leicht gehen und bei geschlossenen Ventilen darf sich der Druckstift in der Führung nicht klemmen, da dann ein vertikaler Druck auf den Regel zu jeder Zeit unmöglich ist.

Es ist ferner vor der Anwendung von schmiedbarem Guß zur Herstellung irgend welcher Ausrüstungstheile, sowie vor derjenigen von Gußeisen zur Herstellung von Mannlochdeckeln ernstlich zu warnen. Es wurde durch Anwendung solchen ungeeigneten Rohstoffes und Sparsamkeit am unrechten Orte schon vielfach Unglück veranlaßt.

IX. Ueber die Wirkung der Wärme-Schutzmassen

sind vom Magdeburger Verein für Dampfkesselbetrieb Versuche angestellt und darüber in dessen Jahresbericht 1886 wie folgt, berichtet worden.

Nach drei Seiten sollte der Werth gepriift werden

1. hinsichtlich der Wärme-Durchlässigkeit,

2. hinsichtlich der Haltbarkeit,

3. hinsichtlich der Energieführbarkeit,

und um die Versuche in absehbarer Zeit zum Schluß zu bringen, so wurde gleich bestimmt, daß

zu 1 alle Versuche zur Ermittlung der Wärme-Durchlässigkeit an einem und denselben zwei Meter langen gegenüberen Rohr ausgeführt werden sollten,

zu 2 daß alle Materialien in der Versuchsstation an Dampfrohren angebracht und mindestens vier Jahre verbleiben sollten.

Es wurde zum Zwecke der Versuche ein gegenüberes Rohr von 150 mm lichter Weite und zwei m Länge, welches 13 mm Wandstärke hatte, unter einem Winkel von 45° angehängt. Das Rohr war neu, weder im Innern noch im Aeußeren angegriffen, und hatte an beiden Enden Flanschen. Letztere beiden waren verschlossen. Am oberen Ende trat der Dampf vom Dampfkegel ein, welchen ein Dampfrohr von 20 mm Weite (das auf das sorgfältigste mit Filz verballt war) zuführte. Unmittelbar vor dem Prüfungs-Rohre führte das Dampfrohr in einen großen Kondensations-Loch, so daß der Dampf trocken (d. h. ohne mitgerissenes Wasser) in das Prüfungs-Rohr gelangte. Am unteren Ende des Rohres trug der Deckel einen Wasserstandsapparat und einen Wasserfaß.

Der Dampf kondensirte im Innern des Rohres, das Kondensationswasser floß in den Wasserfaß und durch einen Ablasshahn, welcher so gestellt wurde, daß im Wasserstandsglase der Wasserstand sich konstant auf der Wasserstands-Markte erhielt, gelangte das Wasser in eine kupferne Schlange (die in einem Wasserfaß lag) und von da in ein geschlossenes Gefäß. In diesem wurde das gesammelte Wasser gewogen.

Wenn der Apparat in Ordnung, wenn der Beharrungszustand eingetreten war, dann wurde der Dampfdruck im Kessel konstant erhalten und durch Wägung des Kondensationswassers die Menge des kondensirten Dampfes ermittelt.

Im Prüfungsrohre waren Thermometer angebracht, um die Temperatur des Dampfes im Innern des Rohres zu messen.

Die Versuche wurden mit großem Eifer begonnen, aber es stellte sich bald heraus, daß sie alle mehr oder weniger ungenau waren. Unglaubliche Differenzen wurden beobachtet, selbst wenn äußerlich nichts in den Verhältnissen geändert wurde. Es hat mehr als vier Monate täglicher Versuche in Anspruch genommen, bis die Methode, die Instrumente und die Beobachtung so weit ausgebildet waren, um Resultate aus den Prüfungen zu erhalten, welche für die Praxis brauchbar sind.

Eine volle Genauigkeit wurde indessen niemals bei mehreren Versuchen gleicher Art erreicht und so beschränkte man sich darauf, eine Verhüllungsmaße wie die andere in ganz gleicher Weise zu prüfen. Jedes Versuchs-Resultat in den Tabellen ist das Mittel aus denjenigen Versuchen deren Ergebnis (bei der Wägung des Kondensationswassers) noch bis auf 2 % \pm übereinstimmen.

Dabei ist konsequent durchgeführt, das jede Masse mindestens zehnmal unter gleichen Verhältnissen probirt wurde, bis zehn Resultate vorlagen, welche bis auf 0,04 übereinstimmen. Auf diese Weise sind mehr als 1600 Versuche gemacht worden und vier Jahre vergangen, und innerhalb dieser Zeit hat Weinlig die verschiedensten Verhüllungsmaße in der Versuchstation praktisch als Verhüllung der Dampfrohre, Dampfzylinder und Warmwassergefäße beobachten und beurtheilen können.

Wiederholt hat sich derselbe im Laufe der Zeit die Frage vorgelegt, ob das sich ergebende Resultat der Versuche wohl annähernd solchen Werth erreichen könne, als die Anstellung der Versuche an Zeit und Geld gekostet hat. „Ich mußte die Frage verneinen und habe trotzdem die Versuche zu Ende geführt, weil ich der gestellten Aufgabe gerecht werden wollte und weil ich den Resultaten deshalb immerhin einen relativen und für die Praxis brauchbaren Untergrund für die Beurtheilung des Werthes hinsichtlich des Wärmeschutzvermögens zumessen konnte, weil die Versuche sorgfältig angestellt, stets wiederholt und alle in gleicher Weise angestellt sind, sowie weil die Beurtheilung der Haltbarkeit und der Feuergefährlichkeit wohl der Beachtung werth ist.“

Auf irgend welche wissenschaftliche Bedeutung sollen also die Versuche keinen Anspruch machen und bei der Prüfung praktischer Verwendung sind die Zahlen sinngemäß anzuwenden.

Es ist zu bedenken, daß das Rohr unter 45° Winkel geneigt lag und daß Rohre von horizontaler oder vertikaler Lage andere Zahlen geben werden. Es ist zu bedenken, daß der Dampf im Rohre ruhte, so daß wohl die innere Wand mehr oder weniger mit einer Wasserschicht bedeckt war, von welcher erst dann ein Herunterfließen begann, wenn die Schicht dick und schwer genug war um die Adhäsion des Wassers am Eisen zu überwinden.

In der Regel wird es sich bei Dampfrohren um Kondensation (Abkühlung) des Dampfes handeln, wenn er im gespannten Zustande und mit großer Geschwindigkeit hindurchströmt. Unter solchen Verhältnissen wird das Abfließen des Wassers von der Innenwand rascher erfolgen, als wenn der Dampf im Rohre still steht.

„Auch die Beschaffenheit der Oberfläche des Rohres hat einen wichtigen Einfluß und ebenso der Bewegungs-Zustand der Luft oder des Wassers, welche das Prüfungsrohr umgeben. Im vorliegenden Falle hing das Rohr frei in der Luft, in einer geräumigen Halle, in welcher verhältnißmäßig viel Luftwechsel stattfand, so wie es z. B. in den Zuckerfabriken zum mindesten in gleichem Maaße der Fall ist. Es wurde erst versucht, das Prüfungsrohr in einen verschlossenen Kasten zu hängen, um die Luftzirkulation besser reguliren zu können. Das gelang indessen gar nicht und für solche Stoffe, welche hygroskopisch sind, war dies gar nicht zu verwenden, denn bei recht feuchtem Wetter (reichlich mit Feuchtigkeit geschwängerte Luft) wurden einzelne Verhüllungsmassen zu feucht und bröckelig, und die Versuche hatten an allerhand Störungen zu leiden.

„Die Schwierigkeiten, welche bei den Versuchen auftauchten, seien kurz erwähnt.

1. Der Dampf enthielt Luft und diese setzte sich im Rohre leicht fest und als schlechter Wärmeleiter verhinderte sie die Abkühlung. Die Resultate zeigten große Differenzen. Ich stellte deshalb einen großen Kondensations-topf im Dampfrohre vor dem Prüfungsrohre mit mehreren Luftkähnen am höchsten Punkte auf und ließ wiederholt die Luft austreten, bis nur noch Dampf entwich. Das hatte ausgezeichneten Erfolg.
2. Die Federmanometer gingen ungenau und waren lange nicht empfindlich genug, wenn die Dampf-Temperatur 2° fiel oder 2° stieg, so war das am Manometer gar nicht zu erkennen. Das Resultat fiel aber so verschieden aus, daß ich Thermometer im Rohre anbrachte und diese beobachtete und die Manometer nur nebenbei kontrollirte.
3. Während des Ganges unserer Dampfmaschine konnte ich die Temperatur des Dampfes nicht konstant erhalten. Ich mußte vielmehr im Kessel höhere Spannung halten und durch Drosselung des Dampfventiles nach Maßgabe des Thermometers die Temperatur reguliren. Das kostete viele Mühe ehe dies gelang, aber der Erfolg war sehr gut.
4. Das Aufbringen der plastischen Massen machte Schwierigkeit. Gleiche Dike zu erzielen ist schwer. Die Risse, welche beim Trocknen entstanden, mußten vor jedem Versuche wieder gedichtet werden. Die Verhüllungs-massen aus Haar und Seide durften nicht zu fest aufgebracht werden. Die Formstücke aus Kork, Torf und Holz mußten sorgsam dem Rohre angepaßt werden. Durchgehende Risse und Kanäle, in denen Luft zirkuliren kann, sind ängstlich zu vermeiden, denn sie vermindern den Schutz durch die Verhüllungsmassen sehr wesentlich.

„Bei der Ausführung der Versuche wurde mit Rücksicht auf unsere hiesigen Verhältnisse festgestellt, daß dieselben bei zwei, drei und vier Atmosphären Druck im Innern des Rohres erfolgten, weil unsere Zuckerindustrie eine große Zahl von Apparaten hat, welche im Innern geringen Druck haben.

„Den Werth guter Verhüllung soll man nicht unterschätzen, vielmehr bedenken, daß je höheren Dampfdruck die Technik verwendet, desto größer die Abkühlungsverluste sind. Jetzt ist die Anwendung eines Dampfdruckes von sieben Atmosphären für Dampfmaschinen normal zu nennen, bei welchem ein qm gußeisernes Rohr sicher fünf k Dampf per Stunde durch Abkühlung kondensirt. Zuckerrfabriken mit 400 qm Flächen in Dampfröhren, Dampfzylindern und Dampfgefäßen haben selbst bei geringerem Dampfdrucke einen Abkühlungsverlust, welcher der Dampfproduktion eines Zweiflammrohrkessels von 70 bis 80 qm Heizfläche gleichkommt.

„Ganz außerordentlich wichtig war bei den Versuchen die Erhaltung des Beharrungszustandes. Die geringste Störung gab erhebliche Differenzen in den Resultaten. Dies war für mich die wichtigste Lehre aus den Versuchen und unmittelbar auf Verdampfversuche übertragen, zeigte sich, daß bei Ermittlung des Werthes der Kesselsysteme oder Kesselheizflächen hierauf der größte Bedacht genommen werden muß.

„Fällt die Temperatur des Dampfes im Rohre bez. der Feuergase im Kessel und in den Zügen desselben, so giebt die erwärmte Masse des Eisens, Mauerwerkes, Schutzmittels Wärme ab, steigt dagegen die Temperatur, so nimmt sie Wärme auf und das geht alles außerordentlich schnell und beeinflusst das Resultat mehr als ich Anfangs geglaubt hatte. Eine fernere Lehre habe ich aus den Versuchen gezogen, die ich unmittelbar auf den Dampfkesselbetrieb übertragen konnte, das ist der außerordentliche Einfluß der ruhigen Luft als schlechter Wärmeleiter und der störende Einfluß entstehender Fugen, Ritzen und Kanäle, in denen die Luft sofort eine lebhafte Zirkulation beginnt und die Abkühlung stets vermehrt, ja geradezu hervorbringt. Die ruhige Luft ist bei allen Verhüllungsmassen der maßgebende Faktor der Verhüllung der Abkühlung.

auch bequem anzubringen und leidlich auszubessern, aber die Verhinderung der Wärmeausstrahlung ist sehr gering. Dies ist die Folge des angewendeten Gipses oder Kalkes, welcher in event. Gemeinschaft mit einem anderen stiftigen Bindemittel (Sirup, Kleister u.) die anderen Stoffe zusammen halten muß. Je mehr Kalk u. genommen wird, desto haltbarer wird die Masse, aber auch desto wirkungsloser, je mehr Asche, Kohlenstaub oder Kieselguhr, desto schlechter leitet sie die Wärme, aber desto bröcklicher und zerbrechlicher wird sie. Die Masse ist sehr schwer.

„Ein technischer Werth kann solchen Massen nicht zugesprochen werden.

Versuche mit Holzleisten.

Art der Verhüllung des Rohres	Dampfdruck nach Manometer	Temperatur des entsprechenden Druckes	Beobachtete Temperaturdifferenz im Innern und Aeußern des Rohres	Es kondensirte für Stunde und qm in kg	Es transmittiren per °Temperaturdifferenz auf 1 qm Fläche und Stunde Kalorien	Dicke in mm	Bemerkung
Holzleisten lose gegeneinander gelegt	2	135	109	0,90	5,34	20	Die Leisten sind 80 mm breit und liegen fest auf dem Rohre.
	3	145	115	1,05	5,93	20	
	4	153,1	120	1,20	6,53	20	

„Die Wirkung des Holzes ist eine recht gute und nicht schlechter als Korkmasse. Die Herstellung ist nicht leicht zu nennen. Nach 3jährigem Betriebe wird das Holz brenzlich und mürbe und bei höherem Dampfdrucke wird dies noch erheblich rascher erfolgen. Ist das Holz erst brenzlich geworden, so ist die Bekleidung sehr leicht brennbar und einzelne Funken können glimmend das ganze Holz zum Verkohlen und Verbrennen bringen. Die Holzbekleidung ist sehr praktisch, wenn zwischen der heißen Wand und dem Holze ein Spielraum für Luft gelassen wird.

„Da das Holz stets zusammentrocknet, und dadurch die Wirkung schlecht wird, so muß man entweder unter dem Holz noch Filz, oder Kork, oder Kieselguhr anbringen, oder wenn man Luftraum darunter läßt, einen dünnen Mantel von Blech oder Feinwand (und darunter gelegtem dünnem Lage-Filz) darüber legen.

Versuche mit Torfmasse.

www.libtool.com.cn

Art der Verhaltung des Rohres	Dampfdruck nach Manometer	Temperatur des entsprechenden Druckes	Beobachtete Temperaturdifferenz im Innern und Außen des Rohres	Es kondensirte für Stunde und qm in kg	Es transmittiren per °Temperaturdifferenz auf 1 qm Fläche und Stunde Kalorien	Bemerkung
Torf (Moostorf)	3 3	145 145	127 128	0,92 0,96	4,33 4,55	Torfmasse aus Biffhorner Moor ist von Dertgen & Schulte in Duisburg geliefert. Sie besteht aus gesformten Stücken von 50 mm Dicke und 70 mm Breite.

„Der Torf ist ein sehr gutes Warmeschutzmittel. Er ist sehr leicht von Gewicht und sehr bequem anzubringen und anzupassen. Seine Haltbarkeit ist groß, so daß er gegen Stöße und Losnehmen recht guten Widerstand leistet. Da er sehr zusammentrocknet und dadurch leicht Risse gebildet werden, so thut man gut, ihn mit Leinwand oder Blechmantel zu umkleiden.

„Neuerdings kommt der Torf so in den Handel, daß die Streifen auf grobe Leinwand aufgeklebt sind, was recht praktisch ist. Der Torf kann im Feuchten nicht verwendet werden, da er Wasser anzieht, fault und an Wärmeleitungsvermögen zunimmt. Der Torf kann feuergefährlich werden und muß deshalb besonders zubereitet, besser aber nicht dort angewendet werden, wo Feuer in der Nähe ist. Der Torf glimmt nämlich leicht.

Veruche mit trockener, pulverisirte Wärmeschutzmasse.

www.libtool.com.cn

Art der Verhüllung des Rohres	Dampfdruck nach Manometer	Temperatur des entsprechenden Druckes	Beobachtete Temperaturdifferenz im Innern und Außern des Rohres	Es tonnenfeste für Stunde und qm in kg	Es transmittiren per °C Temperaturdifferenz auf 1 qm Fläche und Stunde Kalorien	Dicke in mm	Bemerkung
Plastische Masse	2	135	108	1,9	11,38	13	Die Masse ist von Dertgen & Schulte in Duisburg geliefert. Zu 100 kg Masse sind 5 Liter saure concentrirte Lösung und Wasser erforderlich um sie plastisch zu machen.
	3	145	114	2,0	11,40	13	
	3	145	117	1,6	8,88	20	

„Die Masse ist nicht von Werth. Siehe Zusatz zu den Versuchen mit englischer Masse.“

Statt der allgemein verbreiteten Vorschrift für Kesselwärter, lassen wir hier*) beherzigenswerthe Rathschläge folgen:

X. Wie sich der Kesselwärter bei normalem Dampfesselbetrieb verhalten und was er beobachten soll.

Die Dampfesselwärter, welche aus allen nur möglichen Leuten von verschiedenem Beruf und aus allen nur denkblichen Industriezweigen zusammenlaufen, bilden eine Klasse von Menschen, mit denen sich die Industrie in letzterer Zeit mehrfach beschäftigt hat aus dem Grunde, weil sie Stellungen von ungemein großer Verantwortlichkeit und Bedeutung einnehmen.

Jedermann weiß, daß von dem Augenblicke an, wo ein Dampfessel in Betrieb kommt (sei es nun welcher Konstruktion und Gattung er auch angehören mag) vernichtende Kräfte auf ihn einzuwirken drohen und ihn zu zerstören suchen. Dieselben aufzudecken und deren Ursache ergründen zu helfen ist eine der Hauptaufgaben des Heizers.

Treten nun die in der Praxis gesammelten technischen Erfahrungen des Revisionsbeamten hinzu, so, sollte man denken, müßten Unglücksfälle auf ein sehr geringes Maaß beschränkt werden können.

*) Jahresbericht des Magdeburger Vereins für Dampfesselbetrieb 1888.

Hierzu gehört nun, wenn man den ganzen Kesselbetrieb in seinem Verlauf durchgeht, von dem Augenblicke an, wo der Kessel angefeuert werden soll, daß er vor allen Dingen genügend mit Wasser gefüllt ist und der Kesselwärter sich genau überzeugt, daß Wasserstandsapparat, Manometer, Sicherheitsventile u. in guter Verfassung sich befinden. Das Anheizen des Kessels beginnt bei völlig geöffnetem Rauchschieber, welcher erst dann entsprechend regulirt wird, nachdem der erste sich bildende Rauch aus dem Schornstein tritt und das Feuer die Kofstfläche bedeckt hat. Unter keinen Umständen darf durch die Feuerthüren viel Wärme verloren gehen oder wohl gar dieselben in einen rothglühenden Zustand versetzt werden. Es erfolgt hieraus, daß der Luftzug deshalb ein lebhafter sein muß, was sich auch in der Praxis stets als richtig erwiesen hat.

Hieraus ergibt sich ferner, daß der Rauchschieber (Essenschieber) eine entsprechende Stellung einnimmt und der Kofst nicht zu häufig abgeschlact wird, sondern nur dann, wenn es nothwendig ist. Wenn eine stark hackende und schlackende Kohle verfeuert wird, so empfiehlt es sich, den Schürhaken auch mehr zu verwenden. Bei solchen Anlagen, wo mit Bequemlichkeit der Feuererschein im Afschenfall beobachtet werden kann, ist nach Möglichkeit darauf zu achten, daß derselbe stets gleichmäßig stark sichtbar ist.

Das Kohlenaufwerfen darf jedesmal nur in geringen Mengen geschehen, wobei aber bemerkt wird, daß der Kofst an allen Stellen gleichmäßig hoch und das Brennmaterial über die ganze Fläche des Kofstes gleichmäßig gut verbreitet sein muß. Wenn der Kofst zu lang ist, so empfiehlt es sich, lieber einen Theil der vorderen Kofstfläche (z. B. bei Steinkohlen-Innenfeuerung) freier von Brennstoff zu halten als die hinteren Stäbe, da hierdurch die Nachtheile, welche durch Einströmen der falschen, kalten Luft entstehen, zur Verminderungen der Wirkung Veranlassung geben. Sobald diese Bedingungen vom Heizer nicht erfüllt werden, sinkt naturgemäß sowohl bei der einen, wie bei der anderen Führung der Kofst der Nutzeffekt der Anlage.

Der Kofst muß, wenn irgend thunlich, rein gehalten werden von Schlackenstücken u. und darf niemals eine vollständige Verschlackung des Feuers eintreten. Diefierhalb sind verlegte Stellen, d. h. offene Stellen in der brennenden Schicht der Feuerung, wie schon erwähnt, stets nachtheilig für den Kesselbetrieb.

Es empfiehlt sich daher, die Kohlenschicht auf dem Kofst entsprechend niedrig zu halten, damit die hinzuströmende Luft, die frisch nach und nach aufgeworfenen Kohlen rasch entzündet kann. Hierdurch findet eine lebhafte Verbrennung statt, wodurch eine möglichst hohe Temperatur und daraus große Wärmemenge entsteht. So hat sich eine Kohlenschicht für die

gewöhnliche Steinkohle von 100—120 mm Höhe als praktisch erwiesen. Es ist natürlich diese Kohlenhöhe nicht auf alle Kohlenarten anwendbar und richtet sich die Höhe der Schicht ganz nach den Verhältnissen der Anlage, bezw. danach, was der Kessel auf das Quadratmeter Heizfläche leisten soll.

Der Heizer hat ferner darauf zu achten, daß sich keine Schlacken und Krusten bilden, da in diesem Falle der Rost an solchen Stellen (zumal wenn Kohlen von hohem Heizwerth verfeuert werden) zu glühen anfängt und ein Verschmieren der Roststäbe sofort eintritt; der Luftzug wird dadurch vermindert und die Kohle kann nicht mehr mit jener Lebhaftigkeit verbrennen, wie es nothwendig ist. Auf die Schaufel soll der Heizer (eine ovale Form der Schaufel mit kurzem Stiel und Handgriff ist der leichten Handhabung und Bequemlichkeit halber sehr zu empfehlen) immer nur wenig Kohlen anslegen, damit er diese dann um so leichter auf den Rost werfen und auch besser zerstreuen kann.

Ein von Zeit zu Zeit vorheriges Hineinschauen durch die Schaulöcher der Feuerthür ist nothwendig, um sich von der Lage der Kohlenschicht zu überzeugen. Das Beschießen der Roste mit frischer Kohle muß, wenn mehrere Kessel in einem Kesselhause zusammen vereinigt liegen, in gehöriger Reihenfolge geschehen, abwechselnd bei allen Thüren einerseits und dann nach einer kleinen Pause die anderen Thüren, aber nach einander, d. h. von Rost zu Rost.

Befindet sich nur ein Kessel im Betrieb, so wird erst die eine Thür geöffnet und nach einiger Zeit, sobald die frisch aufgeworfenen Kohlen zur vollen Flamme angefaßt sind, beginnt man mit dem Oeffnen und Beschießen des anderen Rostes. Sind z. B. zwei Kessel im Betrieb, so beginnt man mit der rechten oder linken Feuerthür des ersten Kessels, dann mit einer Thür des zweiten Kessels, hierauf erst belegt man den Rost durch die noch nicht geöffnete Thür des ersten Kessels wieder und dann wieder des zweiten Kessels. Hierdurch wird die Kesselfenernung wenig gestört, die Dampfentwicklung erheblich erleichtert und der Kohlenverbrauch zweifelsohne bedeutend verringert.

Da solche Arbeit dem Heizer durchaus keine Schwierigkeiten bereitet, auch dann nicht, wenn selbst 8—10 Kessel im Kesselhause vereinigt liegen und nur unter den Feuerlenten eine Uebereinkunft in Betreff der Behandlung der Roste getroffen ist, auch die nöthige Aufsicht nicht mangelt, so ist nicht wohl einzusehen, warum diese so einfache und lohnende Arbeit so wenig Anklang findet.

Allerdings muß bemerkt werden, daß z. B. bei fünf Kesseln das eingetheilte Feuern inne zu halten nicht sehr schwierig sein dürfte; dagegen dürfte bei mehreren Kesseln, selbst in Kesselanlagen von zwölf Kesseln und noch mehr, eine Theilung anzurathen sein, wobei in der ganz gleichen

Weise zu verfahren ist. Bei zwölf Kesseln würden drei Abtheilungen nöthig sein, daher stets drei Thüren offen gehalten werden können.

Bei Verwendung von guter, nicht backender Steinkohle läßt sich mit dem Schürhafen die Schlacke leicht vom Koft losheben und entfernen, ohne den übrigen noch gut erhaltenen Brennstoff aus seiner Lage zu bringen. Es fordert das Einwerfen der Kohle eine gewisse Geschicklichkeit, welche aber, wenn nur der Wille und das Interesse herrscht, leicht zu erreichen ist. Dagegen ist bei Gruskohle (Steinkohle), welche viele erdige Bestandtheile und Unreinigkeiten, wie Schiefer und Steine zc. besitzt, das Reinigen periodisch über die ganze Koftfläche vorzunehmen. Hierbei schiebt man mit der Krücke die noch glühende Kohle bezw. Brennstoff nach hinten, d. h. nach der Feuerbrücke zu, so daß der Koft vorn frei liegt, nimmt nun den Spieß und hebt die Schlacke auf und zieht sie mit der Krage vom Koft ab. Eine schnelle Arbeit ist bedingt und anzurathen. Nachdem nun der Koft frei geworden und die glühende Kohle nach vorn gezogen und über die ganze Fläche ausgebreitet ist, wird wieder wenig Kohle aufgeworfen, es wird nicht lange dauern und das Feuer brennt vorzüglich. Als ein großer Fehler ist es anzusehen, den Koft vollständig ausbrennen zu lassen, ihn dann abzuschladen und zum Anbrennen von dem Nachbarrost die glühende Kohle herüber zu holen.

Das Speisen des Kessels darf erst dann geschehen, sobald der Koft vollständig gereinigt und wieder mit frischen Brennmaterialien beworfen und die Dampfspannung im Steigen ist. Gruskohle mit Wasser zu benetzen ist nicht allein nothwendig, sondern ökonomisch vortheilhaft, dagegen ist reine weiche Steinkohle niemals anzufeuchten. Je härter und schiefziger sie ist, desto mehr darf sie mit Wasser benetzt werden, weil dadurch eine leichtere Entzündbarkeit durch die Praxis beobachtet sein soll.

Die Rauchbildung aus dem Schornstein soll nach Möglichkeit vermieden werden und hängt dieses mehr mit der ganzen Betriebsweise der Fabrik zusammen. Der Heizer kann aber sehr viel dazu beitragen ob der Schornstein stark oder wenig raucht. Die Rauchverbrennung und die Verhütung des Rauches sind immer noch nicht vollständig erreicht, wenn es auch schon viele brauchbare und gut wirkende Halbgasfeuerungen giebt.

Eine besondere Pflicht liegt noch dem Kesselwärter ob, darauf zu achten, daß die Temperatur im Feuerraum immer so hoch wie nur möglich gehalten wird. Dieses ist nur zu erreichen, wenn er stets kleine Mengen Kohle aufwirft, wirft er dagegen große Mengen auf, so wälzt sich dicker Rauch aus dem Schornstein, weil viel unverbrannte Kohle (wenn lebhafter

zug vorwärtler ist mit demselben und wegen Mangel an niedriger Temperatur der Verweilung nicht schnell genug vor sich gehen kann. Wird er aber wenig Kohle auf der Höhe mit dem in der erdbeerähnlichen Hohlraum zusammen, so vermag er die Rauchentwicklung nicht zu vermeiden, aber doch nur ein Minimum zu beschränken.

Ist eine Entzündung der Kohle nicht möglich, so ist es vorzuziehen, dem Arbeiter nur frisches Brennholz die Kohlenqualität mehr nach der Feuerstärke zuzuschneiden, um die frischen Brennmaterialien dennoch anzuführen und vermeiden zu können, wodurch der sich entzündende Rauch über die glühenden Kohlen weggeführt auf dem Boden von diesem abgegraben und verbrannt wird. Soll aber eine Entzündung einreten, so erreicht der Arbeiter es nicht dadurch, daß er nur vorwärtler, wie es jeder selbst geschah, viele Kohlen anzuführen, sondern er muß die Kohle zunächst nach vorne gehen, der Feuerstärke zu und die dünnere Hälfte des Kohles beschränken, dann wird allerdings auf Kohlen der Kohle eine reiche Dampfabgabe zu erwarten sein, aber nicht starke Rauchentwicklung. Ist der Rauch zu weit oben, so wird der Rauch durch den Rauch zu stark, die Kohle verbrannt zu schnell und sehr viel Kohle geht verloren, man sagt, die Kohlanlage arbeitet mit einem zu großen Vorwärtler, und umgekehrt, verbrannt die Kohle nicht mit jener Kohlfähigkeit, so tritt ein geringerer Vorwärtler ein.

Hieraus ergibt sich noch ferner, daß der Arbeiter nach dem Feuer mit dem Arbeiter arbeiten und denselben häufig einstellen muß. Das Bedürfnis tritt sonach zu Tage, durch eine Skala sich über die verschiedenen Arbeiterstellungen Kenntnis zu verschaffen, um sofort zu wissen, wie der Arbeiter z. B. stehen muß, wenn schwacher Dampfabgang eintritt. Es ist zweckmäßig, die Dampfspannung im Kessel so hoch, wie es gesetzlich durch die Konzession erlaubt ist, zu halten. Je höher der Dampfdruck, desto heißer der Dampf, daher ist bei vielem Dampfverbrauch auch der Betrieb ein leichter. Zum Betriebe von Dampfmaschinen ist nur eine hohe Dampfspannung zu empfehlen, läßt der Arbeiter die Dampfspannung unter den normalen Dampfdruck sinken, so kostet es mitunter die unfähigste Mühe die Spannung wieder hoch zu bringen und dann stets auf Kosten der Kohlen. Tritt nun in solchem Momente noch hinzu, daß der Kessel gespeist werden muß und daß der Dampfverbrauch gerade zu dieser Zeit ein allseitiger wird, so ist natürlich der Arbeiter, zumal wenn er die Ueberlegung und Ruhe verliert und denkt, durch vieles Kohlenaufwerfen zu helfen, verloren. Der Dampfdruck wird nur noch geringer werden, der Wasserstand, welcher bislang noch unbeachtet geblieben ist,

nimmt mit einemmal eine drohende und gefährliche Stellung ein und nicht selten entsteht durch die Energie- und Rathlosigkeit des Heizers ein Unfall. Ereignet sich aber der Fall, daß die Dampfspannung im Kessel, selbst bei großer Dampfenahme und Abblasen der Kesselsicherheitsventile noch weiter steigt, veranlaßt vielleicht durch zu starkes Heizen oder durch Nichtbeachtung der Einstellung des Betriebes, so ist der Kessel zu speisen, die Feuerthüren und Rauchschieber ganz zu öffnen und wenn eine Gefahr dennoch droht, das Feuer sofort vom Kofst zu ziehen. Die Thüren und Fußöffnungen müssen geöffnet werden und es wird dann ein Sinken des Dampfdruckes sich einstellen.

Zu bemerken ist noch, daß beim Beginn des Betriebes das Ablassen des Dampfes aus dem Kessel nur langsam und mit der größten Vorsicht geschehen darf, weil durch zu schnelles und plötzliches Öffnen der Ventile, der Kessel leicht in Gefahr kommt, Schaden zu leiden.

Auf das richtige Arbeiten der Sicherheitsventile, Manometer und Wasserstandsapparate ist mit großer Sorgfalt zu achten; es ist falsch, wenn die Ventile nur wenig gelüftet werden, sie müssen kräftig abgeblasen werden, damit Schmutz, Schlamm u. sich nicht auf den Ventilsitz festsetzen und zu Undichtigkeiten Veranlassung geben. Der Manometerzeiger muß täglich einmal wenigstens auf den Nullpunkt der Skala zurückgeführt werden und ist beim Wiederöffnen des Hahnes Vorsicht nöthig aus bekannten Gründen.

Auf den Wasserstandsapparat ist besondere Wichtigkeit zu legen, da die Kanäle nicht allein durch Schmutz und Schlamm verfest und verstopft werden können, sondern in sehr vielen Fällen (wenn die Gläser mittelst Gummi gedichtet sind) durch die Gummiringe ein Zusetzen der Glasöffnungen vorkommt, wodurch ein scheinbarer Wasserstand im Glase bezw. im Kessel eintritt. Vor Schluß der Arbeitszeit ist das Feuer zu mäßigen und zwar so, daß bei Einstellung des Betriebes die Dampfspannung in Abnahme begriffen ist und das Feuer vom Kofst abgebrannt ist.

Ein Deckung des Feuers über Nacht ist entschieden zu verwerfen; ist der Schieber, wenn noch Gluth und Feuer auf dem Kofst sich befindet, nur ganz wenig geöffnet, so arbeitet der Kofst wie eine Gasanstalt, indem sich die Feuerzüge mit Gasen füllen, sich darin aufspeichern und wenn dann am andern Morgen der Heizer das über Nacht auf dem Kofst liegen gebliebene Feuer aneinander rührt und nun den Schieber mehr öffnet, so kann leicht eine Entzündung der Gase eintreten und eine Gasexplosion stattfinden, welche schon mehrfach Verwüstungen am Kesselmauerwerk und Kessel angerichtet hat.

XI. Ueber die häufiger vorkommenden Korrosionen in Dampfesseln*).

www.libtool.com.cn

Korrosionen sind in den meisten Fällen Rosterscheinungen; zur Erklärung der Korrosionsursachen ist daher die Erwähnung der Bedingungen nothwendig, unter welchen Eisen verrostet. An der Luft verwandelt sich das Eisen unter dem Einflusse von Feuchtigkeit, Sauerstoff und Kohlensäure in mit Eisenoxidul vermischtes Eisenoxidhydrat, das etwas Eisencarbonat und eine Spur Ammonial einschließt; unter Wasser gebildeter Rost ist gewöhnlich reicher an Eisenoxidul, etwas magnetisch und von dunklerer Farbe. Hat das Rosten einmal begonnen, so greift es weiter um sich, da das poröse Oxidationsprodukt Feuchtigkeit, Gase und Säuren aus der umgebenden Luft oder dem Wasser aufsaugt und dem gesunden Eisen neue oxidirende Stoffe zuführt. Das Rosten wird durch die verschiedene Rostfähigkeit des Eisenmaterials selbst, oder durch äußere Einflüsse befördert oder gehemmt; in ersterer Beziehung sind fördernd rauhe Außenflächen, Gehalt an Mangan und Schwefel, ungleichmäßige Vertheilung der im Eisen vorkommenden Beimischungen, Vorkommen von Schlackenbändern; die beiden letzteren Fälle sind meist durch die hüschelförmige oder podennarbigige Form der Verrostung erkennbar. Hemmend sind glatte Außenflächen, Gehalt an Kohlenstoff und Phosphor, Gleichmäßigkeit des Materials; schützend wirkt eine Glühspan- oder Inoxidationschicht. Äußere Einflüsse von rostbefördernder Wirkung sind in der Luft großer Gehalt an Feuchtigkeit, unter Wasser große Mengen darin gelöster Kohlensäure und Sauerstoff, sowie von Chlorverbindungen, von hemmender Wirkung z. B. Gehalt des Wassers an Kalk und Natriumcarbonat (Soda). Die Menge von im Wasser gelösten Gasen hängt zunächst ab von der Herkunft desselben (Fluß-, Quell- oder Brunnenwasser), außerdem aber von physikalischen Einflüssen in der Art, daß sie mit zunehmender Temperatur einerseits, mit abnehmendem äußeren Druck andererseits abnimmt, so daß z. B. Wasser bei etwa 70° ebenso wie unter einem ungefähr 80 %igen Vacuum nur mehr unerhebliche Gasmenngen gelöst enthält.

Außer den Säuren greift auch eine Anzahl löslicher Substanzen, wie Kochsalz, Chlorammonium, Chlormagnesium, Natriumcarbonat, Schwefelnatrium u. dgl., in der Wärme das Eisen direkt an.

In Dampfesseln können sehr viele, von den Bestandtheilen des Speisewassers herrührende Stoffe eine mit Blechzerstörung verbundene chemische Wirkung ausüben; als Korrosionsursachen lassen sich diesbezüglich vier Haupt-

*) Nach Wochenschrift des österr. Ingenieurvereins. 1889 Nr. 6.

gruppen unterscheiden: a) im Wasser gelöste Gase, b) unlösliche, c) lösliche Stoffe, d) flüchtige Säuren.

a) Korrosionen durch im Wasser gelöste Gase.

Diese werden in weitaus den meisten Fällen durch Zusammenwirken von Sauerstoff und Kohlensäure hervorgerufen, und zwar naturgemäß am meisten dort, wo die Gase infolge der Temperaturerhöhung des Wassers aus demselben frei werden und an den Kesselwänden längere Zeit anhaften können. Diese Bedingungen sind in den Unterkesseln von Zwischenfeuerungskesseln erfüllt, welche daher sehr häufig von Korrosionen größeren oder geringeren Grades betroffen werden; an den angefressenen Stellen ergeben sich zumeist narbenförmige Zerstörungen, überdeckt mit Knollen von Eisenoxiduloxid, die oft durch ihre Schwere an der Kesselwand herabsinken und zu rinnenförmiger Anfrassung Veranlassung geben. Unterstützende Ursachen dieser Korrosion sind relative Ruhe des Wassers (geringe Verdampfung, mäßige Heizung, geringe Kesselneigung, durch enge Stützen behinderte Zirkulation, häufige Stillstände), Rostneigung des Kesselbleches, Verletzung der schützenden Außenhaut durch mechanische oder thermische Einflüsse (vorhandene Furchen oder Anrisse, Biegung, Knickung, lokale Abkühlung). Die Korrosion kann bei einem und demselben Kessel oft sehr wechseln, je nach der Verdampfung und dem Gasgehalt des Wassers (Jahreszeit). Korrosionen an der Wasserlinie treten bei Dampfkesseln oft ein, wenn dieselben, mit frischem Wasser gefüllt, längere Zeit außer Betrieb stehen, weil die nach und nach frei werdenden Gasbläschen sich an der Oberfläche des Wassers sammeln, dort an dem Kesselblech ansetzen und so die Oxidation desselben bewirken. Die durch solche Korrosionen eintretende Schwächung des Kessels wird naturgemäß am ehesten in dem Falle bedenklich, wenn die Längsnähte so angebracht sind, daß sie natürliche Hindernisse für das Aufsteigen der Gasbläschen an der Kesselwand aufwärts bieten. Diese Korrosionen lassen sich durch Zinkeinlagen in die bedrohten Kesseltheile nicht aufhalten, aber vermindern durch Alkalität des Wassers (Soda), starke Kesselneigung und möglichste Abhaltung des Eindringens von Luft in das Wasser (Injektor, Pumpe), verhindern jedoch durch starke Zirkulation (mehrere Stützen), durch Verlegung des Speiseeintrittes an eine stark erwärmte Wasserstelle, von wo die freiverdenden Gasbläschen in den Dampfraum entweichen können, und durch starke Vorwärmung des Speisewassers. Viel seltener als die erwähnten Sauerstoff-Korrosionen sind die durch Schwefelwasserstoff (der z. B. in Wässern mit faulendem Seegras entsteht) hervorgerufenen Korrosionen, welche aber durch die bedeutende Löslichkeit dieses Gases und dessen heftige Einwirkung auf das Eisen, an allen Stellen

um es fern zu halten, sehr bald eine ätzende Wirkung gewonnen haben. Die Korrosion kann durch Anfüllen des Schwefelwasserstoffes mittels Eisenpulver verhindert werden.

b) Korrosionen durch unlösliche Stoffe.

Diese entstehen durch chemische Veränderung von Fetten animalischen und vegetabilischen, die mit dem Speisewasser in die Kessel gebracht werden. Schmierung der Dampfsylinder, der Speiseröhre u. dgl.

Die genannten Fette setzen sich entweder unter dem Einflusse hoher Temperatur in unlösliche Fettsäuren Stearinsäure, Olainsäure, Palmitinsäure um oder sie werden durch Aufnahme von Sauerstoff aus dem Wasser sauer: ersteres erfolgt in den heißeren Kesseltheilen oder im Dampfraum, letzteres in kälteren Untertheilen. In beiden Fällen greifen die entstandenen sauren Verbindungen das Kesselmaterial an den Stellen an, wo sie haften bleiben; oft geben auch herumgetragene Fetttheile durch Aufzähung Veranlassung zu Sauerstoff-Korrosionen an Stellen, wo solche sonst nicht zu erwarten sind.

Als Mittel zur Verhinderung der Korrosionen durch Fette dient ein passender Sodazusatz zum Speisewasser, wodurch die Fette als Alkaliessen ausgefällt werden.

c) Korrosionen durch lösliche Stoffe.

Diese Korrosionen können auf außerordentlich vielseitige Weise entstehen und bereiten oft dadurch, daß viele Stoffe korrosionshemmend oder fördernd aufeinander einwirken, der klaren Erkenntniß der Korrosionsursachen viele Schwierigkeiten.

Es sind zunächst zu unterscheiden jene Stoffe, welche, bei Lufttemperatur das Eisen nur mäßig angreifend, mit steigender Wassertemperatur und Konzentration eine gleichmäßig zunehmende Wirkung auf das Kesselmaterial ausüben; in dieser Beziehung sind Korrosionen rasch zerstörender Natur vielfach an Kesseln beobachtet worden, welche mit Salzsoole, herabführend von den Abwässern von Säubern, gespeist wurden, wo als zerstörender Theil das Chlornatrium auftrat, bei mit Ammoniumchlorid (Salzmial in dem „Kesselsteinmittel“, Halogenin“ vorkommend) gespeisten Kesseln, wo ein großer Theil des Eisens zu Chloreisen umgewandelt wurde, ferner bei mit konzentrierter Aetznatronlauge (Honigmann'sche Kessel) gefüllten Kesseln; bei letzterer ergibt sich immer ein desto größerer Angriff auf das Eisen, je mehr die Lauge durch Schwefelverbindungen verunreinigt ist.

In ähnlicher Weise wie vorgenannte Stoffe wirken freie Säuren auf das Kesselblech ein, erklärlicherweise bei geringer Konzentration nur an den Punkten, wo durch die Wärme eine gesteigerte chemische Energie hervorgerufen wird, also an den heißesten Theilen (Wasserlinie, Feuerplatten). Als ziemlich häufige Beispiele dieser schädlichen Wässer sind zu erwähnen die Abwässer von Verzinkereien, welche oft Salpetersäure enthalten, die Wässer aus Kloaken mit bereits zersetzten, stickstoffhaltigen Stoffen, dann aus Torfmooren (Umin-, Humin-, Ameisensäure u. dgl.), ferner die Grubenwässer aus Steinkohlen-, Braunkohlen- und Kaolingruben, welche oft freie Schwefelsäure enthalten, herrührend von der Oxidation im Thonschiefer vorkommender Pyrite.

Im Verhalten völlig verschieden, in der Wirkung aber gleich wie die vorerwähnten, sind jene Stoffe, welche bei gewöhnlicher Temperatur das Eisen wenig oder gar nicht angreifen, welche aber, bei einer gewissen Temperaturgrenze angelangt, Zersetzungen erleiden und durch Bildung von Eisenverbindungen zerstörend auf das Kesselblech einwirken. Hierzu gehören z. B. oft die Abwässer der Eisenbeizen von Drahtziehereien, welche schwefelsaures Eisenoxid enthalten, welches sich bei der Wassertemperatur von 150—160° in Eisenoxid und freie Schwefelsäure zersetzt, welche letztere das Eisen oxidiert und durch Aufnahme von Sauerstoff aus dem Wasser und folgende Zersetzung fortlaufende Zerstörung des Kesselblechs bewirken kann.

Sehr zerstörend wirkt auch die von Holzdämpfern entstehende, aus dem Holze ausgelaugte Flüssigkeit welche Ameisensäure enthält und das Eisen oft sehr schnell angreift. Sehr oft treten in Dampfkesseln von Zuckerrfabriken schwere Schäden dadurch ein, daß Zuckerslösungen, die theils durch Undichtheit, theils durch zu heftiges Verdampfen in Verdampfapparaten mechanisch mitgerissen, mit den sonst sehr reinen Destillaten (Retourwasser und Bräudenwasser) gemischt, in die Kessel gelangen und dort unter dem Einflusse der Temperaturen von 140—150° unter Ausscheidung kohligter Substanzen in organische Säuren sich zersetzen (Ameisensäure, Essigsäure, Lävulinsäure) und dann, besonders bei längerem Verweilen in den Kesseln oder bei Abwesenheit einer schützenden Schicht von Kesselstein, eine sehr energische wurmfraßartige Korrosionswirkung an den heißesten Kesseltheilen ausüben; die Korrosion hemmend oder ganz verhindernd wirkt der Ammoniakgehalt des Bräudenwassers oder geeignete Zusätze von Kalk oder Soda.

Abweichend von den bisher beschriebenen, äußern sich die Korrosionen, die durch lokale Zersetzung verschiedener Stoffe an den direkt gefeuerten Blechplatten entstehen, und zwar jener Stoffe, die sich auch bei den höchsten in den betreffenden Kesseln vorkommenden Flüssigkeitstemperaturen noch nicht

zerlegen, wohl aber bei Temperaturen von 220° und mehr, wie dieselben, ~~trüben bei Staube~~, an den von der Flamme getroffenen Blechtheilen vorkommen. Hierher sind zu rechnen die in Laugekesseln, beziehungsweise Eindampfkesseln von Zellulosefabriken vorkommenden Korrosionen, die ihre Ursache theils in dem Gehalt der Kochlauge an Schwefelnatrium, welches letztere Bildung von Schwefeleisen bewirkt, theils in dem Gehalt der Eindampflauge an Chlornatrium und geschwefelten Kohlenwasserstoffen haben; wie scharf die Zersetzungsgrenze dieser Substanzen ist, zeigt sich aus der Thatfache, daß durch Beseitigung der Staube in Folge Feuerzugsänderung in einigen Fällen die Ausbreitung schon begonnener Korrosionen fast vollständig gehemmt wurde.

Durch Korrosionen in Folge lokaler Zersetzung von Chloriden, die im Wasser gelöst sind, leiden oft Kessel, deren Speisewasser auf irgend eine Weise mit dem Abwasser von Färbereien in Berührung kommt, sei es nun, daß dieses Wasser in einem offenen Gerinne geführt wird, sei es, daß das Speisewasser aus einem Brunnen in unmittelbarer Nähe eines solchen Gerinnes entnommen wird; auch in diesem Falle zeigt sich die Wirkung der zersetzten Chloride, die aus dem infiltrirten Boden stammen, im Kessel durch lokales Angreifen besonders heißer Blechtheile. Entsprechender Sodazusatz zum Speisewasser verhindert die Ausbreitung dieser Korrosionen vollständig.

Häufig findet man bei dieser Korrosion durch Zersetzung von Chloriden auch den Dampfraum des Kessels korridirt, nämlich mit einer rothbraunen Rostschicht bedeckt; diese Korrosion wäre nach der eingangs getroffenen Einteilung besonders zu behandeln, da sie von flüchtigen Säuren herrühren muß; als solche wird wohl nur Salzsäure, aus Zersetzungen verschiedener Chlorverbindungen stammend, genannt werden müssen, welche aber auch eine Korrosion in Folge gelöster Säure bewirkt, also ein Bindeglied dieser beiden, scheinbar weit abliegenden Blechzerstörungen darstellt.

Bezüglich dieser Chlorverbindungen ist besonders das Chlormagnesium hervorzuheben; dieses hat die Eigenschaft, wenn es im Wasser gelöst ist, bei 4 Atmosphären Druck direkt in Salzsäure und Magnesiumhydrat zu zerfallen, ja sogar bei nur 2—3 Atmosphären und entluftetem Wasser, Eisen im Wasser- und Dampfraum energisch anzugreifen, indem Eisenchlorid in Lösung geht und außerdem Eisenoxid gebildet wird, wobei bei genügender Zeit das Kesselwasser neutral reagirt. Diese Eigenschaft des Chlormagnesiums hat sich schon oft verderblich gezeigt bei Kesseln, welche mit Chlorbarium zur Fällung des Gipses behandelt werden, welches aber nebenbei Bittersalz (schwefelsaures, Magnesium) gelöst enthält; es bildete sich durch Umsetzung Chlormagnesium, das, zerfallend, eine korrodirende Wirkung ausübte; diese Eigenschaft des

Ehlmagnesiums mag wohl auch bei der Korrosion des Schiffskessel eine gewisse Rolle spielen; diese Kessel, besonders die mit Wasser aus Oberflächenkondensatoren gespeisten, werden im Wasser- und Dampfraum sehr rasch verrostet, wozu wohl auch die relative Reinheit des Speisewassers, welche eine nur dünne, also wenig schützende Kesselsteinschicht mit sich bringt, beiträgt, außer der Thatsache, daß die feuchte Seeluft auf das Kesselinnere bei Leerstehen des Kessels sehr stark verrostend wirkt.

Da es jedoch fast immer geschieht, daß durch Undichtigkeiten die Salzbestandtheile des Seewassers, von welchem Ehlmagnesium etwa 1/10 ausmacht, in die Kessel kommen, so kann die Möglichkeit der Ehlmagnesium-Zersetzung nicht ausgeschlossen werden.

XII. Das Speisewasser.

1. Messung.

Für alle Dampfkesselbesitzer ist es von größter Wichtigkeit, den Kohlenverbrauch auf das geringste Maaß zu beschränken; um aber beurtheilen zu können, ob und auf welche Weise dies möglich, ist vor Allen die genaue Kenntniß der verbrauchten Speisewassermenge nöthig und dann giebt die fortlaufende genaue Aufzeichnung des verdampften Wassers unter Berücksichtigung der dazu verbrauchten Kohlenmenge ein zuverlässiges Mittel:

1. die Verdampfungsfähigkeit der verschiedenen Kesselarten,
2. den Heizwerth des verwendeten Brennmaterials,
3. die Fähigkeit und den Fleiß des Heizers,
4. den jeweiligen Zustand des Kessels und der Dampfmaschine erkennen und ohne Schwierigkeit fortlaufend beobachten zu können.

Nur ein Wassermesser, der kaltes oder warmes Wasser unter jedem Druck genau mißt, giebt dem Kesselbesitzer die Möglichkeit, jederzeit feststellen zu können, wie viel Kilo Wasser mit 1 Kilo der verschiedenen Kohlenarten verdampft werden, und aus den Vergleichen der täglichen Aufzeichnungen untereinander und den allgemeinen Ansprüchen, die man an einen guten Kessel, an preiswerthe Brennstoffe und an einen guten Heizer stellt, ergiebt sich für den Kesselbesitzer ein untrügliches Urtheil über seinen gesammten Dampfbetrieb und es sollte daher ein guter Wassermesser bei keiner Kessel-Anlage fehlen.

Die Kosten eines Wassermessers werden in allen Fällen allein schon durch den Heizer, der sich beobachtet weiß und den man leicht mit einem

kleinen Antheil an der Kohlenersparniß betheiligen kann, in kurzer Zeit angebracht.

Taß aber eine so mögliche Wassermessung bisher so selten, oder nur bei großen Anlagen oder auf kurze Dauer bei Untersuchungen vorgenommen wurde, mag seinen Grund darin haben, daß die bisherigen Apparate auf die Dauer geachteten Ansprüchen meist nicht genügen konnten, ohne Störungen in bestehende Speisemaschinen sich nicht einschalten ließen oder unter höherem Druck und mit heißem Wasser bei Pumpen oder Injektorbetrieb überhauzt nicht arbeiteten. Empfohlen wird:



Fig. 62.

Der Wassermesser arbeitet bei jedem Druck und jeder Geschwindigkeit gleich zuverlässig. Derselbe kann so genau eingeschliffen werden, daß seine Bewegung bereits bei dem Druck einer Wasserfäule von 0,3 Meter beginnt und daß ein tropfenweiser Austritt ebenso genau gemessen wird, wie 10000 Liter in einer Stunde. Der Wassermesser bildet daher eine durchaus genaue, selbstthätige Meßvorrichtung.

Die Wassermenge, welche durch den Wassermesser geflossen ist, wird an einem allgemein verständlichen Zählwerk in Litern abgelesen.

Aufstellung des Schmid'schen Wassermessers. Der Schmid'sche Wassermesser muß in das Druckrohr der Speisefleitung und zwar im Sinne der Richtung des Pfeiles, welcher auf jedem Apparat angebracht ist, eingeschaltet werden (Figur 63). Wenn das Wasser durch einen Vorwärmer fließt, ist der Wassermesser stets vor dem Vorwärmer einzuschalten; ist in der

Der Schmid'sche Wassermesser*) Figur 62, insbesondere zum bequemen Messen von Kessel-Speisewasser. Derselbe ist ein Kolbenwassermesser mit zwei senkrecht nebeneinander stehenden Zylindern, deren Kolben auf eine gemeinschaftliche Nurbelwelle wirken, so daß ein Stillstand derselben im Betriebe ausgeschlossen ist. Eine besondere Steuervorrichtung, Schieber u. dgl., ist ganz vermieden und geht die Steuerung und Vertheilung des Wassers nur durch die eigenthümlich durchbrochenen, sehr einfachen Kolben

*) Vertrieben durch Speyrer & Co. (Berlin S.W.)

Speiseleitung ein Sicherheitsventil vorhanden, was stets zu empfehlen ist, so muß der Wassermesser zwischen diesem Sicherheitsventil und dem Kessel eingeschaltet werden. Es ist zu empfehlen, durch Dreiweghahn und Durch-

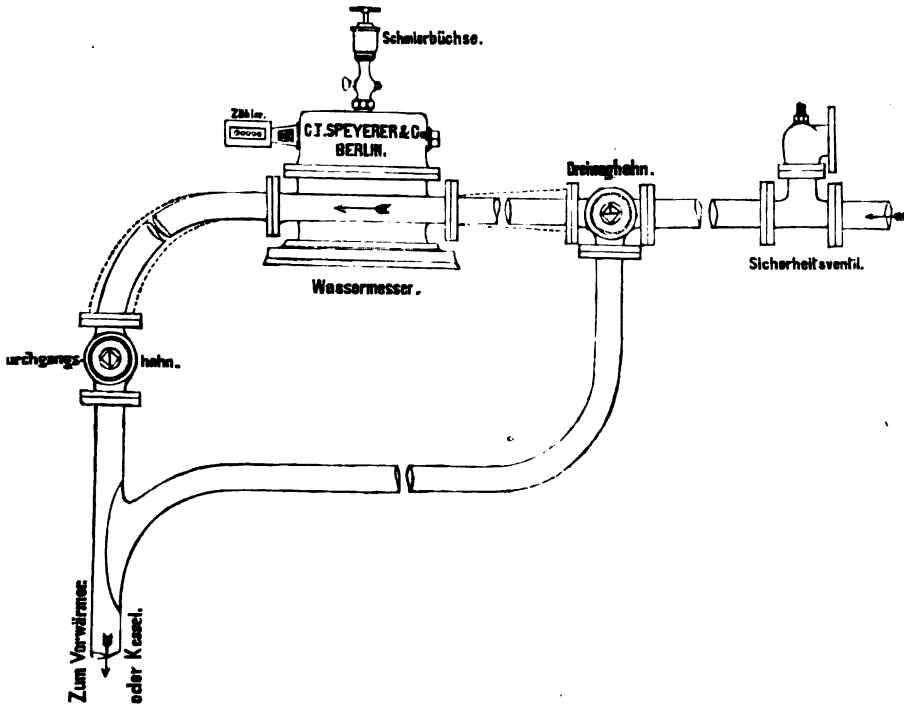


Fig. 63.

gangshahn nebst entsprechender Abzweigrohrleitung eine Abstellung des Wassermessers jederzeit während des Betriebes zu ermöglichen, jedoch ist diese Anordnung nicht nothwendig.

Es ist sorgfältig darauf zu achten, daß das gesetzlich vorgeschriebene Rückschlagventil am Kessel dicht ist, damit der Rückfluß des Kesselwassers in den Wassermesser verhindert wird.

Wenn aus irgend welchem Grunde der Wassermesser auseinander genommen werden soll, entfernt man die Schrauben, welche Obertheil und Mittelstück verbinden, hebt ersteres vermittelst der Druckschrauben an und versucht es

senkrecht abzuheben, wodurch beide Kolben mit herausgezogen werden. Haben sich letztere durch Koft oder dergl. festgesetzt, so muß auch das Untertheil abgenommen und an den Kolben von unten vorsichtig nachgeholfen werden. Beim Wiederzusammensetzen ist darauf zu achten, daß die Dichtungspappe, welche Untertheil und Mittelstück, sowie Mittelstück und Overtheil abdichtet, nur genau 1 Millimeter dick ist und wieder richtig eingelegt wird, da sonst die betreffenden Kanäle nicht richtig in Verbindung stehen.

Eine gründliche Reinigung sollte man dem Wassermesser ebenso gut wie jeder anderen Maschine von Zeit zu Zeit zu Theil werden lassen. Vor Frost ist der Wassermesser natürlich sorgfältig zu schützen und vor jedem Transport durch Öffnen vom Wasser zu befreien.

Nach einem Vortrage (Struplers*) wird dieser Wassermesser wie folgt beurtheilt.

Während vereinzelt Schmid'sche Messer wegen Unzuverlässigkeit und rascher Abnutzung bald nach ihrer Aufstellung beseitigt wurden, heißt es von anderer Seite, daß sie als neu sehr gute Resultate geben, bei fortwährender Benutzung aber nach einiger Zeit in der Genauigkeit sinken und sich namentlich an den Kolben rasch abnutzen; wieder Andere berichten, daß er sich bei kontinuierlichem Betriebe jeweils ungefähr 2 Jahre lang recht gut halte, dann aber reparaturbedürftig werde; an einem Orte befinden sich dagegen solche, die über zwei Jahre ohne wesentliche Reparatur durchkommen, einer sogar, der ohne Anstand seit acht Jahren arbeitet.

Im Allgemeinen wird empfohlen, den Apparat reichlich groß genug zu nehmen, damit er nicht zu rasch laufen müsse, ihn fleißig zu schmieren, nur bei sandfreiem Wasser anzuwenden, Speisewasser von über 80° nicht durch ihn gehen zu lassen und ihn von Zeit zu Zeit nachzusehen und wieder in Stand zu stellen. Höhere Temperatur als 80° veranlaßt leicht das Verlaufen der Schmiere und dadurch veranlaßt Festsitzen der Kolben.

Ausbesserungen sind verhältnißmäßig wenig nöthig und können fast ganz vermieden werden, wenn fleißiges Nachsehen und Schmieren stattfindet und namentlich, wenn der Apparat groß genug, jedenfalls etwas größer gewählt wird, als der Prospekt ihn nach vorgesehener Leistung angiebt.

Betreffs Genauigkeit wechseln die Resultate nach besondern Versuchen zwischen 0,5 bis 1,5 %, was für Betriebszwecke vollkommen genügend erscheint. Bei nur vorübergehend hoher Temperatur des Speisewassers kann man sich leicht mit etwas fleißigem Schmieren helfen.

*) Zeitschrift des Verbandes der Dampfkesselvereine. August 1890. Nr. 8. Seite 114.

Für die Benutzung auch bei kleinen Anlagen ist gesorgt, indem Anschlußstücke für Leitungen von verschiedenem Durchmesser vorhanden sind und da sich ergeben hat, daß auch ganz kleine Durchgangsmengen ebenso genau gemessen werden wie größere.

Außer den beschriebenen werden auch noch die Wassermesser von Kennedy und von Fischer & Stiehl als empfehlenswerth bezeichnet.

Der Wassermesser ist der treueste, unbefangenste und unparteiischste Rathgeber im Dampfkesselbetrieb; er giebt Auskunft über den praktischen Brennwerth der verschiedenen Kohlenforten, die Geschwindigkeit des Heizers in Bezug auf Brennmaterialverbrauch, die Zuverlässigkeit verschiedener Einrichtungen, die zum Zwecke von Kohlenersparniß bei Dampfkesseln angewendet werden sollen, und bei denen Kohlenersparniß in Aussicht gestellt wird, sodann über den Zustand der Kesselanlage im Allgemeinen.

Ein aufmerksamer Beobachter wird an der Hand eines guten Wassermessers rasch und ohne Mühe sich überzeugen können, welche Kohle seiner Anlage am besten paßt, ob der Heizer etwas taugt oder nicht, und ob er sich verschlechtert oder verbessert hat.

2. Wasserreinigung. Kesselstein.

Das Wasser zum Speisen der Dampfkessel soll klar sein, wenig Kalzium- und Magnesiumsalze, keine Nitrate und Nitrite, kein Ammon, keine Schwefelmetalle, keine Substanzen von saurem Charakter und kein Fett enthalten.

Auch absorbirte Gase (Sauerstoff, Kohlenäure und Schwefelwasserstoff) wirken nachtheilig.

Die Karbonate der Erdbalkalimetalle sind, sowie das Kalziumsulfat, die hauptsächlichste, ja in der Regel sogar die alleinige Ursache der Kesselsteinbildung.

Als Kesselstein bezeichnet man die im Wasserraume des Dampfkessels entstehenden krustenartigen oder schlammigen Abfälle.

Bisher war man der Meinung, daß Kalziumsulfat der eigentliche Krustenbilder sei, die Karbonate des Kalziums und Magnesiums für sich allein bloß schlammige Ausscheidungen geben und nur durch Vermittlung des Gipses zu festen Krusten zusammenbacken. Neuere Untersuchungen haben aber gezeigt, daß manche Wässer sehr feste, kristallinische Kesselsteinkrusten absetzen, die fast nur aus Kalziumkarbonat bestehen. Wenn man Wasser, welches größere Mengen von Erdkarbonaten gelöst enthält, in einem Glasgefäße längere Zeit kocht, so entstehen neben den pulverigen oder flockigen Ausscheidungen auch immer schwache Krusten, die sich fest an die Glaswand ansetzen.

Die Neigung zur Krustenbildung ist um so größer, je langsamer die Ausscheidung der betreffenden Verbindung erfolgt. Ein Theil der Erds-carbonate fällt schon beim Erwärmen des Wassers, ein anderer Theil erst nach längerem Kochen, und der letzte Antheil bleibt selbst im kochenden Wasser gelöst. Ein Liter Wasser löst 34 Milligramme Kalziumkarbonat und 100 Milligramme Magnesiumkarbonat. Dieser letzte Antheil fällt erst in dem Maße aus, als Wasser verdampft, und wirkt gewissermaßen als Bindemittel für den bereits früher ausgeschiedenen pulverigen Niederschlag. In gleicher Weise scheidet sich auch das Kalziumsulfat nur allmählich aus. Die übrigen Bestandtheile, welche im Kesselstein vorkommen können, sind theils schon im ursprünglichen Wasser vorhanden, wie Kieselsäure, Silikate, Eisenkarbonat (als Bikarbonat) und organische Substanzen, theils werden sie erst durch Zersetzung bei höherer Temperatur gebildet, wie das der Fall ist bei dem Magnesiumhydroxid, welches aus dem Chlorid und Karbonat entsteht und theils sind sie erst nachträglich in das Wasser gelangt, wie das Eisenhydroxid, das Kalziumhydroxid und die fettartigen Substanzen. Das Eisenhydroxid rührt von den Kesselwänden und Eisenbestandtheilen der Pumpen, Röhrenleitungen u. dergl. her, das Kalziumhydroxid von der bei der Reinigung des Speisewassers im Ueberschuß angewandten Kalkmilch, und die fettartigen Bestandtheile von den Schmiermitteln.

Die Kesselsteinbildung hat mehrfache Nachteile im Gefolge:

1. Die Wärme der Feuergase wird viel unvollständiger ausgenützt, indem die Abfänge die Kesselwand stetig verdicken und überdies die Wärme viel schlechter leiten als das Blech. Für die Erzeugung einer bestimmten Dampfmenge ist daher in diesem Falle ein bedeutend größerer Brennstoffaufwand erforderlich.
2. Die Kessel werden durch das Ueberhizen der Feuerplatten und bei der Reinigung durch das Losmeißeln der Krusten sehr rasch abgenützt. Hat die Kesselsteinkruste eine gewisse Dicke erreicht, so kann sich das Ueberhizen in Folge des gehinderten Wärmedurchganges sogar bis zum Erglühen steigern, was dann immer mit einem Verziehen und Ausbauchen der Feuerplatten, sowie mit einem Undichtwerden der Nietnähte verbunden ist.
3. Es liegt die Gefahr einer Kesselplosion nahe, indem sich der auf den glühenden Blechen befindliche Kesselstein oft in ganzen Platten loslöst. In demselben Momente aber, als das Wasser mit der glühenden Metallfläche in Berührung kommt, entwickelt sich massenhaft Dampf, und es entsteht eine Spannung, die das Normalmaß weit übersteigt. Die Gefahr des Zerreißen ist hier um so größer, als das Blech im erhitzten

Zustande an Festigkeit bedeutend verliert, und der Dampfdruck nicht gewissermaßen mit einem Stöße steigt.

4. Das durch die ausgeschiedenen Salze schlammig gewordene Wasser schäumt oft sehr stark, der Schlamm verstopft die Wasserstandszeiger und Manometer, legt sich zwischen die Sitzflächen der Ventile und wird in die Dampfmaschine mit übergerissen.

Zur Verhinderung der Kesselsteinbildung wurde eine große Zahl von Mitteln und Vorrichtungen empfohlen, von denen sich aber nur wenige in der Praxis bewährt haben.

Das einfachste und in manchen Fällen auch ganz zweckmäßige Mittel ist das oftmalige theilweise Ausblasen des Kessels. Die Kesselsteinbildung wird dadurch zwar nicht verhindert, wohl aber auf ein geringeres Maß beschränkt, da die Konzentration der verbleibenden Salzlösung niemals hoch steigt, und bei jedesmaligem Ausblasen der größte Theil des Schlammes, welcher bei länger fortgesetztem Betriebe mit an der Krustenbildung theilnimmt, entfernt wird.

Das Anstreichen der Kesselwände mit Fett, Seife, Theer, Graphit u. s. w. soll einerseits das Kosten der Bleche und andererseits auch das feste Anhaften des Kesselsteines verhindern. Diese Methode, welche auch heute noch von mehreren Seiten empfohlen wird, schadet oft mehr als sie nützt. Alle wie immer gearteten Anstriche haben den Nachtheil, daß sie die direkte Berührung des Wassers mit dem Kesselblech verhindern, in Folge dessen die Wärmeübertragung erschweren, und nicht selten ein stoßweises Sieden veranlassen. Ferner verunreinigen sie das Wasser und den Dampf. Am schädlichsten sind Fette oder fetthaltige Substanzen.

Die rationellste Methode, der Kesselsteinbildung vorzubeugen, besteht in der chemischen Behandlung des Speisewassers in Behältern oder Apparaten, worin durch geeignete Reagentien alle kesselsteingebenden Salze zerlegt und die dabei entstehenden Niederschläge durch Abfließen oder Filtration entfernt werden. Es lassen sich dadurch alle hier in Betracht kommenden Wässer derart reinigen, daß sie für die Verwendung als Kesselspeisewasser brauchbar werden.

Die chemische Reinigung ist darauf begründet, daß die in Wasser gelösten Stoffe in unlösliche Verbindungen übergeführt und ausgefällt werden. Bei der Entstehung des Niederschlages werden auch noch andere, gelöste, wie in Wasser schwebende, ganz oder theilweise mit ausgefällt. Die in Anwendung kommenden Mittel sind verschieden, je nach dem chemischen Bestande der im Wasser gelösten Stoffe und nach dem Mengenverhältniß derselben.

Eine Reinigung ist nur dann richtig und zuverlässig auszuführen, wenn die chemische Analyse des betreffenden Wassers ausgeführt werden ist und zur Richtschnur genommen wird.

Im Allgemeinen muß man die Bemühungen, die Fällung des Kesselsteins durch Fügen von Chemikalien zu dem bereits im Kessel befindlichen Wasser zu verhindern, als durchaus verfehlt bezeichnen. Daß dieser unrationelle Weg endlich verlassen worden, ist das Verdienst von Kolbmann in Wien. Derselbe kam zuerst auf den allerdings nahe liegenden Gedanken, die Zersetzung der Kesselstein bildenden Stoffe vor der Einführung des Wassers in die Kessel zu bewirken. Dazu ist selbstverständlich die genaue Kenntniß der chemischen Natur des Wassers erforderlich. Kennt man aber die chemische Zusammensetzung eines Wassers, weiß man, welche und wie viel Kesselstein bildenden Stoffe dasselbe enthält, so ist auch jeder Chemiker in der Lage, Mittel und Wege anzugeben, diese Salze in zweckentsprechender Weise zu entfernen. In der Folge sollen die bewährtesten der hierauf begründeten Verfahren beschrieben werden.

1. Ein Verfahren, dessen Anwendung sehr wenig Anstalt und Mühe-waltung erfordert, und das fast automatisch wirkt, ist das Verfahren von Böhlig^{*)}. Dasselbe beruht auf der Eigenschaft des Magnesiumoxydhydrats, die Bicarbonate der Erdmetalle, und auf der Eigenschaft der kohlensauren Magnesia, den schwefelsauren Kalk zu zersetzen. Die Bicarbonate der Erdmetalle werden schon nach kurzer Zeit der Berührung mit Magnesiumoxydhydrat in einfach kohlensaure Salze, die unlöslich sind, übergeführt, während gleichzeitig kohlensaure Magnesia entweicht. Die kohlensaure Magnesia wirkt zersetzend auf den schwefelsauren Kalk, indem sich schwefelsaure Magnesia und kohlensaurer Kalk bildet; diese Umsetzungen vollziehen sich besonders leicht bei hoher Temperatur. Je nach der Natur der im Wasser enthaltenen Salze wird man also entweder reines Magnesiumoxydhydrat anwenden, oder aber eine Mischung von Magnesiumoxydhydrat mit kohlensaurer Magnesia, bezw. basisch kohlensaure Magnesia. Der Prozeß ist einfach und klar; es drängt sich aber die Frage auf, was geschieht, wenn in dem zu reinigenden Wasser auch Chlormetalle enthalten sind? Ist in solchen Fällen nicht zu beforgen, daß ein Theil der in den Kessel übergegangenen schwefelsauren Magnesia sich zersetzt und daß Chlormagnesium entweicht? Diese Verbindung, die wir mit Recht in den Kesseln fürchten, kann in der That bei Gegenwart von Chlormetallen bei Anwendung des Magnesiaverfahrens entstehen; aber die unter anderen Umständen bestehende Gefahr, daß durch den Einfluß der hohen Temperatur das Chlormagnesium sich nun in Magnesiumoxyd und freie

*) Patent Böhlig & Heyne; Betrieb durch Heyne & Weidert in Leipzig.

Salzsäure zerlegen könnte, ist hier nicht vorhanden, weil mit dem gereinigten Wasser auch geringe Schlammengen in die Kessel gelangen, die aus Magnesiumoxidhydrat bestehen. Das Speisewasser besitzt dadurch eine alkalische Reaktion, die immer nachzuweisen ist, und es würde, wenn das Chlormagnesium sich zersetzen sollte, die entstandene Salzsäure im Moment des Entstehens durch das vorhandene Magnesiumoxid neutralisirt werden. Gerade in dem Umstande, daß das mit Magnesia gereinigte Wasser stets eine ausgesprochen alkalische Reaktion besitzt, liegt die sichere Gewähr für die absolute Unschädlichkeit der Magnesia-Anwendung.

Was die Handhabung des Verfahrens anlangt, so ist dieselbe un-
gemein einfach, gegenwärtig geschieht die Herstellung des Magnesia-Präparats wie folgt. Wenn man feingepulverte Magnesia mit Holzraspelspähnen und etwas Wasser innig mischt, so tritt nach kurzer Zeit ein mäßige Erwärmung ein und es bildet sich Magnesiumoxidhydrat. Letzteres legt sich bald ganz fest auf die Außenflächen der Holzspähne auf und bietet in dieser Form der Vertheilung eine außerordentlich große Oberfläche dar.

Mit den so gewonnenen Magnesiaspähnen werden nun vier schmiedeeiserne Zylinder, die nach Art der Diffusionsgefäße zu einer Batterie mit einander verbunden sind, gefüllt. Die Zylinder haben einen Inhalt von ungefähr 1 cbm. Hat man Wasser zu reinigen, das suspendirte Stoffe enthält, so wird es sich unter allen Umständen empfehlen, diese erst zu beseitigen, sei es durch ein vorzulegendes Kohlsfilter, oder durch eine Filterpresse, oder auf eine beliebige andere Weise. Nun läßt man das zu reinigende Wasser mit einer Temperatur von 60 bis 70° C. in das erste Gefäß der Reinigungsbatterie eintreten, läßt es alle Gefäße durchlaufen und bei dem vierten wieder austreten. Auf dem Wege durch die 4 Zylinder hat sich im Wasser die Zersetzung der Kesselstein bildenden Salze vollzogen und das austretende gereinigte und völlig klare Wasser kann nun unmittelbar zur Kesselspeisung benutzt werden. Nach einer Woche wird der erste Zylinder ausgeschaltet; der Zylinder wird entleert und auf's Neue mit Magnesiaspähnen gefüllt. Nun wird der zweite Zylinder derjenige, in den man das Wasser eintreten läßt; man läßt es durch den dritten und vierten in den ersten Zylinder gehen, welcher nun der letzte geworden ist; aus demselben tritt das gereinigte Wasser aus.

Nach wieder einer Woche wird der zweite Zylinder ausgeschaltet, entleert und wieder gefüllt, und nun läßt man das ungereinigte Wasser in den dritten Zylinder eintreten, durch den vierten nach dem ersten und zweiten laufen und aus diesem gereinigt austreten u. s. f. Jedesmal ist der zuletzt gefüllte Zylinder derjenige, aus welchem das gereinigte Wasser austritt.

Man sieht hieraus, daß die Wasserreinigungsbatterie ununterbrochen im Betriebe ist, der Betrieb wird auch dann nicht unterbrochen, wenn ein Zylinder entleert und frisch gefüllt wird; man läßt dann nur für die Zeit des Füllens, also etwa 2 Stunden lang, das Wasser statt durch vier nur durch drei Zylinder gehen. Die Wirkung der Magnesia läßt sich leicht beobachten.

Wenn man an dem Tage, an dem ein Zylinder frisch mit Magnesiumpräparat gefüllt worden ist, das gereinigte Wasser untersucht, indem man es mit oxalsaurem Ammoniak versetzt, so findet man, daß nach dem Zusatz dieses höchst empfindlichen Reagens' eine Fällung oder Trübung nicht entsteht; es zeigt sich erst nach Verlauf einer Viertelstunde ein ganz schwaches Opalisieren der Flüssigkeit. Am zweiten Tage erscheint das Opalisieren etwas früher, es tritt nach etwa 5 Minuten auf, während unmittelbar nach dem Zusatz des oxalsauren Ammoniak das Wasser vollständig klar bleibt. Am dritten Tage tritt das Opalisieren nach 3 Minuten ein, am vierten Tage nach 2 Minuten, am fünften und sechsten aber schon nach $\frac{1}{2}$ Minute. Will man den Kalkgehalt des gereinigten Wassers als Maßstab für die Reinigungswirkung der Magnesia ansehen, so muß man zugeben, daß auch hierbei von einer absoluten Reinigung des Wassers, von einer unbedingten Beseitigung der Kesselstein bildenden Substanzen nicht die Rede sein kann, ebensowenig wie bei irgend einem anderen Verfahren. Aber die Kesselsteinbildung ist dennoch nicht erheblich, sie ist kaum nennenswerth, wenn man nur stets für rechtzeitige Beschickung der Reinigungs-Batterie mit frischem Magnesia-Präparat Sorge trägt. Der lockere Schlamm, der sich in den Kesseln ansammelt, läßt sich mit großer Leichtigkeit entfernen.

Was die Kosten des Verfahrens anbelangt, so sind dieselben nicht ganz gering. Man braucht beispielsweise für neun Kessel, die zusammen etwa 580 qm Heizfläche haben, wöchentlich 125 kg Magnesiumoxidhydrat, das macht wöchentlich etwa 54 Mark, die Reinigungs-Batterie kostet etwa 4000 Mark; der Vorwärmer, mit Hilfe dessen das Wasser leicht auf die Temperatur von 50—60° R. gebracht werden kann, kostet 660 Mark. In einem anderen Falle sind die Kosten auf 5—6 Pf. für das Kubikmeter angegeben worden.

2. Verfahren von Stingl-Berenger. Diesem Verfahren wird von vielen Praktikern der Vorzug vor den übrigen gegeben. Ebenso von Schwachhöfer, dessen Besprechung*) wir im Nachstehenden folgen.

Die Fällung geschieht durch Natriumhydroxid, welches entweder für sich allein, oder im Gemenge mit Kalziumhydroxid oder Natriumkarbonat

*) Landwirtschaftliche Technologie S. 213 ff.

in Anwendung kommt. Durch die genannten Stoffe werden die Kalzium-, Magnesium- und Eisen-Salze, die Silikate, die Thonerde und die freie Kieselsäure, ferner die fettartigen Bestandtheile und endlich auch ein Theil der im Wasser gelösten organischen Stoffe ausgefällt.

Ob Natriumhydroxid für sich allein oder in Verbindung mit einem der vorgenannten Stoffe zu verwenden ist, hängt von dem gegenseitigen Mengenverhältnisse der auszufällenden Substanzen ab. Enthält das Wasser gerade so viel freie und halbgebundene Kohlensäure als dem Kalziumsulfat äquivalent ist, so genügt das Natriumhydroxid ohne weiteren Zusatz. Herrscht hingegen Kohlensäure (d. h. ein Bikarbonat) vor, so muß der Ueberschuß durch Kalziumhydroxid entfernt werden. Ueberwiegt der Gehalt an Gips, so kommt neben Natriumhydroxid auch noch Natriumkarbonat in Anwendung. Das Magnesiumkarbonat verhält sich ebenso wie das Kalziumkarbonat.

Enthält das Wasser neben den genannten Substanzen auch noch Magnesiumsulfat und Chlorid oder Eisensalze, so werden alle diese Verbindungen durch das Natriumhydroxid zerlegt und die Metalle als Oxidhydrate gefällt. Desgleichen wird auch die Thonerde abgeschieden. Die Alkalisilikate, sowie die freie Kieselsäure werden durch Kalziumhydroxid als Kalziumsilikate niederschlagen. Die vorhandenen Fette oder Fettsäuren fallen als Kalkseife aus.

Zuweilen findet sich im natürlichen Wasser auch Soda in erheblicher Menge (manche Wässer der ungarischen Theißgegend), was bei der Verwendung als Kesselspeisewasser zu Unfällen führt. Sobald nämlich das sodahaltige Wasser eine gewisse Konzentration im Kessel erreicht hat, tritt ein stoßweises Sieden und Ueberreißen von Wasser ein. Um solche Wässer zu reinigen, werden dieselben mit einer Mischung von Kalziumhydroxid und Magnesiumsulfat versetzt, wobei Kalziumkarbonat, Magnesiumhydroxid und unschädliches Natriumsulfat entstehen.

Die Zusätze werden als klare Lösungen in Anwendung gebracht; jeder Ueberschuß von Aetzkalk wird sorgfältig vermieden, weil derselbe einen sehr harten Kesselstein giebt.

Zur Herstellung der Reagenslösung dienen zwei Bottiche A und B, von denen jeder mit einer Dekantirvorrichtung (siehe Figur 64 f. S.) versehen ist. Soll z. B. eine Mischung von 0,50 Kilogr. Kalziumhydroxid und 1,21 Kilogr. Natriumhydroxid erzeugt werden, so löst man 207 Kilogr. Natriumkarbonat (entsprechend 2,3 Kilogr. 90prozentige Soda) in der 12 bis 20fachen Menge warmen Wassers, giebt die äquivalente Menge frischgebrannten Kalk (1,09 Kilogr.) in Form von Kalkmilch zu, rührt 8 bis 10

Minuten tüchtig durch, und läßt dann abfließen. Der Kalk zerlegt die Soda, wobei sich Kalziumcarbonat abscheidet, während Natriumhydroxid in Lösung bleibt.

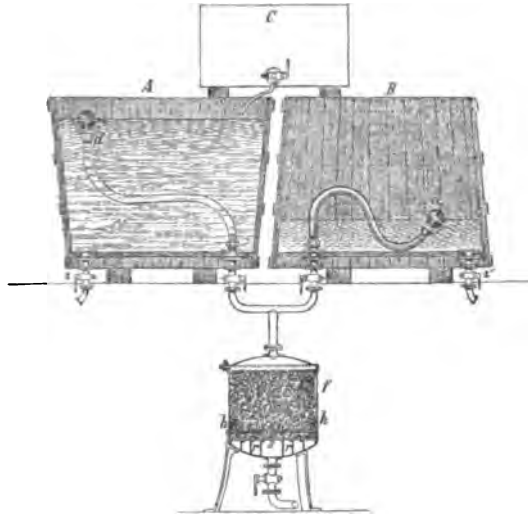


Fig. 64.

Es ist zweckmäßig, den Prozeß in einem Blechkasten C vorzunehmen, welcher über den beiden Bottichen aufgestellt und mit einem Ablaufhahn versehen ist. Die Hälfte der Lösung läßt man langsam und unter stetem Umrühren in einen der Bottiche abfließen, in welchem bereits früher $\frac{0,50}{2} = 0,25$ Kilogr. Kalk gelöst und zu einer dünnen Milch verrührt wurden. Nach 20 bis 25 Minuten Ruhe hat sich die Mischung von Kalzium- und Natriumhydroxid geklärt, kann durch die Defantirvorrichtung abgelassen werden und zur Mischung mit der entsprechenden Menge Wasser verwendet werden. Während der eine Bottich sich entleert, wird in dem anderen eine neue Menge dieser Mischung erzeugt.

Wie schon erwähnt, ist die Menge der Reagentien von der Zusammensetzung des zu präparirenden Wassers abhängig. Die angegebene Mischung (0,5 Kilogr. Kalk und 1,21 Kilogr. Soda) reicht aus für 50 Hektoliter eines Wassers, welches in Liter 0,3125 g an Kalk und Magnesia gebundener Schwefelsäure und 0,2503 g halbgebundene und freie Kohlensäure enthält. Ueberdies wird auch noch durch einen empirischen Versuch die Reinigungswirkung ermittelt.

Die Vorrichtungen zum Reinigen sind verschieden, je nach dem Wasserbedarf. Handelt es sich nur um eine kleine Wassermenge, wie z. B. zur Speisung eines einzelnen Dampfkessels, so genügt ein Behälter mit Abzugsrohr. Für größeren Bedarf werden zwei Behälter und ein Filter in Anwendung gebracht, wie dies in Figur 64 dargestellt ist. Der jeweilig leergewordene Behälter wird mit einer bestimmten Menge Wasser gefüllt, die erforderliche Menge Reagenslösung zugefügt, einige Minuten durchgerührt und dann der Ruhe überlassen. Die Hauptmenge des Niederschlages setzt sich rasch zu Boden, die feinsten Theile bleiben aber längere Zeit aufgeschwemmt; es ist daher zweckmäßig, das Wasser, welches durch die Abzugsvorrichtung *d* abfließt, ein Filter *f* durchfließen zu lassen.

Die Abzugsvorrichtung besteht aus einem Kautschukschlauch, dessen obere trichterförmige Mündung mittelst eines Kugel-Schwimmers in einer gewissen Höhe unter dem Wasserspiegel gehalten wird. Das untere Ende ist mit einem Ablaufhahn und durch diesen mit dem Filter verbunden. Dieses letztere ist aus Kesselblech hergestellt und mit einem abnehmbaren Deckel versehen. Die Beschickung geschieht in folgender Weise. Auf den konkaven Boden werden drei aus Blechstreifen gefertigte Ringe *r* gelegt, welche den Siebboden *s* tragen. Auf diesen letzteren kommt eine 8 bis 10 Zentimeter hohe Schichte von staubfreien Hobelspänen, und dann ein zweiter Siebboden *s'*. Um diesen oberen Siebboden festzuhalten, wird ein biegsamer Holzreif *h* eingelegt und mittelst eines Holzkeiles befestigt.

Der ganze übrige Raum wird mit einem Gemenge von 3 Theilen gereinigter Hobelspäne und 1 Theil Kohlstücken beschickt, und die Füllung gleichmäßig festgetreten. Die Kohlstücke haben nur den Zweck, das zu dichte Aneinanderlegen der Hobelspäne zu verhindern. Nach der Beschickung wird zwischen den Flanschen ein Dichtungsring eingelegt, der Deckel aufgesetzt und mittelst Schrauben festgezogen. Die beiden Hähne *z* und *z'* dienen zum Ablassen des abgesetzten Schlammes.

Sollen große Wassermengen gereinigt werden, so empfiehlt sich der in Figur 65 f. S. dargestellte selbstthätig und ununterbrochen wirkende Reinigungsapparat. Die wesentlichsten Bestandtheile desselben sind: 1. das Mischgefäß *M* und 2. die Klärgefäße *S*, gewöhnlich drei an der Zahl, von denen das letzte mit einem Filter versehen ist.

Das durch eine Druckpumpe gehobene oder direkt zuströmende Wasser gelangt durch das Rohr *a* in den Mischer. Gleichzeitig wird mittelst einer Injektionspumpe die nöthige Menge der Reagenslösung durch das seitliche Rohr *b* zugeführt. Das Gemisch dieser beiden Flüssigkeiten strömt durch das Tauchrohr *c* nach abwärts, stößt gegen den Konus *d*, wird gegen

den Umfang des Gefäßes geschleudert, steigt in die Höhe, fällt gegen die Mitte hin wieder nach abwärts, steigt endlich in dem konischen Mantelrohr e auf, und gelangt durch das Steigrohr f in das erste Klärgefäß.

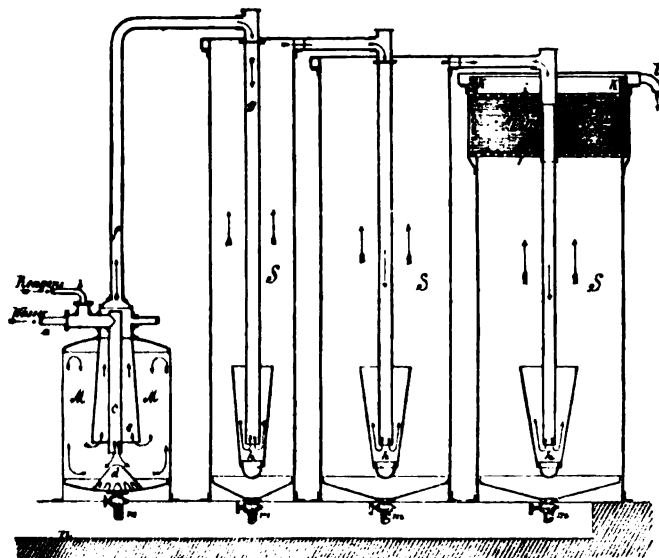


Fig. 65.

Auf diesem langen Weg werden die Flüssigkeiten innig gemischt, und die Reaktion geht vollständig vor sich. Von Wichtigkeit ist die Größe des Mischers, die einerseits von der Natur des zu reinigenden Wassers und andererseits von der Wassermenge, welches in der Zeiteinheit gereinigt werden soll, abhängig ist. Bei manchen Wässern geht die Reaktion sehr rasch vor sich, während in anderen Fällen eine Zeit von 30 bis 60 Minuten dazu erforderlich ist.

Die Klärgefäße haben den Zweck, den im Wasser aufgeschwemmten Niederschlag zum Absetzen zu bringen und nur geklärtes Wasser durchgehen zu lassen. Ihre Wirkung beruht einfach darauf, daß das Wasser, welches durch das Fallrohr g schnell nach abwärts strömt, in dem weiten Zylinder sehr langsam wieder aufsteigt, wobei die darin schwimmenden Teile zu Boden sinken. Der Auftrieb erfolgt um so langsamer, je größer der Durchmesser des Gefäßes ist. Da die Klärung in einem Gefäße nicht genügend gelingt, werden

immer mehrere solche derart miteinander verbunden, daß das Wasser, welches in dem ersten Gefäße aufsteigt, in das Fallrohr des nächstfolgenden Gefäßes einströmt. Um den Stoß der Flüssigkeit gegen den Boden des Gefäßes aufzuheben, und damit das Aufwirbeln des abgesetzten Niederschlages zu verhindern, taucht das Fallrohr in einen Konus *h* ein. Das aus dem letzten Gefäß abfließende Wasser zeigt noch ein schwaches Opalifiren, welches von den feinsten Niederschlagtheilchen herrührt. Um diese letzte Spur von trübenden Bestandtheilen zurückzuhalten, ist das dritte Gefäß mit einem Filter versehen. Dasselbe besteht aus zwei Siebplatten *i* i', zwischen denen Badeschwämme, sogenanntes künstliches Grain d'Afrique*) oder sonst irgend ein geeignetes Material eingelegt ist. Die obere Siebplatte wird durch einen federnden Holzreif *k*, in gleicher Weise wie bei den vorhergesprochenen Filtern, festgehalten. Das gereinigte Wasser fließt bei *l* aus.

Die am Boden der Gefäße angebrachten Hähne *m* dienen zum zeitweiligen Ablassen des Schlammes, der durch die Rinne *n* in den Kanal abfließt.

Um zu erkennen, ob der Apparat richtig arbeitet, dienen folgende Proben:

- a) Das aus dem Apparat fließende Wasser muß vollkommen klar sein.
- b) Die Härte des gereinigten Wassers darf nur eine geringe sein, und muß nahezu unverändert bleiben.
- c) Das gereinigte Wasser darf auf neuerlichen Zusatz der benutzten Reagenslösung keine sofort eintretende Trübung geben. (Enthält die Reagensflüssigkeit Kalk, so kommt nach 10 bis 20 Minuten durch die in der atmosphärischen Luft enthaltene Kohlenäure eine schwache Trübung zum Vorschein.)
- d) Das gereinigte Wasser darf nicht alkalisch reagieren.
- e) Dasselbe darf mit Ammoniumoxalat keine Trübung geben.

Eine Trübung zeigt an, daß entweder nicht alle Kalk- und Magnesia-salze ausgefällt wurden, oder daß ein Ueberschuß von Nessler angewendet wurde. Letzteres giebt sich dann immer durch die alkalische Reaktion des Wassers zu erkennen.

Bei rationellem Betriebe müssen die Proben täglich vorgenommen werden, da manche Wässer, namentlich Flußwässer, in kurzen Zeiträumen Schwankungen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung unterworfen sind, und das Mischungsverhältniß zwischen Wasser und Reagensflüssigkeit jeweilig danach geregelt werden muß.

*) Sehr feine langfaserige Hobelspäne, welche als Polsterungsmaterial anstatt Pferdehaaren oder Seegrass verwendet werden.

3. Das Verfahren von de Haen (List vor Hannover) besteht in der Anwendung von Chlorbarium und Kalk, zur Bildung des schwefelsauren und kohlensauren Kalks, und Klärung, d. h. Absitzenlassen in einfachen dazu eigens aufgestellten Klärbehältern. Das Verfahren ist in vielen Fabriken ausgeführt worden und hat das einfache Resultat ergeben, daß man in allen Fällen bei richtiger Handhabung den Kesselstein vollkommen beseitigt hat, bei unrichtiger, dagegen das Uebel anstatt zu verringern häufig sogar vergrößerte.

Fast ausschließlich haben die Mißerfolge ihren Grund in einem unrichtigen Zusatz von Kalk und meistens in einem zu großen Zusatz desselben gehabt. Man hat sich durch die bei zu großem Kalküberschuß überaus leicht eintretende Klärung verleiten lassen, hierin nicht vorsichtig genug zu sein und hat nicht bedacht, daß dadurch für das zu beseitigende Uebel nur ein anderes eingeführt wird, indem überschüssig gelöster Kalk ebenfalls Kesselstein bildet. Wie weiter unten begründet werden wird, ist außerdem das Verfahren nicht anzuwenden angezeigt oder verlangt doch besondere Abänderungen, wenn das zu reinigende Wasser größere Mengen Chlormagnesium enthält.

Es sind für die Reinigung ganz bestimmte Grundregeln einzuhalten, die niemals überschritten werden dürfen, und wenn bei genauer Beachtung derselben der zunächst zu erzielende Erfolg, d. h. die schnelle Abscheidung der gefällten Substanzen aus dem Wasser, wie dies in sehr vereinzelt Fällen vorkommt, nicht erreicht werden kann, so darf man die Klärung nicht durch einen größeren Kalkzusatz zu erreichen suchen, sondern muß zu anderen ebenfalls einfachen Mitteln seine Zuflucht nehmen. Diese Grundregeln sind folgende:

1. Man muß einen kleinen, wenn auch nur sehr unbedeutenden Ueberschuß von Chlorbarium anwenden.
2. Der Kalküberschuß darf niemals die Grenze übersteigen, welche durch nachstehend angegebene einfache Merkmale angezeigt wird.

Ob diese beiden Regeln richtig befolgt sind, erkennt man folgendermaßen:

1) Den nächsten Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Menge des Chlorbarium-Zusatzes bietet die Wasseranalyse. Da indeß die Beschaffenheit des Wassers, sowie die Reinheit des im Handel vorkommenden Chlorbariums wechselt, so ist es gut, anfänglich und auch später von Zeit zu Zeit zu prüfen, ob genügend Chlorbarium vorhanden ist. Das geklärte Wasser muß, in einem reinen Glase, mit etwas Glaubersalzlösung verfest, sich nach einigen Minuten trüben. Tritt die Trübung sofort in sehr wahrnehmbarer

Weise ein, so kann man den zur Klärung benutzten Chlorbarium-Zusatz noch etwas verringern.

2) Der erforderliche gebrannte Kalk wird in Form von Kalkmilch angewandt. Erfahrungsmäßig hat sich herausgestellt, daß Wasser, welches einen sehr kleinen Ueberschuß von Kalk zeigt, keinen Kesselstein von Kalk absetzt, und selbst wenn der Ueberschuß 1 : 50,000 beträgt, findet keine Kesselsteinbildung statt. Die richtig alkalische, d. h. die rothes Lackmuspapier nach einer Viertelminute leicht (s. n. S. 284) bläuende Reaktion des Wassers verstärkt sich im Kessel beim Verdampfen nur höchst unbedeutend, und es scheidet sich dafür nach längerer Zeit ein leichter Schlamm ab, der wohl einer Nachwirkung der nicht vollkommen entfernten Kohlensäure auf den Kalk unter Bildung von einfach kohlensaurem Kalk seine Entstehung verdankt.

Hält man nun die angegebene, durch Lackmuspapier überaus leicht erkennbare Grenze ein, so gehört eine Kesselsteinbildung zur Unmöglichkeit.

Die Methode bedingt je nach Größe des Betriebes ein oder mehrere Gefäße zum Reinigen des Wassers und einen Behälter, aus welchem die Speisepumpe das gereinigte klare Wasser entnimmt. Beide Gefäße müssen so über einander gestellt sein, daß der Inhalt des oberen in das untere abfließen kann, wobei das letztere zweckmäßig in die Erde eingelassen wird, so daß die Oberkante mit dem Fußboden abschneidet.

Die Figur 66 zeigt beispielsweise die Einrichtung zur Reinigung von 10,000 Kub.-Fuß Speisewasser in 12 Stunden.

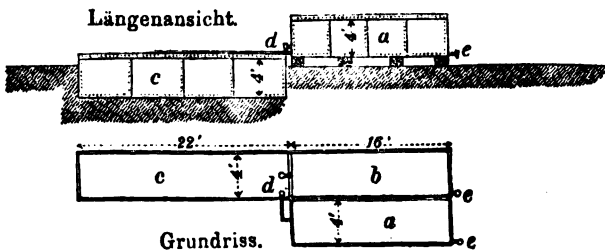


Fig. 66.

Die höherstehenden Gefäße a und b werden, wenn irgend möglich, mit, durch abgehenden Dampf vorher erwärmtem, Speisewasser gefüllt. Dieselben tragen 6 Zoll vom Boden Hähne d zum Ablassen des geklärten Wassers in c und am Boden bei e e Hähne zum Ablassen des Schlammes. Möglichst zur Hand stellt man nun die beiden, Kalkmilch und Chlorbarium enthaltenden Gefäße.

Es ist nicht erforderlich, die oben beschriebene Form der Gefäße einzuhalten, und man kann Form, Größe und Einrichtung derselben ganz den Erfordernissen des Betriebs und der Vertiklichkeit anpassen.

Für einen Betrieb von 10—50 Pferdekraft genügen zwei Gefäße, ein Fäll- und Klärwasserbehälter, ersteres von 4—8 Kub.-Meter, letzterer von 6—12 Kub.-Meter Inhalt. Ueber 50—150 Pferdekraft wende man 2 Klärgefäße und einen Klarwasserbehälter an. Die Arbeitsvorschrift lautet wie folgt:

1. Man messe den Inhalt des Klärgefäßes bis zu dem Punkte aus, bis zu welchem man es unter Berücksichtigung des zum Umrühren notwendigen leeren Raumes füllen kann und berechne dann die nach der Analyse angezeigte Menge Chlorbarium, darauf bereite man in einem offenen Fasse eine Lösung dieses Salzes in der Weise, daß ein, zwei oder mehrere kleinere Gefäße die nöthige Menge für eine Fällung enthalten (das Salz löst sich unter Umrühren leicht in Wasser auf).
2. Man fülle nun das Klärgefäß mit Speisewasser, welches möglichst vorgewärmt wird, weil dadurch die Klärung erheblich schneller verläuft.

Durch gute Isolirung des Klärwasserbehälters kann man das Wasser warm erhalten, und wird so die Temperatur des zum Vorwärmen benutzten Dampfes wieder im Kessel verwerthet. Hierauf füge man die berechnete Chlorbariumlösung zu und rühre einige Male tüchtig um.

3. Dann gieße man die Kalkmilch ein, deren annähernd erforderliche Menge nach Beendigung des ersten Versuchs leicht festzustellen ist (ein mittlerer Zusatz ist etwa 1 Gefäß von 10 l Kalkmilch auf 6—7 cbm Wasser), rühre gut um und beobachte, ob eine Flockenbildung, d. h. eine Abscheidung des Niederschlags aus dem Wasser stattfindet.

Gleichviel, ob dies der Fall ist oder nicht, prüfe man nun durch Eintauchen eines Streifchens Lackmuspapier, ob ein Kalküberschuß vorhanden ist. Wird das Papier nach etwa 20 Sekunden nicht schwach blau, so geht man mit dem Kalkzusatz vorsichtig weiter, bis das Lackmuspapier nach gutem Umrühren des Wassers beim Eintauchen nicht sofort, sondern erst nach etwa 20 Sekunden leicht blau wird. Ist dieser Zustand erreicht, so wird in fast allen Fällen eine überraschend schnelle Klärung des Wassers eintreten, d. h. die Flocken sondern sich ab und fallen so schnell zu Boden, daß nach 10—15 Minuten oder schneller der ganze Inhalt aus dem etwa 6 Zoll vom Boden befindlichen Hahn klar in den unteren Behälter abgelassen werden kann. Man beachte, daß häufig die Hände des Arbeiters durch Anfassen des Kalkgefäßes alkalisch,

- d. h. Lackmuspapier blaufärbend, reagiren; man beobachte deshalb den Theil des Papiers, welcher von den Fingern nicht berührt worden ist. Während des Eintauchens bewege man das Streifchen hin und her.
4. Von dem bei richtiger Fällung in kurzer Zeit geklärten Wasser fülle man Etwas in ein reines Glas, welches man mit dem geklärten Wasser selbst ausspült, und prüfe, wie angegeben, durch Zusatz einer Glaubersalzlösung, ob ein geringer Ueberschuß von Chlorbarium vorhanden ist; eine nach kurzer Zeit entstehende Trübung bejaht diese Frage.
 5. In sehr vereinzeltten Fällen kommt es vor, daß das Speisewasser fast nur Gips und keinen kohlen sauren Kalk enthält. Trifft dies zu, so muß dem Wasser Kohlensäure zugeführt werden, wozu in den Körting'schen Dampfstrahlgebläsen ein überaus einfaches Mittel geboten ist. Man bläst (nur durch Oeffnen eines Dampfahns) mittelst dieser Apparate etwa 1 Minute lang von der der Feuerung des Dampfkessels entnommenen und mithin kohlen säurehaltigen Luft in das Wasser ein, sättigt damit das Wasser in einem genügenden Grade mit Kohlensäure und erreicht so denselben Zweck, der bei den meisten Speisewässern durch den ursprünglich vorhandenen Gehalt an kohlen saurem Kalk erreicht wird.

Diese Dampfstrahlgebläse bewirken zugleich ein tüchtiges Umrühren des Wassers, und sie empfehlen sich auch zum Ersatz des sonst durch Rührkrüden zu bewerkstelligenden Umrührens. Es ist nicht erforderlich, Kohlensäure zuzuführen, das Einblasen von Luft genügt.

Oben ist schon angedeutet worden, daß ein starker Magnesiagehalt die Benutzung von Chlorbarium zur Fällung der schwefel sauren Salze ausschließe. Es findet nämlich hierbei die früher erwähnte dem Kesselblech nachtheilige Perzeung statt. Es wird empfohlen, in diesem Falle Soda und Aetzkalk zur Fällung anzuwenden, übrigens aber die beschriebenen Reinigungs- bez. Fällungsgefäße beizuhalten; die hierdurch bedingte große Einfachheit hat sich seit langen Jahren bewährt; eine Kesselanlage von bis zu 400—500 m Heizfläche läßt sich vollkommen mit einer Anlage bedienen, wie sie oben beschrieben ist und es sind bei Benutzung eines Körting'schen Gebläses die Fällungsarbeiten so einfach, daß sie vom Heizer besorgt werden können.

4. Das Verfahren von A. L. G. Dehne (Halle, Saale). Der Gang des Verfahrens besteht in kurzen Worten darin, daß das Wasser zunächst erwärmt wird, dann in einem geschlossenen Gefäße genau denjenigen Zusatz an Chemikalien erhält, welcher nöthig ist, das Wasser vollständig von seinen schädlichen Bestandtheilen zu befreien, darauf durch eine Filterpresse geht, in welcher die ausgeschiedenen Bestandtheile zurückbleiben, und endlich vollkommen

gereinigt und geklärt in den Kessel oder einen Behälter tritt. Alles dies vollzieht sich in geschlossener Leitung selbstthätig und wird durch die Pumpe allein besorgt.

Eine derartige Anlage ist in der Figur 67 veranschaulicht. Hierbei ist angenommen, wie das in vielen Fällen thunlich ist, daß das Wasser einem

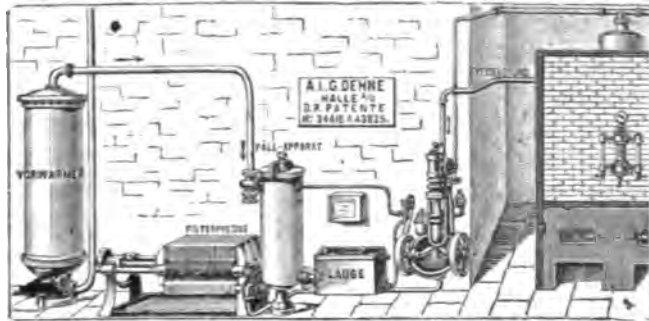


Fig. 67.

Hochbehälter oder einer Druck-Wasserleitung entnommen wird und die Reinigungs-Apparate vor seinem Eintritt in die Pumpe durchströmt. Wo dies nicht thunlich ist, werden die Reinigungs-Apparate in die Druckleitung der Pumpe eingeschaltet.

Das Wasser tritt zunächst in den Vorwärmer, welcher durch Abdampf oder direkten Dampf geheizt wird und dem Wasser eine Temperatur von 70 bis 80° C. erteilt. Das erwärmte Wasser gelangt dann in den Fällapparat, worin sich die Ausscheidung der Kesselsteinbildner in Form schwerer Flocken vollzieht. Nachdem die ausgeschiedenen Bestandtheile in der Filterpresse zurückgeblieben sind, gelangt das nunmehr vollkommen gereinigte Wasser in die Pumpe.

Bei jedem Hube dieser Pumpe tritt ein bestimmt abgemessenes Quantum frischen erwärmten Wassers aus dem Vorwärmer in den Fällapparat nach. Gleichzeitig spritzt auch die kleine, von der Pumpe angetriebene Laugenpumpe ein bestimmtes Quantum aus dem Mischkasten entnommener Mischung von Natriumcarbonat und Soda in diesen Fällapparat ein.

Die Zusammensetzung des Wassers ist vorher durch Analyse bestimmt, und da somit die Menge von Natriumcarbonat und Soda genau bekannt ist, welche jedem Liter Wasser behufs seiner vollständigen Reinigung zuzusetzen ist, so ist es leicht, die im Mischkasten enthaltene Lauge so zusammenzusetzen, daß

in der von der Saugpumpe eingespritzten Menge genau so viel Natrium und Soda enthalten ist, als die gleichzeitig von der Speisepumpe geförderte Menge Wasser zur völligen Reinigung bedarf. Meist wird noch ein geringer Ueberschuß von einigen Prozenten gegeben, um auch bei kleinen Veränderungen in der Zusammensetzung des Wassers noch sicheren Erfolg zu haben.

Eine Anlage nach diesem Verfahren nimmt verhältnißmäßig wenig Raum ein, da dasselbe keine Klärgefäße benötigt; erforderlichenfalls können die Apparate auch in getrennten Räumen untergebracht werden. Die Bedienung der Anlage besteht in dem täglich einmaligen Entleeren der Filterpresse, welche je nach der Größe 10—25 Minuten in Anspruch nimmt und am besten vor Beginn oder nach Schluß der Tagesarbeit geschieht. Ferner ist das Mischgefäß mit neuer Lauge zu füllen, so oft dasselbe leer ist, je nach Größe der Anlage alle 6—8 Tage. Zu diesem Zwecke ist daran ein Füllventil angebracht, durch welches gereinigtes, heißes Wasser eingelassen wird, während die abgewogenen Mengen von Soda und Natron einfach in das Lösungsfäß geworfen werden.

Auf kaltem Wege lassen sich die Kesselsteinbildungen mit keinem bekannten Mittel vollständig ausscheiden, es wird also das auf kaltem Wege gereinigte Wasser beim Verdampfen immer noch Kesselstein und Schlamm im Kessel zurücklassen. Außerdem wirken die zur Verwendung kommenden Zusätze in der Kälte nur sehr langsam, nach Stunden erst, was große Absatzbehälter nöthig macht.

Ein weiterer, hochanzuschlagender Vortheil der Anwendung von Soda mit Natrium liegt darin, daß beide Salze nicht nur leicht löslich sind, sondern auch in beliebigen Verhältnissen mit einander gemischt werden, also in einer gemeinsamen Lösung und zu gleicher Zeit zur Wirkung kommen können, während bei Anwendung von Kalk mit Soda wegen der gegenseitigen chemischen Wirkung dieser Stoffe auf einander jeder für sich, in getrennten Gefäßen, mit sorgfältiger Vermeidung jeden Ueberschusses, zur Anwendung kommen muß.

Als Kosten des Verfahrens werden bezeichnet: Für Anlagelosten lassen sich genaue Zahlen nur für jeden Einzelfall geben, da dieselben von gegebenen Verhältnissen und von der Zusammensetzung des Wassers abhängen. In allen Fällen werden jedoch diese Kosten bald durch Ersparniß an Kohlen und Löhnen vollständig gedeckt.

Betriebskosten werden nur durch die Beschaffung der nöthigen Chemikalien verursacht. Die Abnutzung der Filtertücher ist bei guter Behandlung eine so geringe, daß dieselben 6—9 Monate andauern. Bedienungskosten sind nicht vorhanden, da der Kesselwärter ohne Mühe die Bedienung be-

sergen kann. Die gesammten Anlage- und Betriebskosten werden in allen Fällen weit aufgewogen durch die beträchtlichen Ersparnisse, welche durch Wegfall der Kesselreinigung und der damit verbundenen Arbeiten und Betriebsstörungen, sowie besonders an Heizmaterial erzielt werden.

Es ist möglich, den Vorgang jederzeit zu überwachen. Eine aus dem Probegahn der Filterpresse entnommene Wasserprobe muß kristallhell sein und soll auf Zusatz einiger Tropfen von oxalsaurem Ammonial auch nach längerem Stehen keine Spur von Trübung annehmen. Die Bedienung der Anlage besteht in dem täglich einmaligen Entleeren der Filterpresse, welches je nach der Größe 10—25 Minuten in Anspruch nimmt und am besten vor Beginn oder nach Schluß der Tages-Arbeit geschieht.

Ferner ist das Mischgefäß wie oben angegeben mit neuer Lauge zu füllen, so oft dasselbe leer ist.

Die Reinigung der Filtertücher hat alle 8 Tage zu geschehen. Eine genaue Anweisung für den Betrieb wird jeder Anlage beigegeben. Der Hauptvortheil des Dehne'schen Verfahrens, durch welches sich dasselbe von allen ähnlichen Verfahren unterscheidet, liegt in der Einfachheit und Sicherheit der Reinigung selbst, sowie in dem Wegfall jeder besonderen Bewartung durch einen Arbeiter, da die ganze Bedienung durch den Kesselwärter bequem besorgt wird. Ferner ist der Erfolg der Reinigung bei dem Dehne'schen Verfahren jeden Augenblick zu prüfen.

Was den Kostenpunkt betrifft, so läßt sich natürlich nicht sagen, daß die Kosten auf das Kubikmeter so und so viel betragen, denn dies hängt von dem Verhältnis Soda und Natron ab, welche gemäß der chemischen Zusammensetzung des Wassers demselben zugesetzt werden müssen.

Es werden nur Soda und Natron verwendet, und zwar zum Ausfällen von 1 gr kohlensauren Kalk 0,80 gr Natronhydrat, zum Ausfällen von 1 gr kohlensaurer Magnesia 0,96 gr Natronhydrat und zum Ausfällen von 1 gr Gyps 0,78 gr kalzimirte Soda. Man kann sich sofort davon überzeugen, ob die Lauge richtig angefügt ist, ob die Pumpe und einzelne Theile richtig arbeiten, der größte Vorzug liegt aber darin, daß man nach beendigter Schicht oder bei Schichtenwechsel einfach das, was man sonst im Kessel hat, in der Filterpresse in Form von Kuchen vorfindet, die sehr schnell geräumt sind, so daß die weitere Arbeit mit derselben Genauigkeit vor sich gehen kann.

Hervorzuheben ist hiergegen, daß bei dem Verfahren von Bohlig & Heyne nur lösliche Körper zur Anwendung kommen, bei dem Dehne'schen Verfahren dagegen zwei gelöste Substanzen, und wenn davon ein Ueber-

schuß vorhanden ist, so gelangen sie in den Kessel, wo sie zwar nicht gerade besondere Uebelstände hervorrufen, aber doch immerhin zu regelmäßigem Abblasen eines Theiles des Inhaltes Veranlassung geben können.

Allgemeine Bemerkungen. Es geht wohl aus dem Gesagten zur Genüge hervor, daß die Reinigung des Speisewassers im Allgemeinen außerhalb des Kessels vorgenommen werden muß, wie denn auch die meisten neueren Verfahren in dieser Behandlung zwar verschieden sind, jedoch in der Trennung von der Dampferzeugung übereinstimmen. Dasselbe gilt für die Wahl der Reinigungsmittel, welche sich bei jedem der beschriebenen Verfahren durchaus nach der chemischen Zusammensetzung des Speisewassers richten und daher in allen Fällen nach dieser Zusammensetzung, die vom Chemiker für jeden einzelnen zu ermitteln ist, berechnet und für die Dauer der Unveränderlichkeit der Wasserbestandtheile festgestellt werden muß.

Es wird indessen diese gegenseitige Beziehung zwischen Beschaffenheit des Wassers und des Reinigungsmittels nicht immer richtig aufgefaßt und es kommen daher häufig Mißerfolge vor, welche nicht immer auf die richtige Ursache zurückgeführt werden. Es wird nämlich in manchen Fällen das Verhältniß der dem Wasser zuzusetzenden Fällungsmittel nur im Allgemeinen dem Gehalt des Wassers an gelösten Stoffen angepaßt, und der Erfolg deshalb nicht erreicht, weil dabei nur der Gehalt an gewissen Stoffen, nicht aber das gegenseitige Verhältniß dieser unter sich in Betracht gezogen wird. Die Reaktionen zwischen den im Wasser enthaltenen und den zugesetzten, welche sich in den unter sich verschiedenen Einzelfällen ergeben, sind dann häufig derart, daß der Erfolg theilweise ausbleibt und unangenehme Erscheinungen das Ende bilden. Es können die verschiedenen hierbei vorkommenden Reaktionen hier nicht näher erörtert werden, da sie rein chemischer Natur sind; dagegen sollen in wenig Worten die Regeln aufgestellt werden, wie sich die Wahl der Fällungsmittel nach der Wasserzusammensetzung aus den Erfahrungen ergibt, welche die Herren Fröhling & Schulz (Braunschweig) aus ihren zahlreichen bezüglichen Untersuchungen und Beobachtungen gezogen haben, und welche als maßgebend für die verschiedenen in der Praxis vorkommenden Fälle zu betrachten sind.

Die wesentlichen Wasserbestandtheile, um die es sich stets handelt, und deren Menge und gegenseitiges Verhältniß durch Analyse bestimmt werden muß, sind kohlensaurer Kalk, kohlensaure Magnesia und schwefelsaurer Kalk; dieselben bestimmen allein die Wahl zwischen den Fällungsmitteln: Kalk, Soda und Natron und zwar nach folgenden Regeln.

1. Ist nur kohlensaurer Kalk und kohlensaure Magnesia zugegen, so ist **Kalk** allein anzuwenden.

2. Ist schwefelsaurer Kalk allein zugegen, so wird derselbe mittelst Soda allein abgeschieden. —

Es ist aber, was wohl der häufigere Fall ist, alle drei Salze im Wasser vorhanden, so richtet sich die Wahl des Fällungsmittels wegen der alsdann weniger einfachen gegenseitigen Zersetzung nach dem Gewichts-Verhältnisse, in welchem die einzelnen Bestandtheile unter sich stehen, ob dieses nämlich demjenigen entspricht, welches durch die chemischen Äquivalente der betreffenden Salze ausgebrächt wird, oder geringer oder höher als dieses ist. Und zwar in folgender Weise.

3. Wenn kohlen-saurer Kalk und kohlen-saure Magnesia zusammen einerseits zum schwefelsauren Kalk andererseits in dem Verhältniß stehen, wie deren chemische Äquivalente, so ist die Anwendung von Aegnatron allein angezeigt, weil dasselbe in diesem Falle die Fällung glatt und ohne verbleibende Ueberschuß des einen oder anderen Salzes bewirkt.

4. Wenn, nach derselben Berechnungsart, ein Ueberschuß von schwefelsaurem Kalk vorhanden ist, so genügt Aegnatron allein nicht, sondern es muß zur Fällung dieses Ueberschusses noch Soda hinzugenommen werden. Wenn endlich

5. weniger schwefelsaurer Kalk vorhanden ist, als den chemischen Äquivalenten der beiden andern Salze entspricht, so ist Aegnatron und Soda anzuwenden.

Natürlich genügen diese allgemeinen Vorschriften nicht, um in jedem gegebenen Falle die richtigen Mengen zu bestimmen — diese können nur durch die Einzelberechnung nach den gefundenen Mengen ermittelt werden, welche der untersuchende Chemiker anzustellen hat. Es wird aber dadurch angedeutet, wie es möglich ist, daß bei gleicher Art aber verschiedenen Mengen der vorkommenden Wasserbestandtheile dennoch nicht allein verschiedene Mengen Fällungsmittel angezeigt sind, sondern auch die Art dieser letztern selbst wesentlich verändert werden muß, je nach dem gegenseitigen Verhältniß der Gewichtsmengen der einzelnen Wasserbestandtheile.

III. Vorwärmung.*)

Man kann wesentliche Ersparnisse an Brennmaterial machen, wenn man das Wasser vorwärmt, ehe es in den Kessel geleitet wird, auch ist in vielen Fällen die Vorwärmung für die Haltbarkeit des Kessels von Vortheil. Als Wärmequelle dient hierzu entweder die noch mit verhältnißmäßig hoher Temperatur von dem Kessel kommende Feuerluft, oder bei Hochdruckmaschinen ohne Kondensation der Abdampf.

In den Vorwärmern legt sich der meiste Kesselstein ab, deshalb muß

*) Nach Scholl's Führer des Maschinenisten. Von G. H. Brauer S. 246.

man dafür sorgen, daß derselbe leicht entfernt werden kann. Gußeisentröhren sind besonders empfehlenswert.

Greens fuel economiser (Brennstoffsparer) ist ein aus gußeisernen Röhren bestehender Apparat, dessen Röhren von außen durch die Heizgase bestrichen werden, ehe diese nach dem Schornstein entweichen, während im Innern das Speisewasser sich bewegt. Selbstverständlich wird die Anlage eines solchen Apparates nur dann zweckmäßig sein, wenn bei der normalen Arbeit des Kessels die Heizgase mit höherer Temperatur entweichen, als zur Herstellung hinreichenden Zuges erforderlich sein würde. In manchen Fällen, namentlich dann, wenn schon von Haus aus die Heizfläche im Verhältnis zur Kostfläche reichlich groß genommen war, würde der Kapitalaufwand für Beschaffung des Economisers vollkommen nutzlos sein. Zur Erläuterung genüge die Figur 69. Es bedeutet a a a eine große Kammer (erweiterter

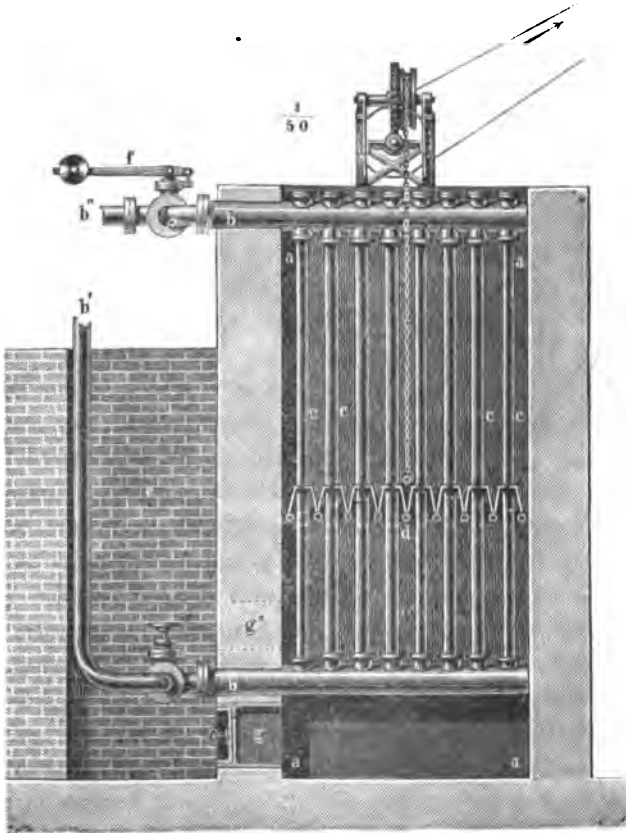


Fig. 68.

Die Abnahme der Reibung und die Verminderung der Kosten sind die Hauptvorteile, welche die Anwendung von Rührerzweigungen mit sich bringt. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind.

Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind.



Fig. 109

Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind.

Die Anwendung von Rührerzweigungen mit sich bringt die Abnahme der Reibung und die Verminderung der Kosten. Die Rührerzweigungen sind in der Regel in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht, so dass die Rührerzweigungen in der Mitte der Rührerzweigungen angebracht sind.

Wohnd dürfte dieselbe besonders in den sehr häufig vorkommenden Fällen sein, daß vorhandene Kesselanlagen in Folge vergrößerten Betriebes sehr stark angestrengt werden müssen, um den nöthigen Dampf zu geben. Hier findet man im Fuchs häufig sehr hohe Temperaturen und daher bedeutende Kohlenverschwendung. Für Neuanlagen ist der Vortheil einem Kessel von hinreichender Heizfläche gegenüber mindestens zweifelhaft.

Die den Abgangsdampf benutzenden Vorwärmer können entweder als offene oder geschlossene gebaut werden, je nachdem der Dampf mit dem Speisewasser in unmittelbare Berührung kommt oder nicht. Erstere dürfen natürlich nicht unter Kesselndruck stehen, was bei letzteren in der Regel der Fall ist.

Ein offener Vorwärmer ist in Figur 70 im senkrechten Durchschnitt

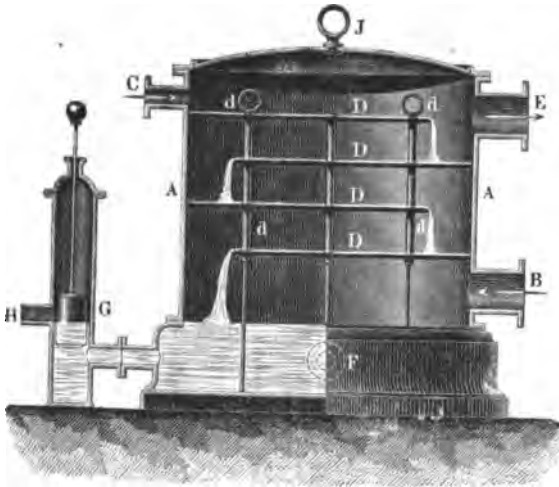


Fig. 70.

dargestellt. A'A ist ein gußeiserner zylindrischer Kasten, in welchem bei B das Abdampfrohr einmündet, während bei C das noch kalte Speisewasser eintritt. Dieses rieselt in dünner Schicht über die Platten DD hin, während der Dampf den durch die Platten ihm zugewiesenen Zickzackweg über das Wasser hin durchläuft, um bei E in das Abdampfrohr zu treten, welches ihn über das Fabrikdach leitet. Das Wasser kommt bis auf 70° und mehr erhitzt am Boden des Kastens an, von wo es von Zeit zu Zeit vermittelt der bei F saugenden Speisepumpe weggezogen wird.

Ein Schwimmer bei G zeigt den Stand des Wassers an, welches, wenn ein Uebermaß vorhanden, durch den Ueberlauf H abfließt, ohne daß dort Dampf austreten könnte. Auf den Rieselplatten legt sich bei unreinem Wasser viel Kesselstein nieder. Man entfernt denselben, indem man die bei d d mit einander verbundenen Platten zusammen heraushebt und abklopft, zu welchem Ende der Deckel J zum bequemen Abnehmen eingerichtet ist. Die Plattenoberfläche muß in richtigem Verhältniß zu der Menge des zu erwärmenden Speisewassers stehen.

Ein anderer Speisewasservorwärmer ist der in Figur 71 dargestellte von Fölsche (Magdeburg).

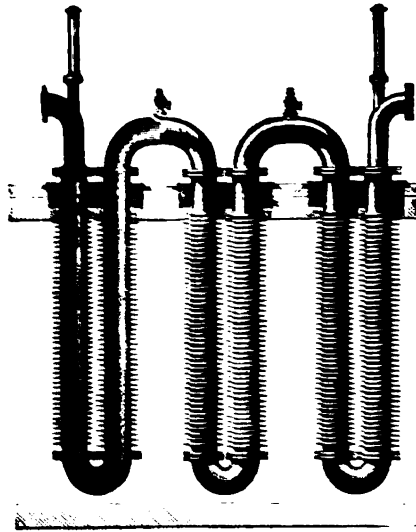


Fig. 71.

Der Apparat dient namentlich zur Ausnutzung der mit den abziehenden Feuergasen in den Schornstein abgehenden Wärme indem das Speisewasser mittels der Speisepumpe durch den Apparat hindurch gedrückt wird. Wie aus der Figur ersichtlich, besteht der Apparat aus U förmigen Röhren, welche von oben in den Fuchs eingehängt werden und welche so miteinander verbunden sind, daß das Speisewasser auf- und absteigend den Apparat durchströmt. Die Röhren selbst sind außen mit Rippen versehen, um eine bessere Uebertragung der Wärme an das Speisewasser zu bewirken. Ganz besonders aber haben dieselben den Zweck, zu verhindern, daß die Röhren durch das Speisewasser zu stark abgekühlt werden. Hierdurch wird auf die einfachste

Weise das Absetzen von Ruß verhindert, da die Feuergase keine kalten Flächen finden, an welchen sich die leicht kondensierbaren Gase niederschlagen können. Aus diesem Grunde glaubte der Erf. ganz von einer mechanischen Vorrichtung zur Entfernung des Rußes absehen zu dürfen. Diese Voraussetzung hat sich in der Praxis bestätigt, da eine Verminderung der Wirkung bei dauerndem Betrieb nicht bemerkbar war. Durch die angebrachten Thermometer am Eingang und Ausgang ließ sich dies leicht feststellen; eine Beeinträchtigung der Wirkung ist nur bemerkbar, wenn das Wasser schlamm- oder Kesselsteinhaltig ist. Da die Rohre jedoch von oben zugänglich, ja sogar herausnehmbar sind, so ist die Entfernung des Schlammes und des Kesselsteins jederzeit bequem zu ermöglichen. Um die Reinigung des Vorwärmers von Kesselstein noch zu erleichtern, sind in denselben herausnehmbare Blecheinsätze angebracht, auf welchen sich in der Hauptsache der Kesselstein niederschlägt.

Als Leistung dieses Speisewasserheizers wird angegeben:

Der Apparat leistet auf 1 qm äußerer Heizfläche in der Minute etwa 30 Kalorien, welche somit kostenlos gewonnen werden. Jedes U-Rohr hat eine Heizfläche von 9 qm. Bei 11 solchen Rohren, also etwa 100 qm Heizfläche, werden 100 Liter Speisewasser somit um etwa 30° C. erwärmt, also bei Speisewasser von 100° C. auf 130° C., entsprechend einer Kohlenersparniß von etwa 5 %.

Die Reinigung ist meist nur halbjährlich erforderlich, bei sehr Kesselsteinhaltigem Wasser selbstverständlich öfter und zwar dann durch Herausnehmen von zu diesem Zweck angebrachten Einsätzen.

Der Preis des Apparates einschl. der Anschlußkniee mit Thermometern, sowie der Sicherheitsventile, jedoch ausschließlich Windkessel beträgt für je 1 qm Mark 27.

Preis desselben Apparates einschließlich Einsatzröhren für je 1 qm Mark 30.

www.libtool.com.cn

Drittes Buch.

Die Nutzanwendung des Dampfes.

Erste Abtheilung.

Die Benutzung als bewegende Kraft.

I. Einleitende Uebersicht.

In diesem Abschnitt wird nur von solchen Dampfmaschinen die Rede sein, welche in Zuckerrabriten zur Entwicklung der Triebkraft für die verschiedenen Arbeitsmaschinen benutzt werden.

Dieselben bestehen je aus einem oder mehreren Dampfzylindern, in denen dicht schließende Kolben durch den Dampfdruck in hin und her gehende Bewegung gebracht werden. Zur Uebertragung dieser geradlinigen Bewegung auf eine rotirende Welle dient in der Regel das bekannte Kurbelgetriebe, seltener der den älteren Zeiten des Dampfmaschinenbaues entstammende Balancier in Verbindung mit Pleuellstange und Kurbel.

Der im Dampfessel entwickelte Dampf gelangt, nachdem er seine Wirkung im Zylinder ausgeübt hat, entweder ins Freie, wo er sich mit der atmosphärischen Luft vermischt, oder in einen sogenannten Kondensator, einen Raum, wo er durch Wärmeentziehung zu Wasser verdichtet, kondensirt wird. Maschinen, bei denen die zuletzt genannte Wirkung stattfindet, nennt man Kondensations-Maschinen im Unterschied zu den nicht kondensirenden, welche Auspuff-Maschinen heißen.

Nach der Höhe der Spannung des Betriebsdampfes kann man Hochdruck-, Mitteldruck-, und Niederdruckmaschinen unterscheiden. Zu der ersten Art würden solche mit 5 bis 10 kg auf das qcm Kesselspannung, zur

zweiten solche mit 2—5 kg auf das qcm, zur dritten solche mit 1,5 bis 2 kg auf das qcm zu rechnen sein. Maschinen letzter Art sind kaum noch im Gebrauch.

Nach der Wirkungsweise des Dampfes im Zylinder unterscheidet man Bolldruck- und Expansionsmaschinen. Bei ersteren wird der Zylinder während des ganzen Arbeitshubes mit dem Dampfessel in Verbindung gelassen, bei letzteren nur während des ersten Hubtheiles, während der andere, in der Regel größere Theil des Kolbenhubes unter allmählich abnehmender Dampfspannung zurückgelegt wird. Eine besondere Art Expansionsmaschinen sind die mehrzylindrigen, welche auch Verbundmaschinen, Woolfsche oder Compoundmaschinen genannt werden.

Mancherlei Eintheilungen lassen sich auch hinsichtlich der sogenannten Steuerung vornehmen, d. h. derjenigen Einrichtung, welche die Zu- und Abführung des Dampfes vermittelt, doch soll hierauf zunächst nicht eingegangen werden.

II. Die Vorgänge im Dampfzylinder; der Indikator.

James Watt, dem die Welt die wichtigsten Verbesserungen der Dampfmaschine zu danken hat, erfand zu seinen Studien ein Instrument, welches auch heute noch dem Dampfmaschinen-Erbauer als unentbehrlicher Rathgeber dient. Er nannte es Indikator, weil es die Vorgänge im Innern des Dampfzylinders in Gestalt eines Bildes vor Augen führt. Dieses Bild, genannt Indikator-Diagramm, möge auch hier dazu dienen, das Verhalten des Dampfes im Zylinder und seine Wirkung zu erklären.

Der Indikator besteht aus einem kleinen Dampfzylinder von etwa 2 cm Bohrung mit Kolben und Kolbenstange. Der Raum unter dem Kolben wird beim Gebrauch des Instrumentes mit dem Zylinder einer zu untersuchenden Dampfmaschine durch ein kurzes Rohrstück in Verbindung gebracht, so daß unter dem Kolben dieselbe Dampfspannung herrscht wie im Innern des Maschinenzylinders. Ueber dem Indikator Kolben befindet sich eine schraubenförmig gewickelte Feder, welche dem Hub des Kolbens entgegenwirkt, und welche durch diesen um so mehr zusammengedrückt wird, je stärker der Dampfdruck ist.

Hierdurch wird ein an der Kolbenstange des Indicators befestigter Bleistift in solcher Weise gehoben und gesenkt, daß jeder Dampfspannung eine bestimmte Höhenlage entspricht. Diesem Stift gegenüber befindet sich eine mit Papier bespannte Schreibtafel, die durch den Dampfkolben entweder

mit derselben oder mit proportional verminderter Geschwindigkeit hin und her bewegt wird und zwar rechtwinklig zur Schreibstiftbewegung. So entsteht ein Linienzug, in welchem die Horizontalabstände der einzelnen Punkte mit dem Kolbenweg, die Höhenunterschiede aber mit dem Spannungsänderungen im Dampfzylinder proportional sind. Ein solches Diagramm zeigt Figur 72 für eine Kondensationsmaschine, Figur 73 für eine Auspuffmaschine, beide mit Expansion arbeitend.

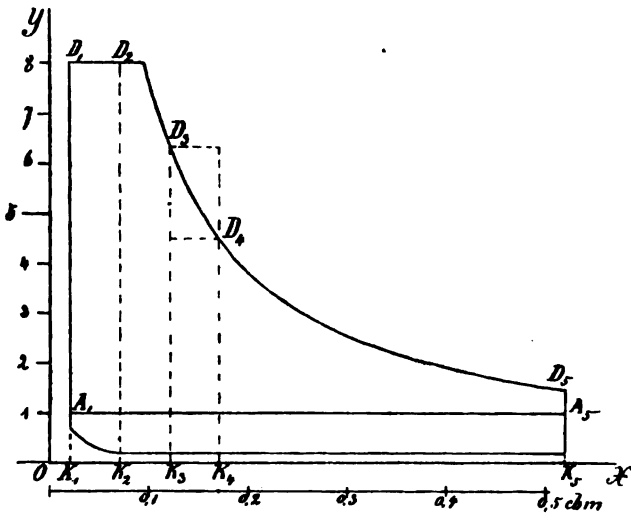


Fig. 72.

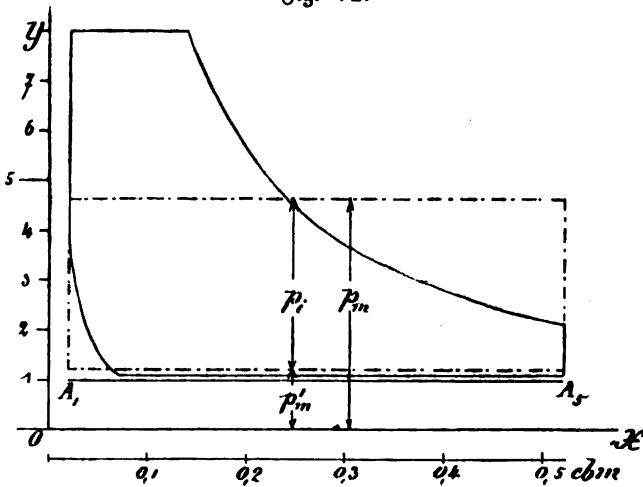


Fig. 73.

Neben dem geschlossenen Linienzug werden noch die Linien $A_1 A_2$ mit dem Indikatorstift gezeichnet, während die Spannung unter dem Kolben ebenso groß ist, wie darüber, die Feder also keinen Druck ausübt. Diese Linien heißen atmosphärische Linien, weil sie eine Spannung anzeigen, welche derjenigen der Atmosphäre, mit anderen Worten dem jeweilig herrschenden Barometerstande, entspricht. Die Linien $O X$ und $O Y$ sind nachträglich hinzugezeichnet, und zwar ist $O X$ in einer solchen Entfernung unter $A_1 A_2$ gezogen, daß der Abstand beider Linien im Druckmaßstab den herrschenden Luftdruck darstellt; $O X$ ist diejenige Linie, welche der Indikatorstift schreiben würde, wenn unter dem Indikator Kolben eine vollständige Luft leere vorhanden wäre, und $O X$ heißt daher Nulllinie oder Vakuumlinie. Die Abstände der einzelnen Diagrammpunkte von dieser Linie bedeuten die sogenannte absolute Dampfspannung oder auch kurz Spannung, welche im Maschinenzylinder beim Durchlaufen des betreffenden Diagrammpunktes geherrscht hat, und diese kann sogleich auf dem nebengezeichneten Spannungsmaßstab in kg auf das qcm abgelesen werden, einer Einheit, welche sich von dem mittleren Druck der atmosphärischen Luft nur wenig unterscheidet und deren Benutzung in der Technik der bequemeren Rechnung wegen vorgezogen wird. Die atmosphärische Linie $A_1 A_2$ kann außer zur Konstruktion der Nulllinie auch sogleich dazu dienen, für die einzelnen Diagrammpunkte den sogenannten Ueberdruck abzulesen, d. h. den Unterschied zwischen der Spannung unter dem Indikator Kolben und dem darüber lastenden Druck der Atmosphäre. Während für den Bau der Dampfessel der Ueberdruck die maßgebende Größe ist, von der insbesondere die Beanspruchung des Kesselmaterials abhängt, wird in der Dampfmaschinenlehre stets die Spannung benutzt, um den Zustand des Dampfes zu kennzeichnen, da sich hierdurch einfachere Beziehungen ergeben.

$O Y$ ist senkrecht zur atmosphärischen Linie gezeichnet und zwar in einem solchen Abstand von dem linken Endpunkt A_1 , daß die Entfernung irgend eines Diagrammpunktes von $O Y$ nach einem gewissen Maßstab die Raumgröße ausdrückt, welche auf der betreffenden Seite des Kolbens mit Dampf angefüllt ist. Ein solcher zunächst ganz beliebiger Maßstab, dessen Eintheilung von der Größe der betreffenden Dampfmaschine abhängt, ist in Fig. 72 und 73 unter das Diagramm gezeichnet. Nach demselben würde der Dampf bei der linken Endstellung des Kolbens einen Raum von $0,02$ cbm, bei der rechten Endstellung einen Raum von $0,52$ cbm einnehmen, sodas also durch den Kolbenweg eine Raumbergrößerung von $0,5$ cbm entsteht. Diese Raumgröße möge Kolbenwegraum heißen. Derselben entspricht im Diagramm die Länge $A_1 A_2$ der atmosphärischen Linie. Die Entfernung

des Punktes A_1 von OY entspricht der Dampfmenge, welche die Kanäle für die Zu- und Ableitung des Dampfes und den Zwischenraum anfüllt, welcher in der Endstellung des Kolbens zwischen diesem und dem Zylinderdeckel noch verbleiben muß, um das Anstoßen sicher zu vermeiden. Durch diesen Raum wird ein mit seiner Größe wachsender Dampf-Verlust bedingt; man nennt ihn daher schädlichen Raum und sucht ihn so klein wie möglich zu machen. Der Kolbenwegraum ist der Inhalt eines Kreis-Zylinders, dessen Grundfläche die Kolbenfläche und dessen Höhe der Kolbenhub ist. Bezeichnet

o den Flächeninhalt des Kolbens in q_m
 s den Kolbenhub in m

so ist offenbar

os der Kolbenwegraum in cbm

Wird nun weiter bezeichnet mit

p die Spannung in irgend einem Punkte des Diagrammes in kg auf das qcm ,

so ist der Druck, welchen der Dampf auf die $o qm$ der ganzen Kolbenfläche ausübt, $10,000 p o$ und sonach die Arbeit, welche er bei einem Stück Kolbenweg von der Länge w , etwa dem ersten Theilstück, Fig. 72, auf den Kolben überträgt, $10,000 p o w$, vorausgesetzt, daß sich p während dieses Weges nicht geändert hat. Hat sich nun der Dampfraum gleichzeitig von $O K_1$ bis $O K_2$, also um die Größe $K_1 K_2$, vergrößert, so ist offenbar

$$K_1 K_2 = o w$$

und somit auch die übertragene Arbeit $10,000 p K_1 K_2$.

In diesem Ausdruck ist $p K_1 K_2$ der Inhalt des Rechteckes $K_1 D_1 D_2 K_2$ und sonach giebt dieses ein Bild der auf dem kleinen Kolbenweg w oder bei der Raumvergrößerung $K_1 K_2$ durch den Dampf auf den Kolben übertragenen Arbeit.

Bliebe der Dampfdruck während des ganzen Kolbenweges unverändert, so würde die oben gefundene Beziehung auch noch gelten, wenn wir für w den ganzen Kolbenhub s setzen, d. h. es würde sich für Volldruck die Dampfarbeit $10,000 p os$ ergeben. Da aber die meisten Maschinen mit Expansion arbeiten, so bleibt, wie auch in Fig. 72 und 73 angenommen, die Spannung nur während eines Theiles des Kolbenweges sich gleich, und nimmt ab, nachdem die Verbindung zwischen Dampfzylinder und Kessel unterbrochen ist. Hierdurch wird eine weitere Untersuchung hinsichtlich der Größe des Druckes nöthig. Für die Wegstrecke $K_3 K_4$ in Fig. 72 würde das Rechteck über $K_3 K_4$ mit der Höhe $K_3 D_3$ einen zu großen, mit der Höhe $K_4 D_4$ dagegen einen zu kleinen Arbeitswerth ergeben, doch wird der Fehler

verhältnismäßig nun so kleiner, je größer die Anzahl Uebels ist, in welche der ganze Kolbenwegraum zerlegt ist, je kleiner also die Uebel selbst werden. Nehmen wir an, es seien n Uebel vorhanden und bezeichnen wir die Ausdehnungsänderungen der einander folgenden kleinen Uebel mit $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, die Raumvergrößerungen aber, die als gleich groß angenommen werden dürfen, mit v , so wird die Dampfleistung während des ganzen Hubes einerseits

L kleiner als $10,000 (p_1 v + p_2 v + p_3 v + \dots + p_n v)$
und andererseits

L größer als $10,000 (p_2 v + p_3 v + p_4 v + \dots + p_{n+1} v)$.

Für $n \rightarrow \infty$ (unendlich) werden beide Ausdrücke, der größere und der kleinere, unter einander und somit auch mit L gleich, und die Summe der kleinen Rechtecke geht über in den Flächeninhalt der Figur $K_1 D_1 D_2 K_2$, welchen man ausdrücken kann durch die Länge $K_1 K_2$, d. h. den ganzen Kolbenwegraum os und eine mittlere Höhe, die wir nennen wollen p_m . Wir erhalten also den Ausdruck

$$L = 10,000 p_m os.$$

Nachdem der Kolben das Ende seines Weges erreicht hat, geht er zurück und der Dampf wird theils durch den Kolbendruck, theils durch seine eigene Spannung zum Austritt gebracht. Der Kolben erfährt hierbei einen seiner Bewegung entgegenwirkenden ebenfalls nicht völlig konstanten Druck, zu dessen Ueberwindung er Arbeit hergeben muß. Die Größe derselben findet man ganz in ähnlicher Weise durch die Gleichung

$$L^1 = 10,000 p_m^1 os,$$

in welcher p_m^1 die mittlere Gegenspannung bedeutet. Durch die Gegen- spannung unterscheiden sich die Auspuffmaschinen von den Kondensations- maschinen. Bei ersteren ist p_m^1 stets größer als 1 kg auf das qcm., bei letzteren nur etwa 0,2 kg auf das qcm. Außerdem hängt noch p_m^1 von dem Zeitpunkt ab, in welchem das Ausströmen des Dampfes kurz vor Beendigung des Kolbenhubes unterbrochen wird, da hierdurch der eingeschlossene Raum zusammengedrückt, sein Druck also erhöht wird. Diesen Theil des Vorganges nennt man Kompression. Nennen wir weiter

$$p_1 = p_m - p_m^1 \text{ indizirte Mittelspannung,}$$

$$L_1 = L - L^1 \text{ indizirte Hubleistung,}$$

so wird letztere gefunden zu

$$L_1 = 10,000 p_1 os \text{ in } \text{kgm}$$

Eine ebenso große Arbeit wird, wenn die Kolbenflächen gleich sind, auf

der anderen Seite des Kolbens während eines Hin- und Herganges des Kolbens geleistet; sonach werden, wenn die Maschine

n Doppelhube oder Kurbeldrehungen in der Minute macht, in der Sekunde

$$\frac{L_1}{30} = \frac{10,000}{30} p_1 \text{ o s } \text{ kgm}$$

geleistet, eine Arbeit, welche in Pferdestärken ausgedrückt wird, wenn man noch mit 75 dividirt, sofern

$$1 \text{ Pferd} = 75 \text{ Sekundenkilogrammmer.}$$

Diesen Werth bezeichnen wir als

$$N_1 = \text{indizirte Leistung in Pferd,}$$

und finden, weiter ausgerechnet,

$$N_1 = 4,444 p_1 \text{ o n s.}$$

Die wirkliche Leistung einer Dampfmaschine, die sogenannte effektive Leistung, ist um den Betrag der inneren Reibungswiderstände kleiner als N_1 . Ihr Verhältniß zu N_1 nennt man den Wirkungsgrad, welcher bei guten Maschinen zwischen 0,8 und 0,9 liegt.

Die beiden Diagramme Fig. 72 und Fig. 73 sind so gezeichnet, daß p_1 denselben Werth bekommt, so daß, da auch gleiche Zylindermaße o und s angenommen sind, auch dieselben indizirten Hubleistungen sich ergeben, nämlich

$$L_1 = 10,000 p_1 \text{ o s.}$$

Trotzdem ist der Füllungsraum des Diagrammes Fig. 72 viel kleiner, als der des Diagrammes Fig. 73. Da aber der für beide Fälle verwendet gedachte Dampf dieselbe Spannung hat, zur Herstellung der Volumeinheit oder Gewichtseinheit also derselben Wärme bedarf, so zeigt sich, daß die Kondensationsmaschine verhältnißmäßig weniger Dampf, also auch weniger Wärme, verbraucht, als die Auspuffmaschine. Hiermit ist die Hauptfrage der Dampfmaschinenlehre berührt, welche den Gegenstand des nächsten Abschnittes bilden soll.

III. Der Dampfverbrauch.

Der Dampfverbrauch einer Dampfmaschine wird in der Regel in Gewichtseinheiten (kg) angegeben. Diese Zahl drückt gleichzeitig ziemlich gut den verhältnißmäßigen Wärmeverbrauch aus, da der Wärmehalt des Dampfes mit der Spannung sich nur wenig ändert (Siehe oben S. 31). Man braucht

z. B. um Dampf von
www.libtpool.com.cn

	1	5	10 kg auf das qcm
zu entwickeln, entsprechend eine Wärmemenge von	637	652	661 Wärmeeinheiten.

Für die die meisten vorkommenden Fälle umschließenden Grenzen, 5 bis 10 kg auf das qcm, ist also die Aenderung nur 1,3 %.

Die Vorausberechnung des Dampfverbrauches einer Dampfmaschine ist bis jetzt nur näherungsweise möglich, da sich bei den meisten Dampfmaschinen ein Theil des in den Zylinder gelangenden Dampfes sofort durch Berührung mit den etwas kälteren Zylinderwandungen in Wasser verwandelt und keinen oder nur einen geringen Antheil an der Arbeitsverrichtung hat, ein anderer Theil des Dampfes aber durch die niemals vollständig vermeidbaren Undichtigkeiten des Kolbens oder der Steuerungstheile verloren geht, beide Dampf- mengen aber von manchen zufälligen Umständen beeinflusst werden.

Man pflegt diese Dampfmenge als Dampfverluste zu bezeichnen, indem man von der Ansicht ausgeht, daß es der weiteren Verbesserung der Dampfmaschine wohl gelingen könnte, den Verbrauch dieser Dampf- mengen zu vermeiden oder wenigstens immer mehr zu vermindern.

Den eigentlichen Arbeitsdampf, welcher unter allen Umständen noth- wendig ist, bezeichnet man als Nutzdampf oder Fülldampf.

Wir beschäftigen uns zunächst mit letzterem.

Der Verbrauch an Fülldampf für je einen Kolbenhub läßt sich aus den Zylinderräumen leicht berechnen. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß immer noch eine geringe Dampfmenge vom vorhergehenden Hub in dem schädlichen Raume zurückbleibt, deren Gewicht von der ganzen Dampfzuführung abzuziehen ist, um die neu eingeströmte Dampfmenge zu finden. Dieser Dampfrest wird in der Regel, wie bereits gezeigt wurde, kurz vor dem Kolbenwechsel abgesperrt, komprimirt und hierdurch auf eine höhere Spannung gebracht, welche bei neueren Dampfmaschinen häufig die Volldruckspannung nahezu er- reicht. Ist dies wirklich der Fall, so ist zur Füllung des schädlichen Raumes überhaupt kein frischer Dampf nothwendig; der „schädliche Raum“ wird un- schädlich. Wir nennen daher eine solche Kompression „vollkommen“, eine weniger weit gehende aber „unvollkommen“. Das Maß der Kompression ist im übrigen der sogenannte Kompressionsgrad, d. i. das Verhältniß des während der Kompression vom Kolben beschriebenen Raumes zu dem ganzen Kolbenwegraum.

Bezeichnen wir nun mit

p_1 die Volldruckspannung im Dampfzylinder in kg auf das qcm,

p_2 die G:ze nspannung des ausströmenden Dampfes in kg auf das qcm,

g_1 das Gewicht von 1 cbm Vollbruderdampf in kg,

g_2 " " " 1 cbm Ausströmdampf in kg,

f den Füllungsgrad,

k " Kompressionsgrad,

m das Verhältniß des schädlichen Raumes zum Kolbenvegraum,

D_1 den Fülldampf pro Kolbenhub in kg,

so ergibt sich für letzteren bei vollkommener Kompression

$$D_1 = f o s g_1,$$

und allgemein, d. h. auch für unvollkommene Kompression

$$D_1 = [(f + m) g_1 - (k + m) g_2] o s,$$

sonach der Verbrauch an Fülldampf für die indizirte Dampfleistung von 1 kgm bei vollkommener Kompression

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{f g_1}{10,000 p_1}$$

und allgemein

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{(f + m) g_1 - (k + m) g_2}{10,000 p_1}$$

Zur Ausrechnung dieser Werthe kann nachfolgender Auszug aus Flieger's Tabelle für gesättigten Wasserdampf benutzt werden.

1 cbm gesättigter Dampf wiegt g kg.

Spannung kg auf das qcm	g kg	Spannung kg auf das qcm	g kg	Spannung kg auf das qcm	g kg
0,1	0,0653	1,0	0,5717	6,0	3,074
0,2	0,1257	1,5	0,8361	7,0	3,553
0,3	0,1842	2,0	1,096	8,0	4,028
0,4	0,2414	2,5	1,351	9,0	4,499
0,5	0,2977	3,0	1,603	10,0	4,967
0,6	0,3534	3,5	1,853	11,0	5,432
0,7	0,4085	4,0	2,101	12,0	5,895
0,8	0,4632	4,5	2,346	13,0	6,355
0,9	0,5176	5,0	2,590	14,0	6,813

Zur Berechnung der indizirten Mittelspannung p_1 dienen die folgenden Formeln und zwar für vollkommene Kompression

$$p_1 = \left[(f + m) \left(1 + 2,3 \log \frac{1+m}{f+m} \right) - 2,3 m \log \frac{p_1}{p_2} \right] p_1 - (1 + m) p_2,$$

und allgemein für beliebige Kompression

$$p_1 = \left[f + 2,3(m+f) \log \frac{1+m}{f+m} \right] p_1 - \left[1 - k + 2,3(m+k) \log \frac{m+k}{m} \right] p_2.$$

Zur Abkürzung setzen wir

$$\left[f + 2,3 (m + f) \log \frac{1 + m}{f + m} \right] = A,$$

sowie

$$\left[1 - k + 2,3 (m + k) \log \frac{m + k}{m} \right] = B$$

und schreiben sonach

$$p_1 = A p_1 - B p_2.$$

Nun ist, wie man sieht, A nur von m und f, B nur von m und k abhängig. Beide Faktoren können daher für die gebräuchlichen Werthe von f, k und m durch Tabellen ausgedrückt werden.

Tabelle für A.

	m = 0,02	m = 0,04	m = 0,06	m = 0,08
f = 0,00	0,079	0,130	0,172	0,208
0,05	0,237	0,270	0,298	0,322
0,06	0,263	0,294	0,321	0,346
0,07	0,288	0,317	0,342	0,366
0,08	0,312	0,339	0,363	0,385
0,09	0,335	0,360	0,383	0,404
0,10	0,356	0,380	0,402	0,422
0,15	0,454	0,473	0,490	0,505
0,20	0,537	0,552	0,561	0,577
0,25	0,608	0,620	0,631	0,641
0,30	0,670	0,680	0,688	0,697
0,40	0,772	0,778	0,783	0,789
0,50	0,850	0,854	0,857	0,860
0,60	0,908	0,911	0,913	0,914
0,70	0,950	0,952	0,953	0,953
0,80	0,979	0,980	0,980	0,980

Tabelle für B.
www.libtool.com.cn

	m = 0,02	m = 0,04	m = 0,06	m = 0,08
k = 0,00	1,000	1,000	1,000	1,000
0,05	1,038	1,023	1,017	1,013
0,06	1,051	1,032	1,023	1,018
0,07	1,065	1,041	1,030	1,024
0,08	1,081	1,052	1,038	1,031
0,09	1,097	1,063	1,047	1,038
0,10	1,115	1,075	1,057	1,046
0,15	1,213	1,146	1,113	1,093
0,20	1,327	1,229	1,181	1,150
0,25	1,452	1,324	1,258	1,217
0,30	1,586	1,426	1,344	1,292
0,40	1,877	1,653	1,536	1,459
0,50	2,192	1,903	1,749	1,647
0,60	2,526	2,172	1,980	1,853
0,70	2,877	2,456	2,228	2,074
0,80	3,242	2,754	2,487	2,307

Mit Hilfe dieser beiden Tabellen ist es sehr leicht, die indizierte Mittelspannung p_1 und damit das Verhältnis $\frac{D_1}{L_1}$ für irgend einen besonderen Fall zu berechnen.

Beispiel 1: Bei einer Kondensationsmaschine sei

$$p_1 = 8 \text{ kg. auf das qcm, } p_2 = 0,2 \text{ kg auf das qcm,} \\ f = 0,09, k = 0,3, m = 0,04.$$

Es folgt:

$$A = 0,360, B = 1,426,$$

folgt

$$p_1 = 0,360 \cdot 8 - 1,426 \cdot 0,2 = 2,595 \approx 2,6,$$

ferner noch nach Tabelle Seite 305

$$g_1 = 4,028, g_2 = 0,1257,$$

folgt

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{(0,09 + 0,04) 4,028 - (0,3 + 0,04) 0,1257}{10,000 \cdot 2,6} \\ = \frac{0,185}{10,000} \text{ kg,}$$

oder

$$\frac{L_1}{D_1} = 54054 \text{ kgm für 1 kg Dampf.}$$

Beispiel 2: Bei einer Auspuffmaschine sei

$$p_1 = 10 \text{ kg auf das qcm, } p_2 = 1,1 \text{ kg auf das qcm,}$$

$$f = 0,15, k = 0,15, m = 0,06.$$

Es folgt:

$$A = 0,490, B = 1,113,$$

somit

$$p_1 = 0,490 \cdot 10 - 1,113 \cdot 1,1 = 3,676 \text{ kg auf das qcm,}$$

ferner nach Tabelle Seite 305

$$g_1 = 5,432 \quad g_2 = 0,5717 + \frac{0,8361 - 0,517}{5} = 0,636,$$

somit

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{(0,15 + 0,06) 5,432 - (0,15 + 0,06) 0,636}{10,000 \cdot 3,676}$$

$$= \frac{0,274}{10,000} \text{ kg}$$

oder

$$\frac{L_1}{D_1} = 36,491 \text{ kgm für 1 kg Dampf.}$$

Das Verhältnis zwischen Leistung und Fülldampfverbrauch ist wie schon diese Beispiele zeigen, in so hervorragendem Maße abhängig von den Spannungen p_1 , p_2 und von dem Füllungsgrad, daß im nächsten Abschnitt noch besonders davon die Rede sein wird. Hier mögen zunächst noch einige Worte über den Verlustdampf Platz finden.

Ueber die Haupt-Ursache des Dampfverlustes haben erst neuere Versuche, besonders diejenigen der Elsässer Ingenieure Hirn und Hallauer Aufschluß gegeben. Mit diesen nimmt man jetzt als erwiesen an, daß der größte Theil des Verlustdampfes während der Dampfeinströmung in Form feiner Tröpfchen auf den Wandungen des Dampfzylinders und den mit dem Raum desselben in bleibender Verbindung stehenden Flächen der Dampfkanäle und der Steuerungstheile, Schieber, Ventile zc. niedergeschlagen wird und theils während des letzten Abschnittes des Expansionstheils während der Ausströmung des Dampfes wieder verdampft. Dieser Vorgang wird dadurch vollkommen erklärlich, daß die Zylinderwände einer im Betrieb befindlichen Dampfmaschine eine Temperatur annehmen, welche niedriger ist als diejenige des eintretenden, aber höher als die des austretenden Dampfes. Ob sie auch höher ist, als die Temperatur des Dampfes zu Ende der Expansion, hängt von dem

Grade der Expansion, von der Volldruckspannung, sowie von dem äußeren Schutz des Zylinders gegen Wärmeverluste ab. Wie nun die kalte Fensterscheibe sofort beschlägt, wenn sie durch den mit Wasserdampf gesättigten Hauch des Mundes getroffen wird, so muß sich auch auf der Zylinderfläche ein Beschlag bilden, wenn diese durch den heißen Dampfstrom berührt werden; — aber ebenso wie auf einem heißen Stein oder der warmen Ofenplatte ein Wassertropfen schnell verdampft, so verfliegt auch dieser Beschlag, sobald die Spannung im Zylinder niedriger wird, als die zu der Temperatur des Zylinders gehörige Spannung gesättigten Dampfes. Wäre also z. B. die Zylindertemperatur 110° C., so würde der Beschlag verschwinden, sowie die Spannung unter 1,5 kg auf das qcm sinkt, gleichviel ob dies noch im Verlaufe der Expansion oder erst während der Ausströmung ins Freie, nach dem Kondensator oder nach einem Dampfheizapparat zc. geschieht. Die Stärke des Beschlages dürfte kaum je mehr betragen als $\frac{1}{5}$ mm; sie ist also sehr gering und deshalb erfolgt die Wechselwirkung zwischen der Wärme des Dampfes und der Zylinderwand mit großer Geschwindigkeit. Ueber die Menge des so verloren gehenden Dampfes, des Dampfverlustes durch innere Kondensation, sind zwar umfangreiche theoretische Untersuchungen angestellt worden, doch haben dieselben noch keine allgemein und hinreichend leicht verwendbare Resultate ergeben. Als festgestellt kann jedoch folgendes gelten:

Der Dampfverlust durch innere Kondensation ist um so größer, je mehr die Temperaturen des Eintritts- und Austrittsdampfes entsprechend den Spannungen p_1 und p_2 sich von einander unterscheiden, je kleiner der Zylinder und je größer daher das Verhältnis zwischen Wandfläche und Rauminhalt des Zylinders ist, je langsamer die Maschine geht und je mehr Zeit sonach zur Abkühlung jeder einzelnen Dampfzuführung vorhanden ist, je größer die Flächen des schädlichen Raumes, die schädlichen Flächen sind, je schlechter endlich der Zylinder gegen äußere Wärmeverluste geschützt ist.

Unter diesen Bedingungen möge besonders auf die erste und die letzte hingewiesen werden; auf die erste, weil sie mit den Mitteln zur Erzielung eines geringen Verbrauches an Fülldampf in Widerspruch steht, auf die letzte, weil man neuerdings nicht nur die Wärme-Verluste möglichst zu vermeiden weiß, sondern sogar bestrebt ist, den Zylinder künstlich zu heizen, indem man ihn mit einer doppelten Wand umgibt und den Zwischenraum mit Dampf füllt. Diese Einrichtung nennt man Dampfmantel oder Dampfhemd. Sie ist zwar keineswegs neu, doch die Anwendung wird immer allgemeiner, je mehr man sich von dem Nutzen überzeugt. Der Dampfmantel kann natürlich nur dann seinen Zweck erfüllen, wenn der darin be-

findliche Dampf eine möglichst hohe Temperatur hat, wenn möglich sogar eine höhere als der Fülldampf. Man läßt daher zweckmäßiger Weise den Dampf aus dem Kessel in den Dampfmantel und aus diesem in den Zylinder gelangen. Nicht selten kann man auch Dampfmäntel mit Abdampf sehen, die natürlich nicht nur nutzlos, sondern sogar schädlich sind, weil der Abdampf kälter ist als die mittlere Zylindertemperatur und daher höchstens kühlen aber nicht heizen kann. Wenn der Dampf im Mantel Wärme an den Zylinder abgibt, so muß sich eine gewisse Menge des Manteldampfes als Wasser niederschlagen. Der Dampfmantel hat also auch einen gewissen Dampfverbrauch und er wird deshalb nur in soweit nützlich sein, als die erzielte Verminderung der inneren Kondensation größer ist als der Mantelverbrauch. Das Niederschlagwasser muß aus dem Dampfmantel entweichen können, wenn dieser wirksam bleiben soll. Man bringt deshalb selbstthätige Dampfwasserabscheider an, oder läßt, wenn es infolge tiefer Lage des Kessels möglich ist, das Wasser nach dem Kessel zurückfließen. Hiergegen wird in der Praxis häufig gefehlt, so daß oft ein großer Theil des Dampfmantels mit Wasser gefüllt bleibt, welches dann die entgegengesetzte der beabsichtigten Wirkung hat.

Der Dampfverlust durch undichte Kolben und Steuerungstheile kann bei guten Maschinen äußerst gering sein und sollte nie mehr als einige Hundertel des Fülldampfes betragen.

Der Gesamtverlust beträgt 20 bis 40 % vom Fülldampf.

Der wirkliche Dampfverbrauch für 1 kgm indizirter Arbeit ist sonach im Mittel etwa

$$\frac{D}{L_1} = \frac{1,3}{10000} \cdot \frac{(f + m) g_1 - (k + m) g_2}{p_1}$$

bei kleinen mangelhaft geschützten Zylindern kann aber der Gesamtverbrauch bis 10 % höher, bei großen mit Dampfmantel geheizten Zylindern 8 bis 10 % niedriger sein, als diese Formel angiebt.

Bezeichnet man mit N_1 die indizirte Leistung in Pferdestärken, so ist die Leistung stündlich in Kilogrammmetern

$$L_1 = 75 \cdot 3600 N_1 = 270000 N_1$$

Man findet sodann den stündlichen Dampfverbrauch pro Pferd der indizirten Leistung aus der Gleichung

$$\frac{D_1}{L_1} = 35 \cdot \frac{(f + m) g_1 - (k + m) g_2}{A p_1 - B p_2}$$

wobei die Werthe A und B aus den Tabellen S. 306 und 307 zu entnehmen sind.

IV. Wahl der Dampfspannung und des Füllungsgrades.

Bei der Beschaffung einer Dampfmaschinenanlage ist die Entscheidung über die Größe der Volldruckspannung und des Füllungsgrades von sehr großer Wichtigkeit. Es möge der Einfluß dieser beiden Annahmen hier im Zusammenhang behandelt werden, weil zwischen denselben eine gewisse Wechselwirkung stattfindet.

Die Untersuchungen über die Größe des Fülldampfes hatten den Ausdruck

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{(f + m) g_1 - (k + m) g_2}{10000 p_1}$$

ergeben, und für p_1 hatten wir den abgekürzten Ausdruck

$$p_1 = A p_1 - B p_2$$

berechnet. Es ist nicht ganz leicht, die Folgen zu übersehen, welche die Veränderung von p_1 und f auf den Dampfverbrauch hat, so lange noch k als veränderliche Größe zu berücksichtigen ist. Es möge daher für die folgende Betrachtung der Kompressionsgrad $k = 0$ gesetzt und die ziemlich kleine Größe $m g_2$ vernachlässigt werden. Für $k = 0$ wird $B = 1$ und sonach

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{(f + m) g_1}{10000 (A p_1 - p_2)}$$

oder

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{10000}{f + m} \left(A \frac{p_1}{g_1} - \frac{p_2}{g_2} \right).$$

Setzen wir weiter $g_1 = p_1$, was nach Tabelle S. 305 für 9 kg auf das kg genau, aber auch für die Nachbarwerthe ohne große Fehler zulässig ist, so folgt

$$\frac{L_1}{D_1} = \frac{20000}{f + m} \left(A \frac{p_2}{p_1} \right),$$

und hieraus sieht man, daß, wenn f und m , also auch A einen bestimmten Werth hat, die Leistung der Gewichtseinheit Dampf um so größer wird, je kleiner $\frac{p_2}{p_1}$ d. h. je größer p_1 und je kleiner p_2 ist, je mehr also diese beiden Spannungen von einander verschieden sind. Eine Maschine mit gegebenem Füllungsgrad wird daher um so mehr Arbeit aus 1 kg Dampf entwickeln, je höher die Volldruckspannung ist, und, da bei einer Kondensationsmaschine p_2 viel kleiner ist als bei der Auspuffmaschine, so wird erstere mehr leisten als letztere. Gleich große Leistungen werden sich bei Kondensations- und Auspuff-Maschinen ergeben, wenn die Volldruckspannung dasselbe Vielfache der Gegenspannungen, nämlich von 0,2 kg auf das

qcm einerseits und 1,1 kg auf das qcm andererseits ist. z. B. $\frac{P_2}{P_1} = 0,1$
 würde sich für Kondensation bei $p_1 = 2$ kg auf das qcm, für Auspuff bei $p_2 = 11$ kg ergeben; demnach leistet 1 kg Dampf von 2 kg auf das qcm in der Kondensationsmaschine eben so viel wie 1 kg von 11 kg auf das qcm in der Auspuffmaschine. Man sieht also, daß die Anwendung hochgespannten Dampfes um so wichtiger wird, je höher die Gegenspannung P_2 ist. Bei den Maschinen der Zuckerraffinerien wird häufig die Gegenspannung noch weiter erhöht durch Verwendung des Abdampfes in den Verdampfungsapparaten. Dann ist natürlich erst recht zur sparsamen Verwendung des Dampfes eine hohe Volldruckspannung nöthig.

Der hier hervorgehobene Vortheil hoher Spannung ist jedoch keineswegs der einzige, ja nicht einmal der Hauptvortheil. Dieser steht vielmehr in engem Zusammenhange mit der Expansion.

Man kann die Vortheile der Expansion um so weiter ausnützen, je höher die Volldruckspannung ist, da die Endspannung des expandirenden Dampfes zweckmäßiger Weise nicht unter eine gewisse Grenze gehen darf, welche bei Kondensationsmaschinen zwischen 0,9 und 1,0 kg auf das qcm, bei Auspuffmaschinen zwischen 1,7 und 1,8 kg auf das qcm liegt. Treibt man die Expansion weiter, so wird der Unterschied zwischen dem Druck auf der einen und dem Widerstand auf der andern Kolbenseite immer geringer und genügt schließlich nicht mehr, die Reibungswiderstände der Maschine zu überwinden. Aber schon ehe dieser Zustand erreicht ist, wird der Nutzen der weiteren Expansion so unbedeutend, daß es sich nicht lohnt, die hierzu nöthige Verlängerung des Zylinders vorzunehmen, und aus diesen Erwägungen können die angegebenen Grenzen der Endspannung als praktisch gewählte betrachtet werden. Zu bemerken ist für Auspuffmaschinen, daß durch jede Erhöhung des Gegendruckes p_2 über 1,1 kg auf das qcm durch Widerstände, welche der Dampf findet, ehe er in die Atmosphäre entweicht, auch die Grenze der zweckmäßigen Expansionsendspannung entsprechend höher gelegt wird.

Kann auch von vollkommen bestimmten Werthen in dem vorliegenden Falle nicht die Rede sein, da mancherlei Dinge, insbesondere Preislagen, hier mitsprechen, deren Werth sich ändert, so dürfen wir doch als Näherung annehmen, daß der Dampf

in der Kondensationsmaschine bis 1,0 kg auf das qcm
 „ „ Auspuffmaschine „ 1,75 „ „ „ „

expandiren muß, um sein Arbeitsvermögen am vollständigsten zu entwickeln.

Unter dieser Annahme folgt aber ein bestimmter Zusammenhang zwischen der Volldruckspannung und dem Füllungsgrad, welcher sich ausdrückt

$$\begin{aligned} \text{für Kondensationsmaschinen durch } f &= \frac{1,0}{p_1} (1 + m) - m \\ \text{„ Auspuffmaschinen „ } f &= \frac{1,75}{p_1} (1 + m) - m. \end{aligned}$$

Damit aber zeigt sich, daß ein um so kleinerer Füllungsgrad angewendet, also die Expansionsarbeit um so mehr ausgenützt werden kann, je höher die Volldruckspannung p_1 ist, und es zeigt sich weiter, daß für gleiche p_1 die Kondensationsmaschine viel weiter expandiren kann als die Auspuffmaschine.

V. Umwandlung von Wärme in Arbeit.

Die Möglichkeit der Anwendung hochgespannten Dampfes in Verbindung mit starker Expansion und Kondensation ist schon lange den Dampfmaschinentechnikern bekannt — aber erst seit einigen Jahrzehnten hat man bemerkt, daß es sich hierbei nur um einen besonderen Fall eines umfassenden Gesetzes handelt, dessen Gültigkeit sich auf alle Wärmekraftmaschinen erstreckt.

Nachdem gegen Mitte des Jahrhunderts der Heilbronner Arzt Robert Mayer den Zusammenhang von Wärme und mechanischer Arbeit durch ein einfaches Zahlenverhältniß ausgedrückt und den Nachweis geliefert hatte, daß bei jeder Entwicklung von Arbeit aus Wärme, oder von Wärme aus Arbeit dieses Zahlenverhältniß, nämlich

$$1 \text{ Wärmeeinheit} = 424 \text{ kgm}$$

eine Rolle spielt, wurde rasch der Gedanke Gemeingut, daß die beiden äußerlich so verschiedenen Erscheinungen, welche man Wärme und Arbeit nennt, im Grunde gleichartig sind, verschiedene Formen derselben Sache und daher gegenseitiger Umwandlung fähig. Hiermit war nun die Vermuthung sehr nahe gelegt, daß es möglich sein müsse, jede beliebige Wärme in Arbeit zu verwandeln, z. B. auch die der atmosphärischen Luft, des Wassers oder sonstiger Körper unserer täglichen Umgebung. Wir verdanken jedoch dem Physiker Clausius im Anschluß an Carnot die überaus wichtige Belehrung, daß die Möglichkeit der Verwandlung von Wärme in Arbeit an gewisse Bedingungen geknüpft ist, welche in der Regel nur künstlich hergestellt werden können. Nur wenn ein Körper höhere Temperatur besitzt als seine Umgebung, kann man einen Theil der in ersterem enthaltenen Wärme in Arbeit umwandeln. Ein solcher Körper ist z. B. der im Kessel entwickelte Dampf oder künstlich erhitzte Luft, oder das in der Gastkraft-

maschine durch die Explosion gebildete frische Gasgemisch. Doch auch in einem solchen Falle ist es nicht möglich, die ganze Wärme des betreffenden Körpers in Arbeit zu verwandeln, sondern nur einen bestimmten Theil, der sich berechnen läßt.

Nämlich

t_1 die Temperatur des erhitzten Körpers,

t_2 die Temperatur der kälteren Umgebung,

Q eine Wärmemenge, welche der erhitzte Körper zum Zwecke der Arbeitsleistung abgibt,

so kann von dieser Wärme Q nur eine geringere Menge Q' in Arbeit verwandelt werden, welche äußersten Falles werden kann

$$Q' = \frac{t_1 - t_2}{273 + t_1} Q$$

Der Rest $Q - Q'$ geht in den kälteren Körper über, ohne Arbeit zu verrichten. Wäre z. B. $t_1 = 327$, $t_2 = 27$, so würde

$$Q' = \frac{327 - 27}{273 + 327} Q = \frac{1}{2} Q.$$

Es könnte also nur die Hälfte der Wärme Q in Arbeit verwandelt werden. Aus diesem Gesetz geht dann hervor, daß die Arbeit, welche eine Wärmeeinheit wirklich leisten kann, nicht 424 kgm, sondern im günstigsten Falle

$$L = \frac{t_1 - t_2}{273 + t_1} \cdot 424$$

ist und daß dieses Nutzungsverhältniß mit der Differenz $t_1 - t_2$ zunimmt. Haben wir also Dampf von $t_1 = 177$ in einer Umgebung von der Temperatur $t_2 = 27$, so wird

$$L = \frac{177 - 27}{273 + 177} \cdot 424 = 141 \text{ kg}$$

dagegen für $t_1 = 227$

$$L = \frac{227 - 27}{273 + 177} \cdot 424 = 170 \text{ kg}.$$

Dieselbe Wärmemenge aus heißerem, also höher gespanntem Dampfe, kann also bedeutend mehr leisten als bei geringerer Temperatur.

Die hier benutzte Beziehung wird in der mechanischen Wärmetheorie unmittelbar im Anschluß an den sogenannten 2. Hauptsatz dieser Wissenschaft entwickelt. Wir begnügen uns hier mit der Thatsache, welche die Gleichung ausdrückt und betrachten diese als ein Naturgesetz, welches durch alle damit zusammenhängenden Erscheinungen bestätigt ist. Unser Standpunkt ist dabei derselbe wie der der mechanischen Wärmetheorie gegen-

über dem 2. Hauptsatz selbst, der bis jetzt noch nicht befriedigend bewiesen werden kann, obgleich an seiner Richtigkeit kaum noch ein Zweifel zulässig ist.

Es muß nur im Anschluß an die letzten Beispiele bemerkt werden, daß es noch nicht gelungen ist, das ausgerechnete theoretisch mögliche Nutzungsverhältnis praktisch zu erreichen. Die höchste bis jetzt durch die besten Dampfmaschinen wirklich geleistete mechanische Arbeit aus einer Wärmeeinheit des Dampfes ist etwa 80 kgm, was etwa einem stündlichen Dampfverbrauch von 5 kg pro Pferd entspricht. Es bleibt also die Hälfte des theoretischen Arbeitsvermögens unbenutzt.

Ziel ungünstiger stellt sich der Vergleich mit der den Heizgasen des Ofens innewohnenden Wärme. Diese werden bei einer Temperatur von 1500 bis 2000° C. entwickelt. Setzen wir daher z. B.

$$t_1 = 1527, \quad t_2 = 27,$$

so wird

$$L = \frac{1527 - 27}{273 + 1527} \cdot 424 = 265 \text{ kgm.}$$

Von dem Arbeitsvermögen der Ofenwärme wird daher höchstens $\frac{80}{265}$ d. i. nicht ganz $\frac{1}{3}$ ausgenutzt. Dieser Unterschied ist wohl zu beachten, damit nicht von der Vervollkommnung der Dampfmaschine Unmögliches verlangt oder erwartet wird. Etwa 100 kgm von dem Arbeitsvermögen jeder Wärmeeinheit des Feuers werden also schon bei der Ueberleitung in das Kesselwasser vernichtet, und zwar auch dann, wenn von der Wärme selbst nichts verloren geht. Die Ausbreitung der Wärme auf einen Körper von anderer Temperatur, hier das Wasser und der Dampf, bedingt schon an sich einen so bedeutenden Energieverlust. Dieser Verlust wird daher nur durch andere Wärmekraftmaschinen mit höheren Arbeitstemperaturen vermieden werden können, da die Temperatur des Dampfes praktisch kaum noch viel gesteigert werden kann. Der Gaskraftmaschine ist dies bereits gelungen. In dieser ist also der Dampfmaschine nicht nur eine machtvolle Genossin, sondern eine gefährliche und siegreiche Gegnerin erwachsen, welche vielleicht in nicht zu ferner Zeit im Stande sein wird, die Dampfmaschine aus den meisten Stellen zu verdrängen, am letzten freilich aus solchen Betrieben, in denen noch der Abdampf zu Heizzwecken Verwendung findet wie in der Zuckerfabrikation.

VI. Verbundmaschinen.

Während die Betrachtung der Fülldampfmenge und die allgemeinen Erörterungen des vorigen Abschnittes gezeigt haben, daß es vortheilhaft ist,

mit möglichst großen Temperaturdifferenzen, also auch möglichst großem Spannungsunterschied $p_1 - p_2$ zu arbeiten, hat bereits die über den Dampfverlust gegebene Darlegung darauf aufmerksam gemacht, daß der Dampfverlust in gleichem Sinne wie $p_1 - p_2$ größer oder kleiner wird; daß also die durch Anwendung eines großen $p_1 - p_2$ entstehenden Ersparnisse an Fülldampf durch größeren Aufwand von Verlustdampf zum Theil wieder verzehrt werden. Weiter hat aber die zu vortheilhafter Ausnutzung großer Spannungsgefälle nöthige starke Expansion des Dampfes den Nachtheil, daß die Kolbendrücke sehr ungleichmäßig werden und in Folge dessen große Schwungräder angewendet werden müssen, um einen hinreichend gleichförmigen Gang zu erzielen.

Diesen Nachtheilen, ohne die Vortheile hoher Spannung^s oder Temperaturgefälle preiszugeben, sucht man durch die stufenweise Expansion in mehreren Dampfzylindern zu begegnen, wie sie zur Anwendung kommt in den sogenannten Woolf'schen und den Compound- oder Verbundmaschinen.

Die Woolf'sche Maschine kann nur als eine Vorstufe zur heutigen Verbundmaschine gelten. Wir benutzen deshalb letzteren von Reuleaux herrührenden Namen zur Bezeichnung aller Dampfmaschinen mit stufenweiser Expansion, die Woolf'sche Maschine eingeschlossen, und unterscheiden nach der Zahl der Expansionsstufen in Zwei-, Drei-, Vierverbundmaschinen. Eine weitere Unterscheidung ist für diese Maschinen hinsichtlich des Zusammenhanges der einzelnen Kolbenwegphasen nöthig.

1) können die Kolbenstangen der zwei, drei, vier Kolben mit einander fest verbunden sein oder sich wenigstens in demselben Sinne bewegen;

2) können sich die Kolben in entgegengesetztem Sinne bewegen, z. B. in Folge der Verbindung mit 2 um 180° verfesten Kurbeln an derselben Welle;

3) können die Kolben einzeln oder paarweise auf 2 um 90° verfesten Kurbeln wirken;

4) können 3 Kurbeln vorhanden sein, welche um je 120° gegeneinander gestellt sind.

Bei allen diesen Maschinen findet folgender Vorgang statt.

Der Dampf tritt aus dem Kessel in einen Zylinder I, in welchem er mit Volldruck und einem Theil seines Expansionsvermögens wirkt, und gelangt beim Rückgang des Kolbens in einen Zwischentessel (receiver). Da die Spannung in demselben etwas geringer ist, als diejenige des Dampfes im Zylinder I zu Ende der Expansion, so kann Ueberströmung ohne Schwierigkeit infolge des verbleibenden Ueberdruckes erfolgen. Von hier aus gelangt er in den Zylinder II, in welchem er ebenso, nur mit geringerer Spannung,

wirkt wie in I und entweicht bei Zweiverbundmaschinen in's Freie oder in den Kondensator, während bei Drei- und Vierverbundmaschinen eine ähnliche Wirkung im Zylinder III und IV mit jedesmaliger Ueberleitung durch einen zweiten oder dritten Zwischenkessel vorhergeht. Die eigenartige Wirkung der Verbundmaschine kann man mit Hilfe des Indikator-Diagrammes sehr anschaulich machen. In Figur 74 sind die Indikator-Diagramme einer Zwei-

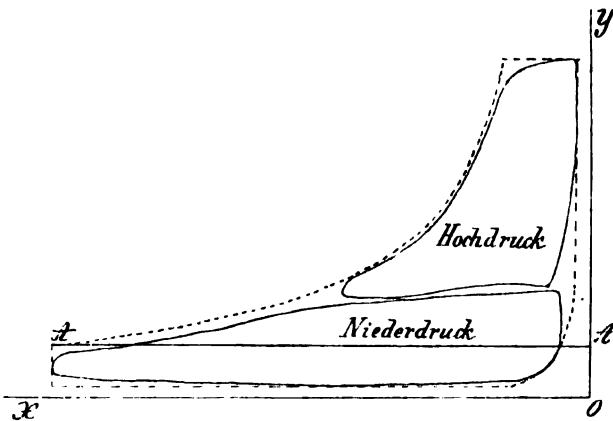


Fig. 74.

verbundmaschine mit Kondensation so zusammengezeichnet, daß jedesmal für die zusammengehörigen Diagramme für die Dampf Räume und die Dampfspannungen derselbe Maßstab benutzt ist. Aus dieser bildlichen Darstellung sieht man, daß der gesammte Flächeninhalt der 2 Diagramme sich nicht sehr weit von demjenigen des punktiert gezeichneten Diagrammes unterscheidet, d. h. von dem Verlauf der Dampfwirkung, welche dann stattfinden würde, wenn man die ganze Arbeit mit derselben Menge Füll Dampf im Niederdruck-Zylinder entwickelte. Man findet daher in der That mit einiger Annäherung die Arbeitsleistung einer Verbundmaschine in der Weise, daß man für das punktirte, ideale Diagramm p_1 und damit nach Gleichung S. 303 N_1 für o und s gleich Ko:benfläche und Hub des größten Zylinders ermittelt. Zur genauen Berechnung muß das Verhältniß zwischen der Flächen Summe aus Hoch- und Niederdruck-Diagramm und dem punktierten Diagramm, der sogenannte B:lligkeitsgrad, bekannt sein, dessen Größe von vielen Neben Umständen abhängig ist. Die Größe des kleinen Zylinders wird meist so gewählt, daß die Flächen-

inhalte beider Diagramme, also auch die Arbeitsleistungen in beiden Zylindern, gleich groß werden. Unter dieser Annahme ergibt sich die gleichförmigste Umlaufgeschwindigkeit der Maschine. Aus demselben Grunde nimmt man auch bei Dreiverbundmaschinen ein solches Zylinderverhältniß, daß alle drei Zylinder gleich viel Arbeit verrichten.

Der Vollständigkeit halber möge noch erwähnt sein, daß die Ausströmungslinie des Zylinders I um so weniger von der Füllungslinie von II verschieden sein wird und beide um so weniger von der Waagerichtung abweichen werden, je größer der Inhalt des Zwischenbehälters ist. Diese Größe hat jedoch wieder praktische Grenzen dadurch, daß nicht unnöthige Abkühlungsflächen entstehen sollen. In der Regel sind daher die erwähnten Diagrammlinien nicht ganz gerade.

Die Woolf'sche Maschine ist eine Zweiverbundmaschine mit gleich- oder einander entgegenstehenden Kurbeln und hat die besonderen Eigenthümlichkeiten, daß die Ausströmsteuerung aus Zylinder I zugleich die Einströmsteuerung für Zylinder II und daß ein Zwischentessel nicht vorhanden ist. Diese Vereinfachungen sind jedoch nicht erheblich genug, um in Anbetracht der hierdurch bedingten mangelhafteren Wirkungsweise des Dampfes die Woolf'sche Maschine gegenüber der vollständigen Verbundmaschine noch empfehlenswerth zu machen.

Die vorstehende Beschreibung der Verbundmaschine hat gezeigt, daß die Spannungsunterschiede in den einzelnen Zylindern wesentlich geringer sind, als bei der einzylindrigen Maschine. Da infolge dessen auch die Temperaturen geringerem Wechsel unterliegen, so erklärt es sich, daß hier die Dampfverluste etwas geringer ausfallen, als bei jenen. Ein anderer Vortheil ist die Ersparniß an Schwungradgewicht und die wiederum als Folge hiervon auftretende Minderung der Achslagerreibung der Maschine.

Den letzteren Vortheil könnte man zwar auch erreichen durch Verbindung von zwei gewöhnlichen Dampfmaschinen mittels einer Welle und rechtwinkeltstelligen Kurbeln. Die Zylinder würden aber dann der geringeren Größe wegen stärkere Dampfverluste ergeben als ein einziger für die Gesammtleistung bestimmter Zylinder.

Es möge an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, daß der Vortheil der Verbundmaschinen gegenüber einzylindrigen Maschinen für gleiche Leistung nicht selten modermäßig überschätzt, bezw. übertrieben wird. Man lasse namentlich nicht außer Acht, daß die Verbundmaschine dem Wärter mehr Arbeit macht und mehr Gelegenheit zu Störungen bietet als die Einzylindermaschine. Besonders für Auspuffmaschinen, welche in Zuckrefabriken be-

kanntlich die Regel sind, ist daher der Vortheil der Verbundmaschinen ein sehr geringer, wenn überhaupt noch davon die Rede sein kann.

Man könnte hier freilich die Frage aufwerfen, und sie ist aufgeworfen worden, ob es nicht vortheilhafter sein würde, die Verdampfapparate mit direktem Dampfe aus besonderen Dampfkesseln zu betreiben und die Dampfmaschinen als möglichst vollkommene Expansions- und Kondensationsmaschinen auszuführen.

Die Antwort giebt folgende Rechnung.

VII. Werthlosigkeit der Kondensation für Zuckerfabrikdampfmaschinen.

Bezeichnet wie früher t_1 die Temperatur der höchsten Volldruckspannung, bis zu welcher man geneigt ist mit Rücksicht auf die Dampfkessel zu gehen, t_2 aber die übliche Temperatur, mit welcher der Abdampf nach den Verdampfapparaten geht, so enthält

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ kg Vollampf} & 606,5 + 0,305 t_1 \text{ Wärmeeinheiten,} \\ 1 \text{ kg Abdampf} & 606,5 + 0,305 t_2 \quad \text{''} \end{array}$$

Der Mehraufwand an Wärme zur Herstellung des Vollampfes gegenüber dem Abdampf ist sonach $0,305 (t_1 - t_2)$ Wärmeeinheiten für je 1 kg Dampf. Die Kosten der Spannungssteigerung sind aber dem Mehraufwand an Kohlen und sonach auch an Wärme proportional und es verhalten sich daher die Kosten des aus Abdampf hergestellten Vollampfes zur Herstellung aus Speisewasser von der Temperatur t_0 wie

$$0,305 (t_1 - t_2) \text{ zu } 606,5 + 0,305 t_1 - t_0$$

Setzen wir, um runde Zahlen zu erhalten

$$t_1 = 190^*), t_2 = 110^{**}), t_0 = 64,5$$

so ergibt sich das Verhältniß 0,040; sonach dürfen die Kosten des zum Maschinenbetrieb zwischen den Temperaturen t_1 und t_2 verwendeten Dampfes, wenn derselbe später noch weitere Verwendung findet und hierzu jedenfalls hergestellt werden müßte, nur auf 4 % derjenigen Kosten in Anschlag gebracht werden, welche Dampf von der Temperatur t_1 unter gewöhnlichen Verhältnissen erfordern würde, d. h. dann, wenn die Verwendung zu Kochzwecken nicht nöthig wäre.

Um daher die Betriebskosten einer Zuckerfabrik-Dampfmaschine mit denjenigen einer gewöhnlichen zu vergleichen, müssen wir den Dampfverbrauch der ersteren mit 0,04 multiplizieren. Damit zeigt sich aber sofort, daß die

*) entsprechend $p_1 = 13 \text{ kg. auf das qcm.}$

***) entsprechend $p_2 = 1,5 \text{ kg. auf das qcm.}$

Maschine 5 : 0,04 = 125 kg. Dampf verbrauchen dürfte, um erst dieselben Dampfkosten zu verursachen, wie die allerbeste selbstständige Kondensationsmaschine. In der That ist der Dampfverbrauch der Zuckerrfabrikmashinen viel geringer. Die früher genannte Ziffer von 40 kg. pro Stunde und Pferd würde sonach nur 1/3 der Kosten der besten Kondensationsmaschine ergeben und mindert man, wie recht gut möglich, den Verbrauch auf 15 kg., so spart die Auspuffmaschine gegenüber der besten Kondensations-

$$\text{maschine } 100 \frac{120 - 15}{120} = 87 \text{ } \frac{0}{10} \text{ Dampfkosten.}$$

Hiernach ist es selbstverständlich, daß die Dampfmaschinen der Zuckerrfabriken so lange mit doppelt verwendetem Dampfe betrieben werden müssen, als die für die Säfteverdampfung erforderliche Dampfmenge für die Kraftzwecke noch ausreicht, und das dürfte in den meisten Rübenzuckerrfabriken und Raffinerien der Fall sein. Nicht außer Acht zu lassen ist hierbei noch der Nebenvortheil, daß die Auspuffmaschinen der geringeren Expansion wegen kleineren Zylinder Raum erhalten und daher billiger werden als Kondensationsmaschinen gleicher Leistung.

Das soeben erhaltene Rechnungsergebnis liefert die Erklärung für die geringe Aufmerksamkeit, die man in Zuckerrfabriken dem Dampfverbrauch der Dampfmaschinen zuzuwenden pflegt; sind doch die hierdurch entstehenden Kosten überhaupt nur ein kleiner Bruchtheil des gesammten Aufwandes für den Dampf in der Zuckerrfabrikation.

Dennoch sollte man hier in der Sorglosigkeit nicht zu weit gehen, sondern durch Anwendung hoher Dampfspannung und möglichster Ausnutzung der Expansion auch an dieser Stelle zu sparen suchen, was möglich ist.

VIII. Gesamtanordnung der Dampfmaschine.

Der verhältnißmäßig einfache Vorgang, der sich in der Dampfmaschine abspielt, hat doch zu einer so außerordentlichen Zahl verschiedener Konstruktionen geführt, daß auch nur der Versuch, dieselben zu beschreiben, viel zu weit führen und das Ziel dieser Schrift weit überschreiten würde. Es darf auch vorausgesetzt werden, daß unsere Leser mit dem Aeußerlichen vieler Dampfmaschinen vertraut sind und nur Auskunft über den vergleichswweisen Werth verschiedener Gesamt- und Theilanordnungen erwarten. Hierauf wollen wir uns denn beschränken, zugleich aber unsere Aufgabe noch durch Ausschluß der Kondensationsmaschine abgrenzen, da dieselbe, wie wir sahen, für die Zuckerrfabriken keinen Werth hat.

Die meisten Dampfmaschinen werden zur Zeit mit waagrecht liegendem Zylinder ausgeführt. Hat sich auch die senkrechte Zylinderstellung sowohl bei der Watt'schen Balanziermaschine, als auch bei den direkt wirkenden stehenden Maschinen ausgezeichnet bewährt, so erleichtert doch die liegende Anordnung die Bedienung und Uebersicht der Maschine so wesentlich, daß man sich die einseitige Zylinderabnutzung gefallen läßt, welche diese Anordnung zur Folge haben soll. Auch die Unterstützung der Maschine durch das Fundament ist bei der liegenden Anordnung eine leichtere und vollkommene. Direkt wirkende stehende Maschinen sind nur da am Platze, wo die Grundfläche äußerst knapp ist, ein Uebelstand, der bei Zuckerrfabriken wohl nur in seltenen Fällen eintreten dürfte. Balanziermaschinen sind sehr geeignet zum Pumpenbetrieb; sie werden daher auch in Zuckerrfabriken für diesen Zweck viel verwendet und zwar sowohl für Luftpumpen, wie für Wasserpumpen. Statt der Gelenkgeradführungen, ohne die man sich früher eine Balanziermaschine nicht denken konnte, werden jedoch neuerdings mehrfach Schienenführungen benutzt, deren Reibungsverluste hier viel geringer sind, als bei den Maschinen mit direktem Antrieb der Kurbel, da die Verbindungsstangen zwischen den Kreuzköpfen und dem Balanzier nur wenig nach beiden Seiten von der Richtung der Kolbenstange ausschlagen und daher nur geringe Druckkomponenten auf die Gleitschienen übertragen. Näher kann auf diese besonderen Maschinen hier nicht eingegangen werden.

IX. Dampfzylinder und Kolben.

Auf der genauen Ausführung von Zylindern und Kolben beruht vorzugsweise die Sparsamkeit der Dampfmaschine im Betriebe. Bestes Material und beste Arbeit sind daher für diese Theile von ganz besonderer Wichtigkeit.

Obgleich der Kolben stets mit federnden, meist aus Gußeisen bestehenden Ringen ausgeführt wird, so ist doch eine vollkommene Dichthaltung nur möglich, wenn die Bohrung des Zylinders mit größter Genauigkeit ausgeführt ist. Das Gußeisen, aus welchem der Zylinder gegossen wird, muß etwas härter sein als die Kolbenringe, damit diese möglichst allein die Abnutzung erleiden. Man erreicht diese Härte indem man in die Gießpfanne einige Stücke Spiegeleisen zusetzt. Sehr häufig ist der Zylinder infolge der Abnutzung des Bohrstaßles an einem Ende etwas enger. Man muß, um dies zu vermeiden, den letzten Bohrspahn möglichst fein, die Geschwindigkeit möglichst gering und den Stahl möglichst hart nehmen. Fehler in der Rundung entstehen häufig durch ungeschickte Befestigung des Zylinders auf der Bohrmaschine. Bei großen Zylindern entstehen schon durch das Gewicht

geringe Formänderungen, weshalb man sie in derjenigen Lage bohren soll, in welcher sie gebraucht werden. In der Herstellung eines guten und dauerhaften Zylinders besteht noch heute die Hauptschwierigkeit im Dampfmaschinenbau.

In manchen Fabriken werden die Zylinder nach dem letzten Bohrspahn mit einem federnden Schaber nachgearbeitet um die Drehstriche zu beseitigen. Ein solches Werkzeug wird statt des Drehstahles im Bohrkopf der Zylinderbohrmaschine befestigt. Häufig bilden sich beim Gießen des Zylinders Blasen, welche erst beim Ausbohren bemerkbar werden. Sind dieselben klein, so bohrt man sie aus und füllt das Loch durch eine Gußeisenschraube aus. Immerhin ist dergleichen Fiklerei thunlichst zu vermeiden, und bei den neueren Maschinen mit Dampfmantel, bei denen der eigentliche Zylinder als besonderes sehr einfaches Stück ausgeführt und eingepreßt oder mit Schrauben befestigt wird, thut man daher besser, einen schlecht gegossenen Zylinder zu verwerfen, da der Verlust nicht sehr groß ist.

Die Form des Zylinders richtet sich theils nach dem Verhältniß zwischen Durchmesser und Hub, theils nach der Verbindung mit dem Fundament und den übrigen Theilen der Maschine, theils nach der Steuerung. Während man größeren Betriebsmaschinen einen Hub von etwa der doppelten Größe des Kolbendurchmessers giebt und in einzelnen Fällen sogar bis zum dreifachen Durchmesser geht, nimmt man kurzen Hub, bis zu einfachem Durchmesser, wenn die Maschine eine ungewöhnlich große Zahl von Umdrehungen machen soll. Diese sogenannten Schnellläufer haben für Zuckerfabriken keine Vortheile.

Auch der Dampfmantel kann als ein entschiedenes Erforderniß der Zuckerfabrik-Dampfmaschine nicht bezeichnet werden, da, wie wir sahen, der Dampf hier verhältnißmäßig billig ist, die erzielbare Ersparniß, also dem höheren Maschinenpreis gegenüber nicht sehr ins Gewicht fällt. Eine gute Umhüllung mit schlechten Wärmeleitern oder wenigstens ruhender Luftschicht unter Blechmantel sollte stets vorhanden sein. An den tiefsten Stellen der beiden Zylinderenden müssen Hähne zur Abführung von Wasser angebracht sein, welches sich im Zylinder kondensirt, auch sind in der Höhe der Achse oder darüber Bohrungen zur Anbringung von Indikatoren zur Untersuchung der Wirkung des Dampfes erforderlich.

Der Dampfkolben enthält in der Regel zwei gußeiserne Dichtungsringe, welche entweder durch eigene Federkraft oder durch besondere Federn gegen die Zylinderfläche gedrückt werden. Da jeder der beiden Ringe an einer Stelle gespalten sein muß, so werden dieselben so gegeneinander gedreht, daß die Fugen nicht zusammen stoßen, da sonst der Dampf an dieser Stelle

durchblasen könnte. Damit sich die Ringe nicht gegen einander verdrehen, ist es zweckmäßig, diese Lage durch einen Stift zu sichern, jedoch so, daß die Ringe noch eine gleichzeitige Drehung ausführen können, da andernfalls durch die Ringsfuge infolge der ungleichmäßigen Abnutzung Längsrinnen im Zylinder entstehen können. Empfehlenswerth ist die Kolbenkonstruktion, bei welcher noch ein dritter Ring von der doppelten Breite der Dichtungsringe hinter denselben liegt, der durch eigene Federkraft nach außen gepreßt wird.

X. Die Steuerung.

Wie schon erwähnt, hat die Steuerung die Aufgabe, den Dampf abwechselnd im rechten Zeitpunkte zu und ab zuführen.

Die Zuführung beginnt kurz vor dem Kolbenwechsel und dauert bis zum Beginn der Expansion. Die Abführung beginnt kurz vor dem entgegengesetzten Kolbenwechsel und dauert bis zum Beginn der Kompression. Sowohl die Voreinströmung, wie die Vorausströmung muß um so stärker sein, je größer die Kolbengeschwindigkeit der Maschine ist. Sehr wichtig ist es ferner, daß die Kanäle möglichst schnell geöffnet werden, damit einerseits während der Füllung möglichst volle Kesselspannung auf den Kolben wirkt, und damit andererseits der Gegendruck des Dampfes beim Kolbenrückgang rasch entfernt, die Gegenkraft also möglichst klein wird. Endlich muß der Abschluß des Dampfes bei Beginn der Expansion schnell erfolgen, damit nicht im Indikatorgramm statt der scharfen Ecke bei Figur 72 eine Abrundung entsteht, welcher ein Arbeitsverlust entsprechen würde.

Je vollkommener die Steuerung ist, um so besser wird überhaupt das wirkliche, vom Indikator selbst gezeichnete Diagramm mit dem theoretischen (Figur 72 oder 73) übereinstimmen. Damit sind jedoch die Kennzeichen einer guten Steuerung noch nicht erschöpft. Allgemein muß man verlangen, daß die Schieber, Ventile oder Hähne nach dem Abschluß keinen Dampf mehr durchlassen, daß sie möglichst wenig Arbeit zu ihrer Bewegung erfordern, daß sie sich wenig und gleichmäßig abnutzen und daß sie leicht wieder nachgearbeitet werden können.

Bei sehr vielen Maschinen wird die Steuerung nebenbei benutzt, um die Geschwindigkeit zu regeln, indem je nach Maassgabe der stärkeren oder geringeren Belastung der Maschine die Füllung und damit die Stärke der indizirten Hubarbeit durch den Regulator verändert wird.

Die einfachste Steuerung ist diejenige mit Muschelschieber und exzentrischer Scheibe, kurz Exzenter genannt. Letzteres besteht, wie Fig. 75 zeigt, aus einer kreisförmigen Scheibe a, welche mittelfst Keil so auf der Welle c befestigt ist, daß die Scheibenmitte um ein gewisses Stück, genannt

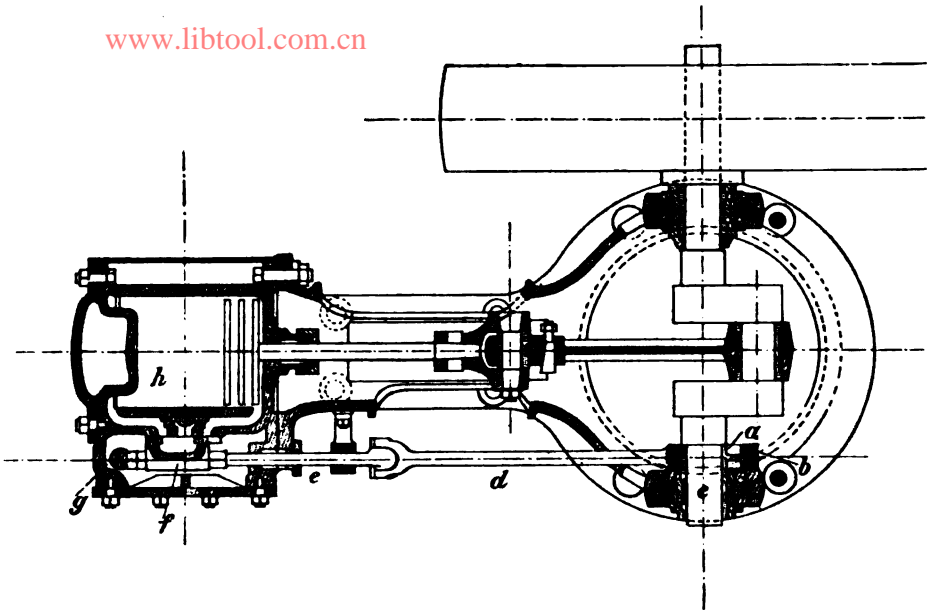


Fig. 75.

Exzentrizität, von der Wellenmitte entfernt ist und sonach bei der Drehung der Welle einen Kreis beschreibt. Hierdurch wird der die Scheibe drehbar umschließende Exzentering b, die Exzenterstange d und der durch die Stange e angeschlossene Schieber f in Richtung der Zylinderachse hin und her bewegt, wodurch der Dampf bald links bald rechts aus dem mit dem Dampfkessel verbundenen Schieberkasten g in den Zylinder h treten, der Abdampf aber in den Hohlraum des Schiebers und von hier nach dem Auslassrohr gelangen kann.

Zur Darstellung des Bewegungsgesetzes für die Schieberbewegung bedient man sich in der Maschinenlehre der sogenannten Schieberdiagramme, welche von Müller, Zeuner, Reuleaux und anderen ausgebildet wurden. Hier möge das Müller'sche Diagramm seiner Klarheit und Einfachheit wegen benutzt werden.

In Figur 76 stelle OK die Lage der Maschinenkurbel im linken Todpunkt dar. G sei der Kreuzkopfszapfen oder Gleitzapfen in dieser Stellung, sonach KG die Länge der Pleuelstange. Theilen wir den Durchmesser KOK^1 in 10 gleiche Theile und ziehen durch die Theilpunkte Kreise mit KG als Halbmesser, so schneiden diese Kreise den Kurbelkreis in den Punkten 1, 2, 3 9 oberhalb und in den Punkten I, II, III

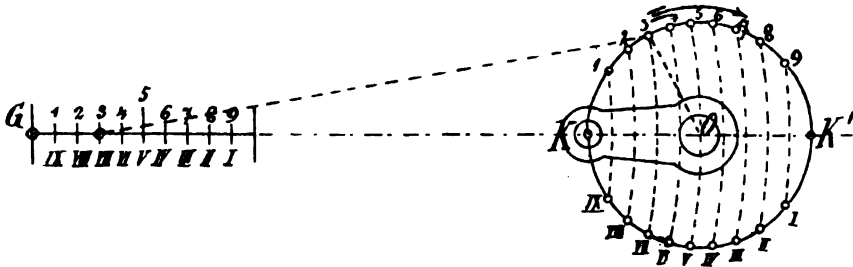


Fig. 76.

IX unterhalb des Durchmessers KK' , welche diejenigen Kurbelstellungen bezeichnen, in denen der Kurbelzapfen sich befindet, wenn bei der Drehung im Sinne des Pfeiles der Kolben das erste, zweite, dritte u. Zehntel seines Weges zurückgelegt hat. Je länger die Pleuellstange im Verhältniß zur Kurbel ist, um so mehr nähern sich die Kreisbogen einer senkrechten Geraden.

Um die Kurbellage OK , in welcher Pleuellstange und Kurbel einen gestreckten Winkel $= 180^\circ$ einschließen, unabhängig von der zufälligen Darstellung auf dem Papier bezeichnen zu können, wollen wir sie die gestreckte Todtlage oder kurz Strecklage nennen, die um 180° davon verschiedene, bei welcher sich die beiden Theile überdecken, aber Decklage. Diese Bezeichnungen sollen auch für die gleichzeitigen Lagen anderer Maschinentheile benützt werden, sodasß also jeder Theil sich in der Strecklage befindet, wenn die Maschine in dem entsprechenden Todtpunkt steht. Die Ziffernfolge 1, 2, 3 . . . u. s. f. wollen wir Kolbenweg-Theilung des Kurbelkreises nennen.

In Figur 77, welche die Kurbel in der vierfachen Größe von Figur 76 zeigt, sei nun weiter E die Strecklage des Exzenter-Mittelpunktes, d. i. die Lage dieses Punktes, während sich die Kurbel in der Strecklage befindet. Auf dem durch E gehenden Kreis findet sich dieselbe Theilung wieder wie in Figur 76 auf dem Kurbelkreis. Wir nennen sie Kolbenwegtheilung des Exzenterkreises. Wie die Kolbenwegtheilung des Kurbelkreises von der Strecklage der Kurbel, so geht die entsprechende Theilung des Exzenterkreises von der Strecklage des Exzentermittelpunktes als Nullpunkt aus; die beiden Theilungen sind also um denselben Winkel gegen einander verdreht, welchen die Kurbel mit der Exzentrizität bildet, d. i. 90° plus einen spitzen Winkel, den man Voreilwinkel nennt. Man wird nun leicht bemerken, daß die Lage des Punktes E gegenüber der Mittellinie MM einen Anhalt für die Beurtheilung der jeweiligen Stellung des Schiebers giebt, der mit E durch

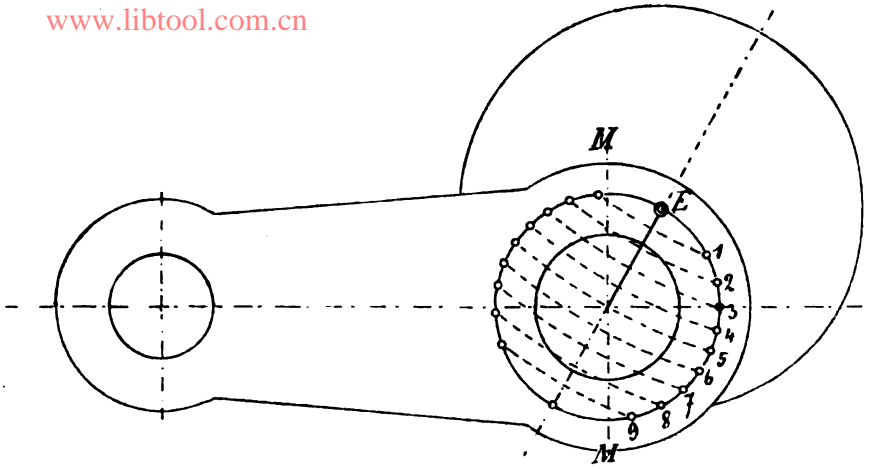


Fig. 77.

eine feste Stange verbunden gedacht werden kann. Liegt nämlich der Exzentermittelpunkt in MM , so wird sich der Schieber in seiner Mittelstellung befinden, während bei jeder anderen Lage die Entfernung von MM nach links oder rechts gleichzeitig mit großer Annäherung*) den Abstand des Schiebers aus seiner Mittelstellung bedeutet. Mit Hilfe der Kolbenwegtheilung des Exzenterkreises kann man nun sogleich sehen, in welchen Lagen sich der Schieber bei den verschiedenen Zehnteln des Kolbenweges befindet. Für die Beurtheilung der Wirkung des Schiebers ist natürlich die jeweilige Stellung der sogenannten abschließenden Kanten gegenüber den ruhenden Kanten der Kanäle im Schieberspiegel von besonderer Wichtigkeit. In Figur 78 ist deshalb unter jede der abschließenden Kanten ein Exzenterkreis mit Kolbenwegtheilung so gezeichnet, daß der Kreismittelpunkt unter der Mittelstellung der betreffenden Kante liegt. Verfolgt man zunächst den zur linken Außenkante gehörigen Kreis, so bemerkt man, daß im Punkte E , d. i. in der Strecklage der Maschine, die Kanalkanten sich bereits etwas von einander entfernt und den Kanal um eine Spaltbreite geöffnet haben, welche man lineare Voreilung oder Voröffnung nennt. In dieser Stellung ist der Schieber noch punktiert eingezeichnet und erleichtert im Hinblick auf den im Grundriß gezeichneten Schieberspiegel die Vorstellung. Die Kanal-Öffnung wächst bis zum Punkte a , in welchem der Kanal ganz geöffnet ist, bleibt bis zum

*) Ganz genau deshalb nicht, weil die Exzenterstange wohl im Verhältnis zur Exzentrizität ziemlich lang, jedoch nicht unendlich lang ist.

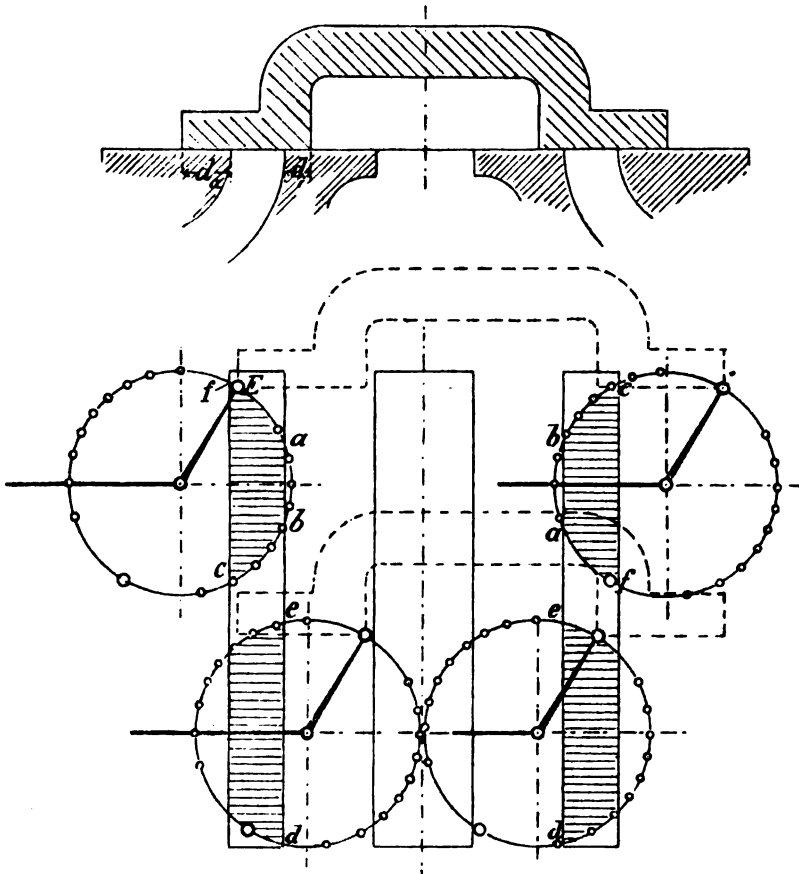


Fig. 78.

Punkte b unverändert, nimmt dann wieder ab und verschwindet im Punkt c. In dieser Stellung beginnt die Expansion, welche sich bis zum Beginn der Ausströmung fortsetzt.

Dieser Moment kennzeichnet sich auf dem zur linken Innenkante gehörigen Kreis als Durchschnittspunkt d zwischen dem Kreis und der Kanalkante und erfolgt nach Ausweis der Kolbenwegtheilung kurz vor Ende des Kolbenweges. Derselbe Kreis zeigt sodann den Kanal nach der Muschel zu geöffnet, auch während des Kolbenrückganges bis zum Punkt e, wo der zweite Schnitt zwischen Kreis und Kanalkante den Abschluß des Ausström-

lanales und damit den Beginn der Kompression anzeigt. Diese dauert nun bis zum Beginn der Einströmung, welche an dem ersten Kreis in Punkt f kurz vor der Strecklage als Schnitt zwischen Kreis und Kanalkante ersichtlich ist, und damit ist die Reihenfolge der bemerkenswerthen Stellungen beendet. Ebenso wie für den linken Kanal die linken Kreise, so zeigen für den rechten Kanal die rechten Kreise den Verlauf der Steuerung, und entsprechende Punkte sind mit gleichen Buchstaben bezeichnet. Vergleicht man aber die Wirkung auf beiden Seiten, so zeigen sich nicht unerhebliche Unterschiede. Insbesondere bemerkt man, daß rechts die Expansion nach dem achten Zehntel, links dagegen zwischen dem siebenten und achten Zehntel des Kolbenweges beginnt. Auch die Kompression ist verschieden. Diese Ungleichmäßigkeiten sind um so geringer, je länger die Pleuelstange verhältnismäßig ist; man kann sie aber bei Maschinen mit einfachem Schieber nicht vollständig vermeiden.

Während die Exzentrizität senkrecht, der Schieber also in seiner Mittelstellung steht, sind beide Kanäle sowohl für Ein- wie für Ausströmung geschlossen. Das Maas, um welches sich der Schieber aus der Mittelstellung bewegen muß bis zum Beginn der Einströmung oder Ausströmung, nennt man äußere, bezw. innere Deckung. Zu Figur 78 sind diese Längen mit d_2 und d_1 bezeichnet. Je größer der Boreiwinkel ist, um so größer müssen die Deckungen sein, und um so größer werden auch die Expansions- und Kompressionswege.

Eine Füllung, welche man noch ganz ohne Schwierigkeit mit einem einfachen Nuschelschieber erreichen kann, ist $1/2$. Geht man weiter, z. B. bis $1/3$, so wird entweder die Kompression unerwünscht groß, oder die Vorausströmung zu stark; auch wird wegen der großen Deckungen und Schieberwege der Arbeitsaufwand zur Bewegung der Schieber so bedeutend, daß diese Steuerung dann nicht mehr zweckmäßig genannt werden kann.

Für kleinere Füllungen ist daher die Anwendung von 2 Schiebern zweckmäßiger, welche sich in die verschiedenen Aufgaben theilen, meist in der Weise, daß der eine Schieber den Ein- und Auslaß des Dampfes, ein zweiter die Unterbrechung des Einlasses bei Beginn der Expansion bewirkt. Man nennt den ersten Schieber Grund- oder Vertheilungsschieber, den zweiten Expansionschieber.

Eine der gebräuchlichsten Steuerungen dieser Art ist diejenige von F. J. Meyer in Mülhausen i. E., bekannt unter den Namen der Meyer'schen Steuerung. Eine Abbildung derselben zeigt Figur 79.

Grundschieber a und Expansionschieber b erhalten ihre Bewegung durch je ein Exzenter. Das Grundschieber-Exzenter geht der Kurbel um etwa $90 + 20^\circ$ bis $90 + 30^\circ$, das Expansionsexzenter dem Grundexzenter

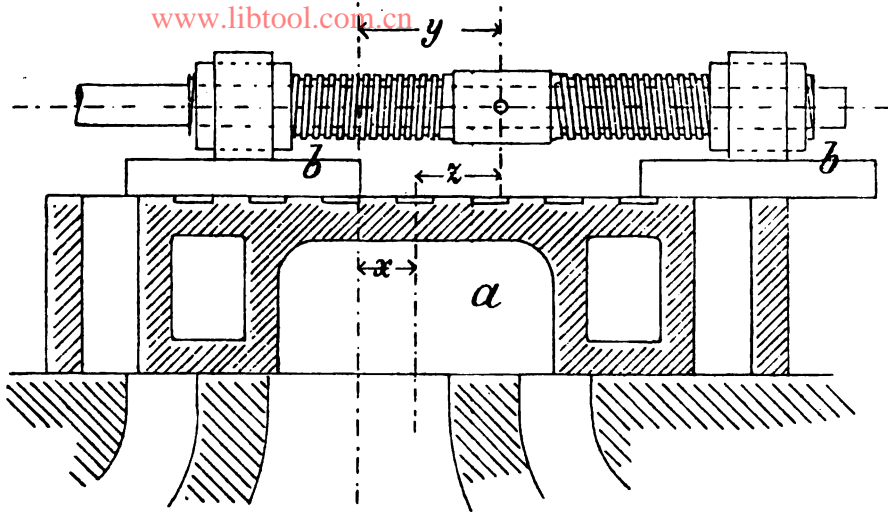


Fig. 79.

um etwa 50 bis 60° voraus. Der Grundschieber gleicht in dem mittleren Theil zwischen den Kanälen ganz dem gewöhnlichen Muschelschieber und wirkt auch wie dieser. Die Kanäle im Grundschieber können jedoch durch die beiden Platten des Expansionschiebers gedeckt werden, sodaß die Dampfeinströmung hierdurch früher unterbrochen werden kann, als es durch den Grundschieber geschieht. Der Zeitpunkt, in welchem ein Kanal gedeckt und damit die Expansion eingeleitet wird, hängt weiter noch von der Entfernung der beiden Platten ab, welche sich wie ersichtlich durch Drehung der Expansionschieberstange verändern läßt, sofern diese mit den Platten durch Schrauben mit rechtem bezw. linkem Gewinde verbunden ist. Ist die Entfernung der Platten groß, so findet der Abschluß früher statt, als wenn sie klein ist. Die Drehung der Stange kann von außen während des Ganges der Maschine mit einem Handrädchen vorgenommen werden, sodaß man jederzeit auch bei veränderlicher Beanspruchung die Maschinenleistung durch den Expansionsgrad passend einstellen kann. Zur Darstellung des Bewegungszusammenhanges können wir uns auch hier des Müller'schen Diagrammes bedienen, doch dürfen wir uns dabei auf die Veranschaulichung der Bewegung des Expansionschiebers gegenüber dem Grundschieber beschränken, da die Grundschieberbewegung gegenüber der einfachen Schiebersteuerung nichts Neues bietet.

Figur 80 dargestellt. Er wird natürlich mit derselben Geschwindigkeit wie die ganze Figur durchlaufen, und es wird daher der Halbmesser GE bei Ausführung der nach einander folgenden Zehntel des Kolbenweges sich um dieselben Winkel von seiner Strecklage entfernen wie die Kurbel.

Sonach giebt die auf diesem Kreise angebrachte und von E ausgehende Kolbenwegtheilung das Mittel, für jede Kolbenstellung die Richtung der Linie GE als $G1$, $G2$, $G3$ u., sowie durch die Abstände der Punkte $1, 2, 3 \dots$ von NN die Entfernung der Expansionschieberkante von der oberen Grundschieberkante d. h. im Allgemeinen die Kanalöffnung zu finden. Denken wir uns die abschließende Kante NN durch G gelegt, so ist die Kanalöffnung gleich z , und man sieht, daß die Expansion beginnt, wenn $z = 0$ wird, die Kante also in die Mittelstellung kommt. Soll der Abschluß eher erfolgen, so muß die abschließende Kante NN schon in der Strecklage weiter rechts liegen. Je nachdem also die Füllung in $1, 2, 3, 4 \dots$ zu Ende sein soll, ziehen wir die Durchlaßkanal-Kante NN durch den Theilpunkt $1, 2, 3, 4$ u. In Wirklichkeit würde dies eine Veränderung der Lage der oberen Kanten des Grundschiebers gegenüber der Mittellinie dieses Schiebers bedeuten, was sich ohne gleichzeitige Aenderung der unteren Kanten nicht leicht ausführen läßt. Man erreicht nun dasselbe, indem man den Expansionschieber entgegengesetzt ändert, und es können die Aenderungsbeträge aus dem Diagramm entnommen werden. Während die Punkte $1, 2, 3$ u. die Verschiebungsmaße für die eine Schieberplatte geben, finden sich diese für die andere Platte durch die Punkte des anderen Halbkreises. Auch hier zeigt sich wie beim einfachen Schieber, daß die Platten nicht ganz symmetrisch gegen eine Mittellinie verschoben werden dürfen, wenn die beiderseitigen Füllungen genau gleich werden sollen. In der Regel begnügt man sich damit, die gleiche Füllung für den am meisten zu gebrauchenden Zustand, die Normalleistung der Maschine, einzustellen und für größere oder kleinere Leistungen geringe Verschiedenheiten in den Füllungen zu gestatten. Andernfalles könnte nicht die sehr einfache Schraube zur Verstellung dienen. Die Meyer'sche Steuerung hat den großen Vorzug, daß sie eine Veränderung der Füllung innerhalb sehr weiter Grenzen, wenn nöthig von $0,0$ bis $0,9$, gestattet und daß sie leicht im ordnungsmäßigen Zustand erhalten werden kann, da sie nur aus Flachschiebern besteht. Ihr einziger Mangel besteht darin, daß sie nicht so leicht durch einen Geschwindigkeitsregulator verstellt werden kann wie manche neuere Steuerungen. Für die Zuckerrfabriken ist sie für solche Maschinen sehr zu empfehlen, bei denen die Kraft sich nicht plötzlich wesentlich ändert.

Aus der Meyer'schen Steuerung haben sich manche Abarten entwickelt,

bei denen die Einwirkung des Regulators auf den Füllungsgrad leichter vor sich geht. Hierher gehören besonders die Rider-Steuerung, die Guhrauer-Steuerung, sowie die Meyer-Steuerung mit getrennten Stangen für den Antrieb der Expansionsplatten.

Der ursprünglichen Konstruktion am ähnlichsten ist die Guhrauer-Steuerung. Denkt man sich das Rechts- und Linksgewinde, durch welches die Expansionschieberstange mit den beiden Schieberplatten verbunden ist, wesentlich gröber und steiler ausgeführt, so wird bereits eine Teilumdrehung der Stange zur Ausführung der ganzen Verstellung genügen. Um den hierbei stattfindenden Widerstand möglichst zu vermindern, ist ferner in dem Gewinde ein beträchtlicher tochter Gang (Spielraum) eingeführt, so daß jedesmal nach der Rückkehr der Schieberstange diese während eines gewissen Zeittheiles von dem Widerstand des Schiebers völlig befreit ist und daher durch den Regulator leicht gedreht werden kann. Begreiflicher Weise muß diese Antriebsart ein merkbares Klappern in den Anschlagsmomenten hervorrufen und deshalb ist die Steuerung für große Geschwindigkeiten nicht geeignet.

Anders die Rider-Steuerung. Hier steht der Expansionschieber mit der Schieberstange in fester Verbindung und ist, wie Figur 81 zeigt, selbst

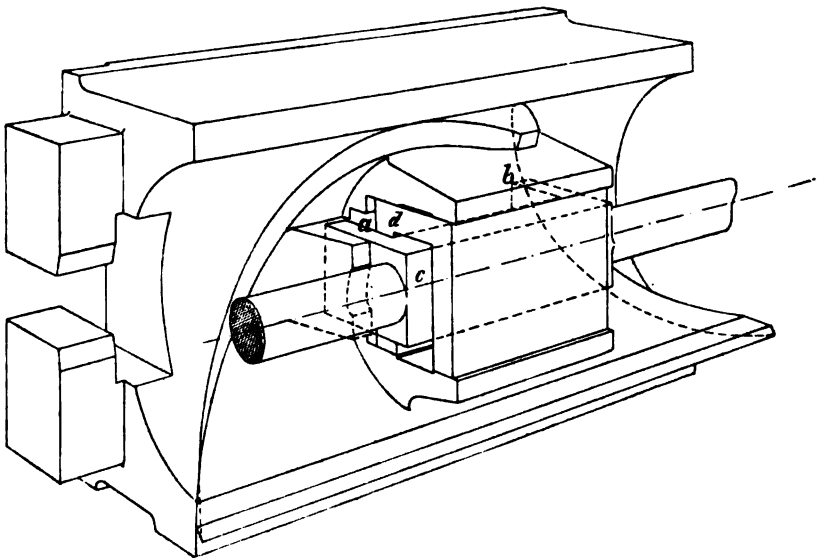


Fig. 81.

als schraubenförmig begrenzter Zylinder gestaltet, der sich auf der hohlzylindrischen Oberfläche des Grundschiebers Figur 82 sowohl mit den eben-

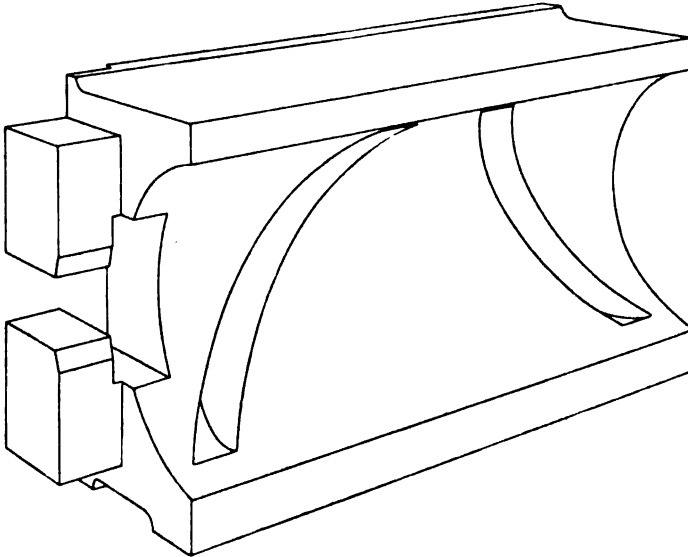


Fig. 82.

falls schraubenförmigen Kanalmündungen in der Achsenrichtung verschieben, als auch drehen kann. Die Drehung und damit die Veränderung des Füllungsgrades erfolgt vom Regulator aus, die Verschiebung durch das Expansionszentrum. Diese Steuerung ist seit nahezu 20 Jahren bekannt und hat sich besonders während der letzten 10 Jahre sehr verbreitet. Die ganze Anordnung bringt es mit sich, daß schon die geringste Geschwindigkeitsänderung eine Verstellung zur Folge hat, welche um so schneller vor sich geht, je mehr Energie der Regulator zu entwickeln vermag. Die Doppelbewegung des Expansionschiebers hat eine sehr gleichmäßige Abnutzung zur Folge, so daß die Gleitfläche gut dicht hält und selten Nacharbeit nöthig wird. Die hier vorgesehene Verbindung zwischen der Expansionschieberstange und dem Schieber selbst ist eine Konstruktion des Ingenieurs Geißler der Maschinenfabrik J. S. Fries in Frankfurt a. M. Durch die Vorsprünge a und b nimmt die Schieberstange den Schieber in der Längsrichtung mit, während das rechteckige Stück c mittelst des Parallelstückes d die Drehung überträgt, doch so, daß der Schieber nicht ganz genau dieselbe geometrische Achse haben muß, wie die Schieberstange, daß also auch bei eintretender Abnutzung keine gegenseitige Störung der beiden Theile zu befürchten ist. Der kleine Mechanis-

mus ist eine besondere Ausführungsweise der bekannten Oldham'schen Kupplung für nicht konaxiale Wellen.

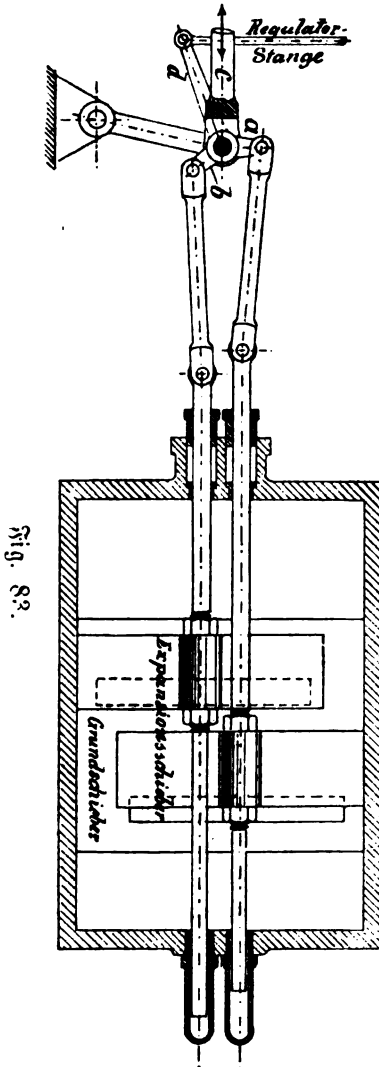


Fig. 83.

Eine Darstellung der Steuerung mit getrenntem Antrieb der beiden Expansionsplatten zeigt Figur 83 und zwar in der Ausbildung, daß die beiderseitigen Füllungen sehr nahe gleich groß bleiben auch bei beträchtlicher Abweichung von der normalen Füllung. Erreicht wird dies durch die Stellung der beiden Antriebhebel a und b, welche einen stumpfen Winkel mit einander bilden. Das Expansionszentrum wirkt durch die Stange c zunächst auf die Achse dieses Doppelhebels, und wenn diese sich nicht drehen könnte, so würden beide Schieberplatten genau dieselbe Bewegung erhalten. Durch den Winkelarm d wird jedoch durch Einfluß des Regulators auch das Hebelpaar a, b mehr oder weniger gedreht, wodurch die Schieberplatten nach innen oder nach außen bewegt werden. Diese Bewegungen würden gleich groß ausfallen wie bei der Meyer'schen Steuerung, wenn die beiden Hebel um 180° gestellt wären. Durch die Annahme eines kleineren Winkels kann man das Bewegungsgesetz in solcher Weise ändern, daß hierdurch die von der endlichen Länge der Pleuellstange herrührenden Ungleichmäßigkeiten nahezu ausgeglichen werden. —

Obgleich für die Dampfmaschinen der Zuckerfabriken kaum ein hinreichender Grund vorhanden ist, die sehr bewährten

Schiebersteuerungen durch Hahn- oder Ventilsteuerungen zu ersetzen, so können wir diese Steuerungsarten doch nicht ganz übergehen.

Die Hahn- oder richtiger Drehschiebersteuerungen sind durch den Amerikaner Corliss eingeführt worden und sind für Dampfmaschinen erster Klasse,

d. h. solche mit denkbar geringstem Dampfverbrauch, auch heute noch viel in Gebrauch, besonders in England, Belgien und Frankreich, während sie in Deutschland und der Schweiz, zum Theil auch in Oesterreich, durch die Ventilsteuerungen verdrängt worden sind oder noch werden. Corliß ersetzte die im Schieberpiegel der gewöhnlichen Schiebermaschine mündenden Kanäle durch 4 kurze Kanäle, 2 Einlaß- und 2 Auslaßkanäle, von denen jeder einen besonderen Drehschieber als Abschluß erhielt. So gelang es, die schädlichen Räume wesentlich zu vermindern und die gegenseitig unabhängigen Drehschieber genau so zu bewegen, wie es zur vollkommenen Steuerung der Maschine nothwendig war. Gleichzeitig wurde ein überaus einfaches und vollkommenes Mittel gefunden, den Regulator auf den Füllungsgrad wirken zu lassen. Dasselbe bewährte sich so gut, daß es sehr bald auch für andere Abschlußmittel, Flachschieber und Ventile, zur Verwendung kam und sogar zur kennzeichnenden Eigenthümlichkeit einer besonderen Klasse von Steuerungen wurde, die man, zumeist der Kellame wegen, als Präzisions-Steuerungen bezeichnete.

Nach einer besonderen Ausführung der Corliß-Maschine, welche in Deutschland große Verbreitung gefunden hat, ist das soeben erwähnte Mittel in Figur 84 schematisch dargestellt.

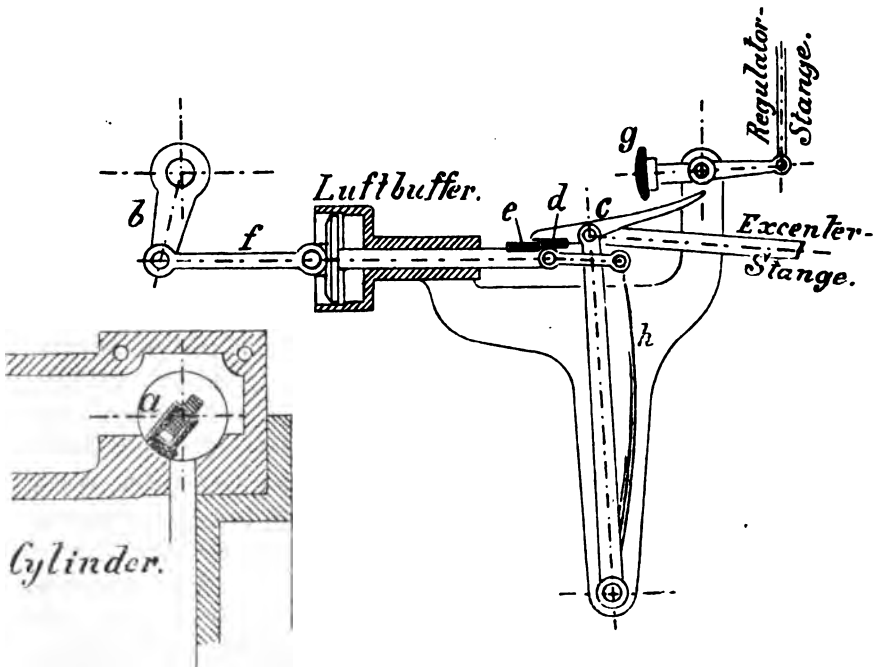


Fig. 84.

Während a den einen Drehschieber für den Dampf einlaß in geöffnetem Zustand im Schnitt zeigt, stellt b den auf der Achse der flachen Drehspindel außerhalb des Dampfraumes sitzenden Hebel dar, durch welchen die Bewegung des Schiebers erfolgt. Dieser empfängt seinen Antrieb von der Erzenterstange aus durch die Klinke c mit der daran befestigten Stahlplatte d, welche auf die an der Bufferstange sitzende Stahlplatte e wirkt, wenn sie sich nach links bewegt. Hierbei wird durch die Koppel f der Hebel b mitgenommen und der Schieber a geöffnet. In einer bestimmten Stellung trifft jedoch die Klinke c an die vom Regulator eingestellte Auslöseplatte g, wodurch die Stahlplatte d gehoben und die fernere Druckübertragung auf den Hebel b unmöglich gemacht wird. In demselben Augenblick wird der Hebel durch die Kraft der vorher gespannten Feder h nach rechts bewegt und damit der Schieber geschlossen, wobei der Luftbuffer die wurffartig bewegten Massen nach erfolgtem Kanalschluß stoßfrei zur Ruhe bringt.

Allgemein ausgedrückt besteht die Eigenthümlichkeit der Corliß-Steuerung in dem Zusammenwirken zweier Mechanismen, von denen der eine zwangsläufig das Öffnen, der andere wurffartig oder freigängig den Schluß des Einlaßkanales bewirkt, sowie einer Auslösung, welche je nach Stellung des Regulators früher oder später den Schlußmechanismus zur Wirkung kommen läßt und hierdurch den Füllungsgrad bestimmt.

Es giebt nun außerordentlich viele mehr oder weniger geschickte Möglichkeiten, die eben geschilderte Ablösung zwischen der zwangsläufigen Öffnung und der freigängigen Schlußbewegung durch äußerlich verschiedene Mittel zu bewirken. So ist auch die Zahl der verschieden benannten und patentirt gewordenen Corliß-Nachahmungen eine beträchtliche.

Die Bewegung der Auslaßschieber macht weniger Schwierigkeiten, da hier im Allgemeinen keine Veränderung erforderlich ist. Man kann daher die Hebel der Drehschieber mit einer Erzenterstange in direkte oder wenigstens in unveränderlich durch andere Zwischentheile vermittelte Verbindung bringen.

Die heutigen Ventilmaschinen danken ihre zum Theil sehr vollendete Durchbildung besonders der Firma Gebrüder Sulzer in Winterthur. Als Abschlußmittel dienen hier sogenannte Doppelsitzventile, welche durch Federn auf ihren Sitz gedrückt und durch Erzenter, Stangen und Hebel gehoben werden. Wie bei der Corliß-Maschine sind 2 Einström- und 2 Auslaßventile vorhanden, erstere über, letztere unter dem Zylinder. Die Doppelsitzventile bedürfen nur geringer Kraft zum Heben und können nicht durch den Druck des darunter befindlichen Dampfes gehoben werden. Sie geben daher selbst dann nicht nach, wenn beträchtliche Wassermengen im Zylinder eingeschlossen sind, welche in den schädlichen Räumen bis zur Absprennung

des Zylinderdeckels gedrückt werden. Um dergleichen Uebelstände zu vermeiden, sind daher bei Ventilmaschinen kleine mit Feder belastete Sicherheitsventile nötig, welche bei Schiebersteuerungen entbehrt werden können, da die Schieber meist so angeordnet sind, daß sie sich unter zu starkem Druck etwas heben und das Wasser herauslassen.

Die Ventile sind meist aus Gußeisen. Auch der Ventilstift ist aus demselben Metall, damit nicht infolge verschiedener Wärmedehnung Undichtigkeiten entstehen. Der Bewegungsmechanismus der Sulzer'schen Ventilsteuering ist aus Figur 85 bis 87 ersichtlich. A ist die sogenannte Steuerwelle, welche mit derselben Geschwindigkeit bewegt wird, wie die Hauptwelle der Maschine. Auf der Steuerwelle sitzen zwei exzentrische Scheiben B, von denen nur eine sichtbar ist. Die Exzenterstange ist am oberen Endpunkte durch die Schwinge C auf einem Kreisbogen geführt und trägt um den Endzapfen drehbar eine winkelförmige Drucklinke D, welche mit dem unteren Ende auf den Ventilhebel E wirkt, während das linke Ende durch die Zugstange F bewegt wird. Man bemerkt leicht, daß ein Zug an dieser Stange den Winkelhebel D soweit drehen kann, daß die Drucklinke den Ventilhebel nicht mehr mitnimmt, das Einströmventil sich also schließt. Dieser Zug wird ebenfalls vom Exzenter durch die Stange F und den Winkelhebel G vollführt, jedoch, da der Punkt 1 des Winkelhebels nicht fest, sondern selbst wieder durch die kleine Schwinge H beweglich ist, um so früher, je weiter diese Schwinge nach rechts gedreht wird, was durch den nicht gezeichneten Regulator geschieht.

Die Bewegung der Auslaßventile erfolgt durch Hebedaumen I, welche in Fig. 87 besonders dargestellt sind. Während des Ganges ist diese Bewegung nicht veränderlich, doch ist die Einrichtung getroffen, die Hubdauer behufs verschiedener Einstellung der Kompression verändern zu können. Hierzu dient eine Nebenscheibe, welche ebenso geformt ist wie der Hebedaumen und mit diesem nach erfolgter Einstellung durch eine Schraube fest verbunden wird (s. Fig. 86 und 87).

Die Sulzer'sche Ventilsteuering ist ebenfalls in der verschiedensten Abänderung zur Ausführung gelangt, jedoch durch andere Ventilsteuering bis jetzt noch nicht übertroffen worden. Es entspricht daher nicht dem Zweck dieses Buches, auf die zahlreichen Abänderungen hier näher einzugehen.

XI. Der Regulator.

Von dem Regulator ist schon mehrfach die Rede gewesen, und als bekannt kann daher gelten, daß der Regulator die Aufgabe hat, die Geschwindigkeit der Maschine zwischen bestimmten Grenzen zu halten, deren Unterschied von dem besonderen Betriebszweck abhängt. Ist n_2 die größte,

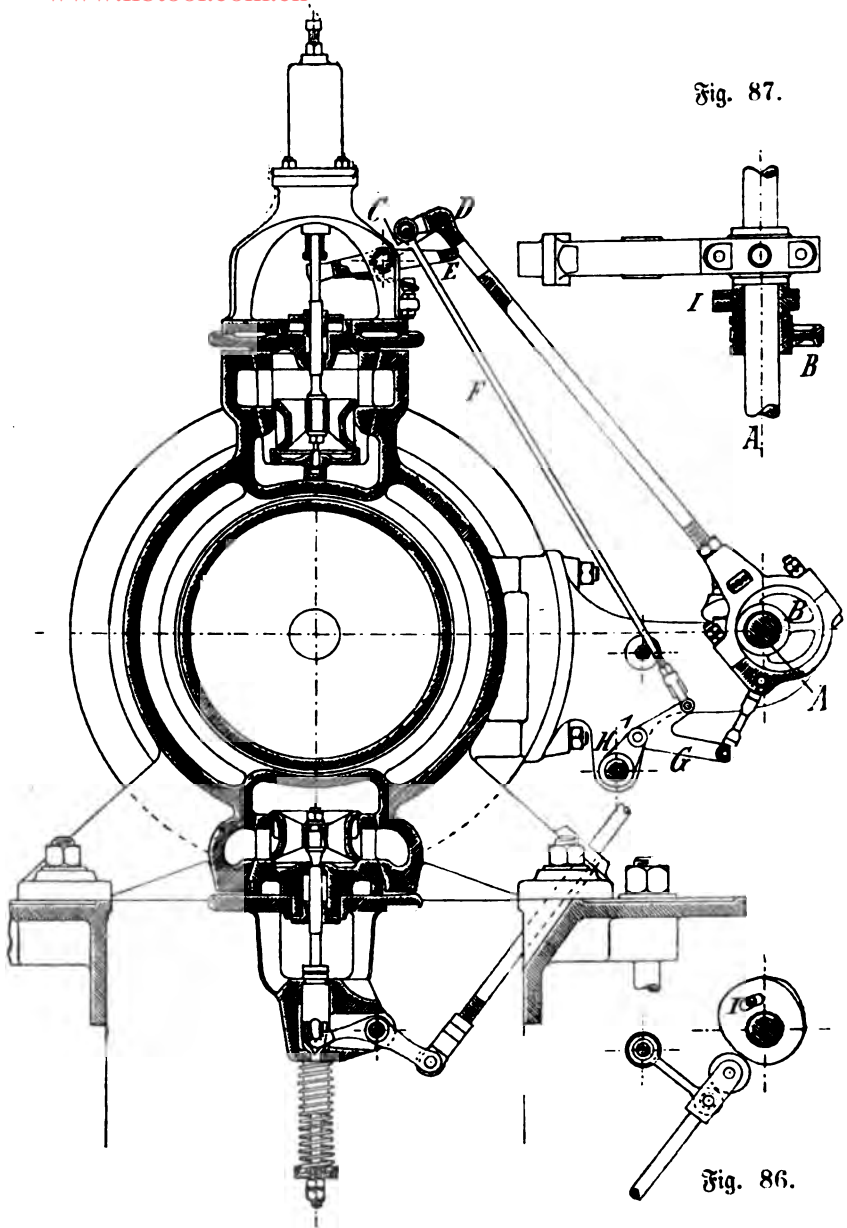


Fig. 87.

Fig. 85.

Fig. 86.

n_1 die kleinste Umlaufzahl in der Minute, so nennt man das Verhältniß der Differenz $n_2 - n_1$ zu dem Mittelwerth $\frac{n_1 + n_2}{2}$ den Ungleichförmigkeitsgrad. Bezeichnen wir dieselbe mit u , so ist

$$u = 2 \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1 + n_2}$$

Für sehr viele Fabrikationszweige braucht u nicht kleiner zu sein als 0,05, und auch für Zuckerfabriken ist in der Regel eine größere Gleichförmigkeit nicht erforderlich. Nur Maschinen für elektrische Beleuchtung müssen schärferen Anforderungen genügen, etwa $u = 0,01$ bis 0,02.

Die an Dampfmaschinen gebräuchlichen Regulatoren sind fast immer Zentrifugal- oder Schwungkugelregulatoren, deren Grundform von James Watt herrührt. Manche Fabriken wenden sogar den ursprünglichen Watt'schen Regulator noch heute an, und mit Recht, da man bei richtiger Abmessung dieselbe Wirkung damit erzielen kann wie mit neueren Konstruktionen. Die Wirkung aller Schwungregulatoren beruht auf der Abhängigkeit zwischen der Zentrifugal- oder Fliehkraft einer umlaufenden Masse, von der Drehgeschwindigkeit und von dem Abstand der Masse von der Achse.

Ist G das Gewicht einer Schwung-Kugel in kg,
 g die Beschleunigung der Schwere (9,81 m),
 r der Abstand des Kugelmittelpunktes von der Achse,
 n die Umlaufzahl in der Minute,

so ist die Fliehkraft

$$F = \left(\frac{\pi}{30} n\right)^2 \frac{G}{g} r = 0,001118 G r n^2 \text{ in kg}$$

Dieser Fliehkraft muß, damit Gleichgewicht besteht, eine ebenso große Kraft entgegenwirken, entweder die Kraft einer Feder oder eines Gewichtes. Die Größe dieser Kraft muß ebenfalls von r abhängig, für jeden Werth von r aber bestimmt sein.

Ist nun Gleichgewicht bei einer bestimmten Geschwindigkeit n eingetreten, so wird, wenn sich n hierauf ändert, das Gleichgewicht gestört, da mit n sich auch F ändert, die eben erwähnte Gegenkraft aber konstant bleiben. Infolge dessen sucht sich der Regulator in eine neue Gleichgewichtslage zu bewegen, welche, wenn überhaupt, nur bei einer andern Entfernung r von der Drehachse stattfinden kann. Die Kraft, mit welcher der Regulator dieser neuen Lage zustrebt, nennt man Energie. Je größer dieselbe ist, um so leichter wird der Regulator im Stande sein, die Einwirkung auf die Stenerung zu vollziehen, durch welche er weitere Beschleunigung verhindern oder die bereits eingetretene wieder aufheben soll.

www.libtool.com.cn

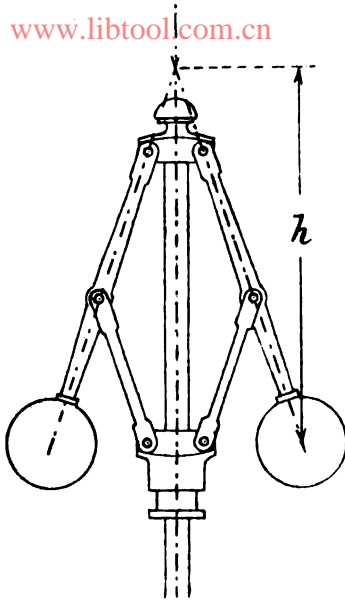


Fig. 88.

Ist z. B. $h_1 = 1,05 h_2$ so wird $u = 0,049$
 $h_1 = 1,1 h_2$ " " $u = 0,095$.

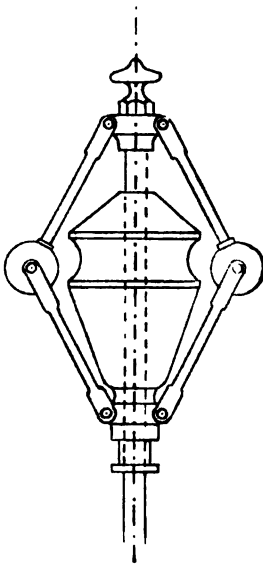


Fig. 89.

Der Zusammenhang soll an einigen Beispielen gezeigt werden. Fig. 88 zeigt den Watt'schen Regulator. Sieht man vom Gewicht der Stangen ab, so findet man die Umlaufzahl aus der einfachen Formel:

$$n = \sqrt{\frac{894}{h}}$$

wenn h das in Fig. 88 eingeschriebene Maaß in Millimeter bedeutet. Ist nun h_1 der größte mögliche Werth für h und h_2 der kleinste, so sind die entsprechenden Geschwindigkeiten

$$n_1 = \sqrt{\frac{894}{h_1}} \quad n_2 = \sqrt{\frac{894}{h_2}}$$

und sonach der Ungleichförmigkeitsgrad

$$u = 2 \frac{\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} - 1}{\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} + 1}$$

Man erkennt schon aus diesen Beispielen, daß noch viel kleinere Ungleichförmigkeiten durch den Watt'schen Regulator erreichbar sind, nur muß der Ausschlag klein oder die Armlänge recht groß genommen werden.

Im ersten Falle bleibt auch das Arbeitsvermögen des Regulators gering, im zweiten bekommt der Regulator unbequeme Verhältnisse. Diese beiden Umstände allein sind es, welche zur Konstruktion und Anwendung anderer Regulatorsysteme einen verständlichen Grund abgeben.

Recht einfach und zweckmäßig ist der Porter'sche Regulator Figur 89.

Auf die Beschreibung der sehr zahlreichen anderen Regulatorkonstruktionen kann hier nicht näher eingegangen werden. Nur im Allgemeinen sei noch erwähnt, daß neuerdings Federregulatoren

sehr in Aufnahme kommen, bei denen eine Feder der Zentrifugalkraft das Gleichgewicht hält, und daß diese Regulatoren auch häufig im Schwungrad der Maschine untergebracht werden.

Bei kleineren Maschinen findet man noch heute die früher allgemein übliche Einwirkung des Regulators auf die Drosselklappe, oder ein anderes Drosselventil, durch welches die Volldruckspannung gegenüber der Kesselspannung erniedrigt wird. Ist auch diese Art der Regulirung weniger vorteilhaft als die durch Aenderung der Füllung, so ist sie doch der großen Einfachheit wegen oft genug zu empfehlen, besonders, wenn die Veränderungen des Widerstandes nicht sehr groß sind, oder wenn von Zeit zu Zeit noch von Hand die Füllung verstellt wird, etwa bei der Meyer'schen Steuerung.

XII. Das Schwungrad.

Das Schwungrad ist auch ein Regulator für die Geschwindigkeit der Maschine, jedoch in besonderem Sinne. Die Wirkung des Dampfes durch den Kurbelmechanismus sowohl, als auch die Veränderung des Druckes bei der Expansion, veranlassen einen regelmäßig wiederkehrenden Wechsel der auf die Kurbel wirkenden Drehkraft, während in den meisten Fällen der zu überwindende Widerstand ein gleichbleibender ist. Infolge dessen wird die Triebkraft bald stärker, bald schwächer wirken als der Widerstand, und es ist ein Kraft-Speicher nöthig, welcher den Arbeitsüberschuß der stärkeren Wegtheile aufnimmt und bei den schwächeren zur Unterstützung verwendet. Ein solcher Kraftspeicher, eine Sparrasse für mechanische Arbeit ist das Schwungrad. Ist die Triebkraft zu groß, so beschleunigt es sich, ist sie zu klein, so verzögert es sich, und der Wechsel, der hierbei in seiner lebendigen Kraft eintritt, ist gleichen Werthes mit der vorübergehend zu- und abfließenden mechanischen Arbeit. Selbstverständlich wird auch hier die Geschwindigkeit zwischen engen Grenzen verbleiben müssen, und auch hier kann daher von einem Ungleichförmigkeitsgrade gesprochen werden, für welchen die Formel

$$u = 2 \frac{v_2 - v_1}{v_1 + v_2}$$

gilt, in welcher v_1 und v_2 die kleinste und größte Umfangsgeschwindigkeit des Schwungringes bedeutet.

Rechnet man weiter G das Gewicht des Schwungringes, r den sogenannten Trägheitshalbmesser, so ist die lebendige Kraft des Ringes allgemein $\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{2}$ und die Differenz der lebendigen Kraft von der größten zur kleinsten Geschwindigkeit genommen

$$A = \frac{G}{g} \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{G}{2g} (v_2 + v_1)(v_2 - v_1).$$

oder unter Benutzung der Gleichung für u :

$$A = \frac{G}{g} u \left(\frac{v_2 + v_1}{2} \right)^2.$$

Setzen wir das arithmetische Mittel von v_1 und v_2 gleich v , so folgt

$$A = \frac{G}{g} u v^2 \text{ in kgm,}$$

also das Schwungradgewicht

$$G = 9,81 \frac{A}{u v^2} \text{ in kg.}$$

Der hier vorkommende Ungleichförmigkeitsgrad u ist $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{100}$ je nach der Art des Betriebes. A ist namentlich vom Füllungsgrad abhängig und kann durch Rechnung oder durch Konstruktion gefunden werden. Der Werth wird durch die Trägheitswiderstände der hin und her gehenden Massen der Maschine beeinflusst und beträgt bei einzylindrigen Maschinen etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$ der Hubarbeit, also nach S. 303

$$A = 2000 \text{ bis } 3333 p_i o s,$$

bei Zwillingss- und Verbundmaschinen 0,1 der Hubarbeit und weniger. v kann äußersten Falles bis 30 m gesteigert werden, in der Regel wird jedoch v durch den aus räumlichen oder sonstigen Gründen gewählten Halbmesser des Schwungringes bedingt, dessen Größe etwa 2,5 s zu sein pflegt.

Unter dieser Annahme wird

$$v = \frac{\pi}{30} \cdot 2,5 s n = 0,26 s n$$

und

$$G = 228000 \text{ bis } 380000 \cdot \frac{p_i}{u} \frac{d}{s} \frac{d}{n^2}.$$

Diese Formel ermöglicht einen Ueberschlag, welcher für unsere Zwecke genügen muß, um so mehr, als sehr häufig für die Größe des Schwungrades noch ein anderer Grund bestimmend ist. Nicht selten giebt man dem Schwungrad deshalb ein besonders großes Gewicht, damit bei plötzlicher Aenderung des Widerstandes der Maschine der Regulator etwas Zeit behält, seine Aufgabe zu lösen. Das Schwungrad dient dann gewissermaßen dazu, die bei einer plötzlichen Belastungsänderung nie ganz vermeidbaren Geschwindigkeitswellen zu dämpfen. Besonders bei Verbundmaschinen vergeht eine längere Zeit als bei einfachen Maschinen, bis die Wirkung des Regulators auch im Niederdruckzylinder sich geltend macht, und

aus diesem Grunde werden denn nicht selten Schwungräder von derselben Größe wie bei einzylindrigen angewandt, obgleich bei den Verbundmaschinen A viel geringer ist als bei diesen.

Eine abweichende Berechnungsweise hat für Dampfpumpen oder ähnliche direkt wirkende Maschinen stattzufinden, bei denen auch in der Regel eine viel geringere Gleichförmigkeit des Ganges gefordert wird. Hierauf kann jedoch an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

XIII. Das Getriebe der Dampfmaschine.

Unter Getriebe verstehen wir hier die Gesamtheit aller diejenigen Theile, durch welche die Kraft des Dampfkolbens auf die Kurbelwelle übertragen wird. Als einzelne Theile sind hier hervorzuheben:

- Die Kolbenstange,
- Der Kreuzkopf und die Kreuzkopfführung,
- Die Pleuelstange,
- Die Kurbel nebst Welle und Wellenlagerung.

Die Kolbenstange wird meist aus Stahl hergestellt. Der Abnutzung widersteht am besten Flußstahl oder Tiegelgußstahl. Bei größeren Maschinen verlängert man die Kolbenstange nach rückwärts, läßt sie durch eine zweite Stopfbüchse im Zylinderdeckel austreten und erreicht so, daß der Kolben in zwei Stopfbüchsen getragen wird. Mit dem Kolben wird die Kolbenstange durch Konus und Schraube mit Mutter verbunden. Letztere muß sehr zuverlässig gesichert sein, damit nicht unbemerkt eine Lösung vor sich gehen kann. Die Rückwärtsverlängerung der Kolbenstange umschließt man am besten durch ein Schutzrohr, um Gefahr zu vermeiden. Mit dem Kreuzkopf wird die Kolbenstange meist durch Konus und Querkeil verbunden.

Der Kreuzkopf muß um so größere Gleitflächen erhalten, je größer die Geschwindigkeit der Maschine ist, damit nicht eine zu starke Erwärmung eintritt. Daß man zur Zeit die Führung für den Kreuzkopf bei den meisten Maschinen zylindrisch ausbohrt, ist nur eine vielleicht wieder verschwindende Mode, verursacht durch die leichtere Herstellung. Sachliche Vortheile vor ebenen Flächen haben die zylindrischen Gleitflächen nicht.

Die Pleuelstange besteht aus dem Schaft und zwei Lagertöpfen. Der Schaft ist rechteckig oder kreisförmig, auch wohl I-förmig im Querschnitt und besteht aus gutem Schmiedeeisen oder Stahl. Die Köpfe müssen der Abnutzung gegenüber nachstellbar sein. Da aber hierdurch eine geringe Verlängerung oder Verkürzung der Pleuelstange stattfindet, so treffen vorsorgliche Konstrukteure die Einrichtung, daß an dem einen Ende infolge der Nachstellung Verkürzung, am andern dagegen Verlängerung erfolgt, die

wirkliche Veränderung der Stangenlänge, welche zugleich auf die Todpunkte des Kolbens Einfluß hat, sonach nur die Differenz der Einzeländerungen ist.

Die Kurbel ist entweder eine Stirnkurbel, oder eine Wellenkröpfung. Da die Hauptwelle jedenfalls zweimal gelagert sein muß, so sind für eine Welle mit Stirnkurbel zwei Lager auf derselben Seite der Zylinderachse nöthig, während bei der Wellenkröpfung die Lager beiderseits anzuordnen sind. Als Material wird neuerdings der Flußstahl häufig angewendet, doch sind verschiedentlich Brüche bei diesem Material vorgekommen, welche zu Vorsicht mahnen. Die Anwendung der Kurbelkröpfung hat für kleine Maschinen den Vortheil, daß die beiden Lager leicht am Maschinengestell angegossen werden können, so daß nicht ähnliche Aufstellungsfehler zu befürchten sind, wie sie durch unrichtige Befestigung eines auf besonderem Fundament stehenden Lagers mitanter vorkommen. Ein sehr geschicktes Beispiel ist die in Figur 75 dargestellte Maschine von Escher-Wyß u. C. in Zürich.

Auch die verschiedenen Lagerflächen an der Kurbelwelle müssen um so größer, namentlich um so länger im Verhältniß zum Durchmesser werden, je schneller die Maschine läuft.

Drittes Buch.

Zweite Abtheilung.

Benutzung zum Verdampfen.

I. Verdampfungsarten.

Wir unterscheiden:

1. Freiwillige Verdampfung in freier Luft.
2. Verdampfung durch freies (direktes) Feuer.
3. " " Vermittlung von Dampf.

Diese können wieder sein:

1. u. 2. Verdampfung bei gewöhnlicher Temperatur mit oder ohne künstlichen Luftstrom.
2. u. 3. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Verdampfung in geschlossenen Gefäßen mit Anwendung der Luftleere.} \\ \text{Verdampfung in geschlossenen Gefäßen mit mehrfachen Wirkungen.} \end{array} \right.$

1. Verdampfung in freier Luft.

Die erste der Verdampfungen findet in der Zuckerfabrikation keine Anwendung zur Verminderung des Wassergehaltes der Säfte. Man benützt sie zur Abkühlung des warmen Wassers, welchem durch die an der freien Luft gebildeten Dämpfe die nothwendige Verdampfungs- (latente) Wärme entzogen wird. (Wasserkühlung durch Reifigwände u. dergl.)

2. Verdampfung durch freies Feuer.

Die zweite Art der Verdampfung, nämlich die über freiem Feuer war in den ersten Anfängen der Zuckerfabrikation eine allgemeine. Man benutzte zum Verkochen der Zuckersäfte offene Pfannen, unter welchen ein Roß angebracht war, auf dem das Brennmaterial entzündet wurde.

Die Feuerungsgase bestrichen die Pfanne an der unteren Fläche einmal, bei besseren Ausführungen auch noch seitlich, und zogen, ohne daß ihre Wärme besonders ausgenützt wurde, zum Schornstein hinaus. Daß unter

diesen Umständen von einer rationellen und sparsamen Abdampfung keine Rede sein konnte, versteht sich von selbst. Nach Walthoff nahm man an, daß 1 Q.-Fuß 6 Pfd. Wasser verdampfe, d. h. daß 1 qm Heizfläche des Pfannen-Bodens 30 kg Wasser in der Stunde verdampfe, und man rechnete dabei auf eine höchstens 50prozentige Ausnützung des Brennstoffes. Das Ergebniß war ein verhältnißmäßig ziemlich gutes, und zwar deshalb, weil die verwendeten Pfannen eine günstige Form hatten, die Flüssigkeitsoberfläche eine große, die Höhe der Flüssigkeitsschicht jedoch eine kleine war. — Nichtsdestoweniger war diese Art der Verdampfung unvortheilhaft, weil die Wärme der Heizgase, welche mit 5—600° Temperatur dem Schornstein zugeführt wurden, nicht zur vollständigen Ausnützung gelangte. Außer dem Uebelstande der schlechten Ausnützung der Wärme traten auch noch andere Unannehmlichkeiten, namentlich die Handhabung der Feuerung und offener Pfannen, sowie die hierbei nicht zu vermeidende schädliche Einwirkung hoher Wärmegrade auf die von denselben betroffenen Flüssigkeiten hinzu. Es ergab sich daher die Nothwendigkeit, zu einem anderen Mittel Zuflucht zu nehmen, welches man in der

3. Anwendung des Dampfes als Heizmittel

fand, wodurch viele Vortheile erreicht wurden. Namentlich ist man dadurch in die Lage gekommen, das heizende Mittel auf einfache Weise an jeden beliebigen Ort leiten zu können, sowie die Temperatur der zu heizenden Flüssigkeit nach Willkür zu regeln, was bei offener Feuerung nicht ausführbar ist. In Folge dessen kann man eine gleichmäßige Anwärmung erzielen und das lästige Anbrennen der Säfte vermeiden, welches, wenn Ausscheidungen aus dem Saft stattfanden und sich an den Wänden des Verdampfapparates ablagerten, bei offener Feuerung nicht zu verhindern war. Zur Anwärmung sowie Verdampfung kann man Wasserdämpfe oder Dämpfe anderer Flüssigkeiten verwenden; aus praktischen Rücksichten verwendet man indeß nur Wasserdämpfe. In Bezug auf Ersparniß an Brennmaterial steht jedoch die Verdampfung durch vermittelnde Anwendung von Dampf, einfache Dampfwirkung vorausgesetzt, theoretisch der Verdampfung durch freies Feuer nach, da bei ersterer einerseits das Güteverhältniß, d. h. die Wirkung der Feuerungsanlage, welche den Dampf entwickelt, andererseits diejenige des von dieser Anlage getrennten Verdampfapparates in Rechnung zu setzen ist, während bei der letzteren nur die Nutzwirkung der Feuerungsanlage in Betracht kommt, welche bei guter Einrichtung dieselbe sein kann wie bei dem Dampfentwickler des ersten Falles. — Für die Praxis jedoch liegt der Vortheil der Dampfheizung hauptsächlich darin, daß die Temperatur der verdampfenden Flüssigkeit niemals über diejenige des benutzten Dampfes

steigen und daß die Feuerungsanlage für mehrere Verdampfkörper und Anwärmungen eine gemeinschaftliche sein kann. Man kommt somit, statt für jeden Apparat einen eigenen Ofen zu haben, mit einer, allen Anwärm- und Verdampfapparaten gemeinschaftlichen Feuerung aus, und es kann der von dieser Feuerung entwickelte Dampf leicht zu jedem beliebigen Punkt, wo er verwendet werden soll, geleitet werden. Ein weiterer Vortheil ist die mehrfache Anwendung des Dampfes, welche jetzt, wie wir später sehen werden, den Schwerpunkt der Dampfanwendung bildet. Der Vortheil, sowie die Ersparniß von Brennmaterial liegt sonach in der Centralisation der Anlage; es ist dann leicht möglich, die gemeinschaftliche Feuerung so einzurichten, daß die Nugwirkung der Kesselanlage, welche den Dampf zur Verdampfung liefert, ein möglichst hoher ist, während bei der freien Feuerung in Folge Berücksichtigung anderer wesentlicher Umstände der ökonomische Betrieb zurückgesetzt wird. Alle Apparate, welche zum Verdampfen von Flüssigkeiten mittelst Dampf bestimmt sind, bestehen demnach aus dem Dampfentwickler, d. i. demjenigen Apparate, welcher den Arbeitsdampf liefert, und andererseits derjenigen Einrichtung, in welcher der Dampf seine Wirkung äußert, Wärme abgibt und dadurch eine Flüssigkeit erwärmt, oder zum Verdampfen bringt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Dampf des Dampfentwicklers seiner Temperatur, mithin auch seiner Spannung nach so beschaffen sein muß, daß er Wärme abzugeben vermag, d. h. seine Temperatur muß um eine gewisse Größe (dem Temperaturunterschied) höher sein, als die Temperatur der zu verdampfenden Flüssigkeit.

Der Dampfentwickler oder Dampfkessel ist in dem ersten und zweiten Buche beschrieben worden; hier haben wir es mit der Ausnuzung des darin dargestellten Dampfes zum Verdampfen zu thun.

4. Erwärmung und Verdampfung durch Dampfeinströmung.

In dem Anwärm- oder Verdampfapparat kann nun der Dampf auf verschiedene Weise seine Wärme abgeben, entweder indem er direkt in die zu erwärmende Flüssigkeit einströmt oder indem er in einen Doppelboden, eine Schlange, oder in Rohre eintritt, in welchen der Dampf zur Kondensation gelangt und dabei seine Wärme an die Gefäßwände abgibt, welche dieselbe der zu erwärmenden oder zu verdampfenden Flüssigkeit mittheilen. Tritt der Dampf unmittelbar in die Flüssigkeit ein, so kann durch diesen Vorgang die Flüssigkeit wohl erwärmt, aber nicht verdampft werden, weil nur ebensoviel Dampf aus der Flüssigkeit gebildet werden kann, wie in die Flüssigkeit eintritt, und in derselben kondensirt wird. (Näheres siehe im ersten Buche.)

Bei der Berechnung der Dampfmenge, die zur Erwärmung einer bestimmten Menge Flüssigkeit von gegebener Temperatur nothwendig ist, kann Folgendes zur Grundlage dienen, wobei vorausgesetzt wird, daß die zu erwärmende Flüssigkeit entweder Wasser ist, oder eine von der des Wassers wenig abweichende spezifische Wärme (= 1) besitzt.

Es sind zu erwärmen W_g Kilogramm Wasser von der Temperatur t , auf eine Temperatur T . Hierzu sind nöthig D_g k Dampf.

Es besteht die Gleichung:

$$T = \frac{640 \times D_g + W_g \times t}{D_g + W_g}$$

Daraus das gesuchte D_g berechnet:

$$D_g = \frac{W_g (T - t)}{640 - T}$$

wobei der Einfachheit wegen und für praktische Fälle genau genug angenommen ist, daß ein k Dampf jeder Spannung 640 Kalorien besitzt.

Bei dieser Art von Erwärmung ist zu berücksichtigen, daß die Flüssigkeitsmenge nach der Erwärmung um die kondensirte Dampfmenge D_g gewachsen ist. In Folge dessen wird, falls die betreffende Flüssigkeit eine Lösung ist, die Konzentration derselben eine geringere, was insbesondere bei Zuckersäften, welche nachher wieder auf Füllmasse eingedickt werden sollen, von Bedeutung ist, da diese kondensirte Dampfmenge abermals verdampft werden muß. In der obigen Formel ist der theoretische Dampfverbrauch angenommen, und der Umstand vernachlässigt, daß, wie es bei den bestehenden Vorrichtungen, den sogenannten Schnatterrohren, häufig vorkommt, ein Theil des zur Verwendung gelangenden Dampfes unbenützt und unkondensirt in die Atmosphäre entweicht. Man wird daher gut thun, bei Bestimmung der tatsächlichen Dampfmenge noch 25—30% zur theoretischen hinzuzurechnen. Abgesehen von der Verdünnung der Flüssigkeiten oder Zuckersäfte und nachherigen Wiederverdampfung, ist es aber auch noch ein Umstand, der die Verwendung des Dampfes durch direkte Einströmung in die Flüssigkeit untersagt, nämlich der Verlust des Kondensationswassers für die Kesselspeisung, an dessen Stelle dann mit frischem Wasser, welches in vielen Fällen Kesselstein bildet, gespeist werden muß, und somit die Kessel weniger geschont werden. Aus alledem ist zu ersehen, daß man den Dampf in dieser Weise nur in der zwingendsten Nothwendigkeit zur Anwendung bringen soll.

5. Erwärmen und Verdampfen durch Dampf vermittelt einer Heizvorrichtung.

Ein anderes Mittel der Uebertragung der Wärme des Dampfes auf die Flüssigkeit ist, wie schon erwähnt, die Einführung des Dampfes in

einen geschlossenen Raum, an dessen äußeren Wänden die zu erwärmende und zu verdampfende Flüssigkeit sich befindet, und die möglichst dünn gehalten sind, um die Wärme gut zu übertragen (zu transmittiren). Die Gestalt dieses geschlossenen Raumes kann eine sehr verschiedene sein, und man unterscheidet nach derselben hauptsächlich die Heizung mittelst Doppelboden, mittelst Schlangentröhen und mittelst gerader Röhren.

Die Heizung mittelst Doppelboden ist eine bereits veraltete; bei den Bestrebungen der Jetztzeit, nur hochgespannte Dämpfe in Verwendung zu bringen, ist es nicht mehr rathsam, Doppelböden in ökonomischer Weise und ohne Gefahr der Zertrümmerung zu benützen. Das Material dieser Doppelböden besteht entweder aus Kupfer, in selteneren Fällen Schmiedeeisen und Gußeisen. Das ungünstigste Material ist jedenfalls Gußeisen; es ist nicht selten vorgekommen, daß ein gußeiserner Doppelboden in Folge schlechter Anordnung der Kondenswasserableitungen oder durch irgend welche Umstände veranlaßte Störungen in derselben in die Luft gegangen ist. Es erscheint deshalb angezeigt, in einen Doppelboden, einerlei aus welchem Material, nie den Dampf mit vollem Kesseldruck einzuführen, sondern die Anordnung so zu treffen, daß der Dampf bei wenig geöffnetem Ventil expandirt, den Heizraum nur durchstreichen kann und der Abfluß des Kondenswassers ohne Druck stattfindet. Daß dabei eine gute Wärmeausnützung und ökonomischer Betrieb nicht stattfindet, ist aus der nachfolgenden Betrachtung ersichtlich. Ein weiterer Uebelstand der Anwendung der Doppelböden

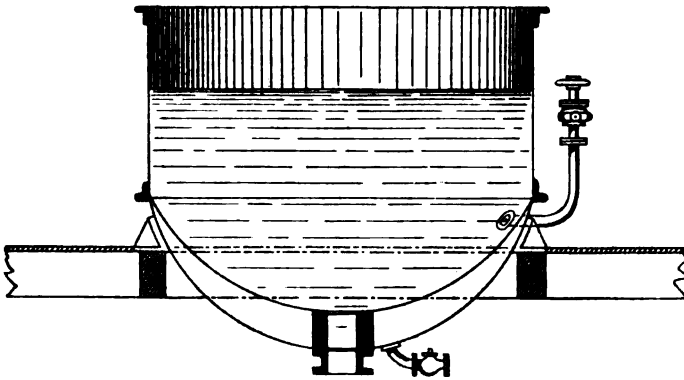


Fig. 1.

ist die Unmöglichkeit, eine größere Heizfläche anzubringen, sowie der Umstand, daß die zu einer energischen Wärmeabgabe nöthige Dampfströmung hier nicht stattfinden kann, weil der Dampf in einen weiten Raum eintritt und eine wirkliche Strömung nur auf eine kurze Entfernung, d. i. die kürzeste

Strecke zwischen Ein- und Austritt, vorkommt, während im übrigen Theile des Heizraumes eine Stauung des Dampfes entsteht; es findet also eine sehr geringe Zirkulation des Heizdampfes und in Folge dessen eine ungünstige Wärmeabgabe statt. Diesem Uebelstande wird in ausreichendem Maße durch die Anwendung der Heizschlangen (Fig. 2) begegnet. Hier wird

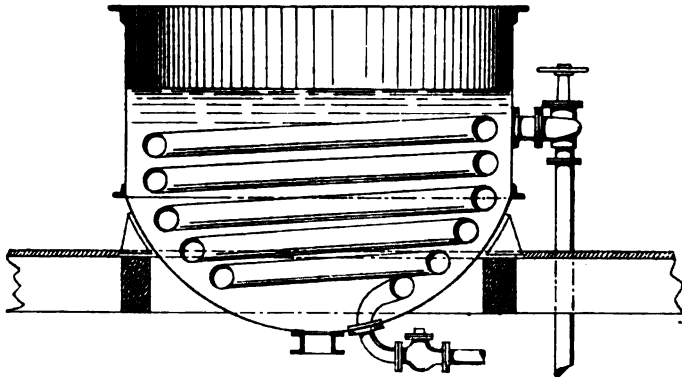


Fig. 2.

eine möglichst vollkommene Uebertragung der Wärme erzielt und es hat in Folge dessen die Heizschlange mit ihrer Abänderung, den in Zügen angeordneten Heizrohren, in neuerer Zeit fast ausschließliche Anwendung gefunden; diese Anordnung ist aus praktischen Rücksichten, in Bezug auf einfachere Durchführung und Unterbringung größerer Heizflächen in demselben Raume, eine ganz allgemeine geworden. Die bei den Doppelböden angeführten Uebelstände fallen bei dieser Art Heizung gänzlich fort. Lebhaftere Dampfzirkulation, welche bei Anwendung von Röhren und Schlangen kleinen Durchmessers erhöht wird, in Folge dessen günstige Wärme-Abgabe; die Möglichkeit einer höheren Dampfspannung ohne Gefahr der Explosion, wodurch eine vollkommene Ausnützung der im Heizdampf enthaltenen Wärme bis zur Kondensation stattfindet; praktische und leichte Anbringung großer Heizflächen in verhältnismäßig kleinen Räumen und ein ordentliches gründliches Austreiben der Luft im Heizraum, das sind lauter Vorzüge der Heizung mittelst Schlangen oder Röhren. In Figur 3, 4 (siehe Beilage) ist ein in Zügen geordnetes Heizrohrsystem dargestellt. In der Figur bedeuten: F = Saftfänger, V = Vakuummeter, H = Heizkammern, K = Verdampfkörper, R = Heizrohre, T = Tragfüße, Da = Ventil zur Heizung mit direktem Dampf, Dr = Ventil zur Heizung mit Rückdampf, C = Kondensationswasserablaß, L = Luftventil, M = Mannloch, B = Bräudampfzug, W = Schmutzwasserablaß, P = Talpotastimeter, E = Verbindungsstufen

www.libtool.com.cn
www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

zwischen Apparat und Saftfänger, s = Saftzugventil, s. = Saftablaßventil, Z = Saftabzögerer. (Die Bedeutung dieser Theile wird später klar werden.) Was das Material anbelangt, aus welchem man die Schlangen und Röhre ausführt, so kann dieses ja nach Art der Verwendung sehr verschieden sein, doch wird man immer trachten, Röhre aus einem Material herzustellen, welches gestattet, möglichst dünne Wände auszuführen, und dessen Wärmeübertragung dabei eine möglichst gute ist. In dieser Beziehung steht das Kupfer obenan, die Messingröhre stehen in Leistung nach, welche aber wieder den Vorzug der Billigkeit haben. Von einer bedeutend ungünstigeren Wirkung in der Wärmeübertragung sind die schmiedeeisernen Röhren und es werden solche daher auch nur selten in Anwendung gebracht, ebenso werden gußeiserne Röhre kaum angewendet. Betrachten wir nun die

6. Wirkungswelse des Dampfes in einem Apparate, der zur Erwärmung oder Verdampfung einer Flüssigkeit

bestimmt ist und nehmen wir vorerst an, die Flüssigkeit habe eine beständige Temperatur von 100° . Der Dampf trete in den die Wärmevermittlung übernehmenden Heizraum (ein geschlossenes Gefäß, wie Doppelboden, Schlange oder Röhren) und nach Durchgang durch denselben ungehindert ins Freie. — Nehmen wir an, der eintretende Dampf habe eine Spannung von 4 Atmosphären, das heißt eine Temperatur von 144° C. Der Dampf wird nun, entsprechend dem herrschenden Temperaturunterschied, welcher beim Eintritt $144 - 100 = 44^{\circ}$ C. beträgt, seine Wärme an die Flüssigkeit abgeben, dadurch wird eine Kondensation im Verhältnis zu der Wärmeabgabe des Dampfes vor sich gehen, der Dampf wird zu Wasser, welches dem offenen Ende der Heizvorrichtung zuströmt, und bei genügend großer Heizfläche eine Temperatur von 100° gleich jener der zu heizenden Flüssigkeit haben, da alle Wärme bei hinreichend großer Heizfläche so lange noch ein Temperaturunterschied vorhanden ist, abgegeben wird. Das Kondensationswasser wird also in diesem Falle mit 100° ausströmen.

Hätte die zu heizende Flüssigkeit eine höhere Temperatur z. B. 110° was dann der Fall wäre, wenn dieselbe unter einem höheren als dem atmosphärischen Druck stände, so würde das abfließende Kondensationswasser (das sogenannte Retourwasser) auch eine dieser Temperatur entsprechende Spannung von 110° (1,5 Atm.) haben. Da es aber dann in die freie Atmosphäre tritt, in welcher Wasser bei 100° siedet, so wird demnach ein theilweises Verdampfen in der Atmosphäre eintreten, wobei dem Wasser Wärme entzogen wird, bis das Kondenswasser auf die dem atmosphärischen Druck entsprechenden 100° abgekühlt ist.

Der Temperaturunterschied wäre also am Ende der Leitung bei vollständiger Ausnutzung der Wärme: $100 - 100 = 0$, am Anfang der Leitung ist dieselbe $= 144 - 100 = 44$, daher der durchschnittliche maßgebende Temperaturunterschied

$$\frac{0 + 44}{2} = 22^\circ \text{ C.}$$

Nehmen wir an, daß das Ende der Heizleitung in ein geschlossenes Gefäß einmünde, in welchem ein beständiger Druck von 2 Atmosphären (entsprechend einer Temperatur von 120°) herrsche, so wird dementsprechend die Spannung am Ende der Heizvorrichtung auch 2 Atmosphären betragen und mithin die Temperatur des ausströmenden Wassers 120° sein; der Temperaturunterschied zwischen Dampf und heizender Flüssigkeit wird sich berechnen als arithmetisches Mittel aus dem Anfangstemperaturunterschied, wie im früheren Falle $= 44^\circ$ und dem Endtemperaturunterschied $120 - 100 = 20^\circ$ d. i. also

$$\frac{44 + 20}{2} = 32^\circ \text{ C.}$$

Wir sehen, daß in diesem Falle der Wärmeunterschied, von dem die notwendige Größe der Heizfläche abhängt, wesentlich höher geworden ist als im früheren Falle und den größten möglichen Werth erreichen würde, wenn die Endtemperatur gleich jener der Anfangstemperatur wäre, d. h. wenn die Kondenswasser in einen geschlossenen Raum träten, in welchem dieselbe Spannung herrscht wie im Dampfentwickler. In diesem Falle wäre auf der ganzen Heizfläche ein gleicher Druck, in unserem Falle also 4 Atmosphären, und daher auch eine gleiche Temperatur von 144° und da die Flüssigkeit überall gleichmäßig 100° besitzt, so wird der Temperaturunterschied für die ganze Heizfläche betragen $144 - 100 = 44^\circ \text{ C.}$

Bleiben wir den Schluß aus dieser Betrachtung, so sehen wir, daß im ersten Falle der Temperaturunterschied 22° , im 2. Falle 32° , im 3. Falle 44° beträgt. Da die Größe der nöthigen Heizfläche im umgekehrten Verhältniß zum Temperaturunterschied steht, so wird, wenn die Heizfläche im 1. Falle $= H$ war, dieselbe im 2. Falle bei gleicher Leistung bloß $\frac{22}{32} H = 0,68 H$ sein können und im 3. Falle $= \frac{22}{44} H = 0,5 H$, d. h. im 3. Falle wird die Hälfte der Heizfläche hinreichen, dieselbe Wirkung zu erzielen wie mit der ganzen Heizfläche im ersten Fall. Hieraus ergibt sich, wie wesentlich es ist, für eine gute Ableitung der Kondenswasser zu sorgen und welche Heizflächenverschwendung bei unrichtig angelegten Ableitungen eintreten kann. Demnach ist jene Anordnung der Dampf-

ableitung bei einem Anwärm- oder Verdampfapparat die beste, welche gestattet, daß die Leitung des Kondenswassers in einen Kessel erfolgt, dessen Spannung gleich jener der Anfangsspannung ist, daß dieselbe also am besten in demselben Kessel einmündet, aus welchem der Apparat mit Dampf versorgt wird. Zu dem Zweck muß der Apparat über dem Kessel aufgestellt sein, damit das Wasser mit freiem Gefälle dem Kessel zufließe, wie dies in Figur 5 dargestellt ist. Diese Anordnung erspart auch noch die Speisepumpe, welche das sonst in einen Behälter abfließende Kondenswasser wieder in den Kessel zurückzubringen hätte.

Bei dieser Einrichtung muß man jedoch in die Kondensationswasser-ableitung zum Kessel eine sogenannte Rückschlag- (Retour-) Klappe einlegen

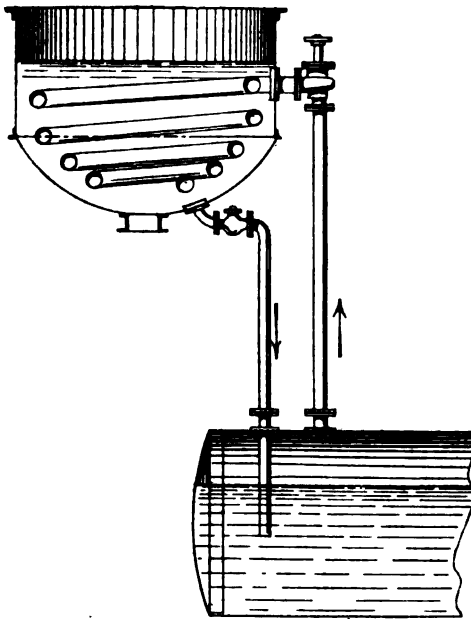


Fig. 5.

(was man übrigens vor- sichtlichshalber bei jeder an- deren Anordnung auch thut), da es sonst vorkommen kann, daß das Wasser aus dem Kessel in den Heizraum ge- drückt wird, was zu unan- genehmen Störungen im Be- triebe Veranlassung geben kann und sich durch ein heftiges Schlagen in der Leitung kundgiebt. Ist diese Aufstellung aus irgend einem Grunde nicht durch- zuführen, so empfiehlt es sich, die Kondenswasser aus der Heizvorrichtung in einge- schlossenes Gefäß zu führen, in welchem eine Spannung herrscht, deren entsprechende

Siedetemperatur nur um einige Grade niedriger ist, als jene Temperatur, auf welche die zu heizende Flüssigkeit erwärmt werden soll oder bei welcher sie siedet.

7. Berechnung der Größe der Heizfläche und der nöthigen Heizdampfmenge bei der Erwärmung in offenen Pfannen.

Bei der Berechnung der Größe der Heizfläche kommt bei jeder Art von Verdampfung in erster Linie der Transmissionskoeffizient derselben in Betracht. Der Transmissionskoeffizient ist jene Wärmemenge, welche in der

Zeiteinheit, d. i. in einer Minute, und für einen Grad Temperaturunterschied zwischen dem Heizdampf und der zu heizenden Flüssigkeit durch eine Flächeneinheit (1 qm) der Heizfläche hindurchgeht. Dieser Transmissionskoeffizient ist von sehr vielen Umständen abhängig und muß bei einigermaßen genauer Berechnung für jeden einzelnen Fall der Praxis erst festgestellt werden. Das Material der Heizfläche allein ist es nicht, von welcher dieser Koeffizient bestimmt wird, es ist auch die zu heizende Flüssigkeit, die spezifische Wärme derselben, die Dichte oder Konzentration derselben, ferner der Umstand, ob die geheizte Flüssigkeit nur auf einen höheren oder niederen Grad angewärmt wird, oder aber sich im Sieden befindet, denn in allen diesen Fällen ist die Zirkulation der Flüssigkeit und jene des Dampfes, die Lebhaftigkeit der Erneuerung der mit der Heizfläche in Berührung stehenden Flüssigkeitsteilchen oder Dampfteilchen verschieden. Je träger diese Zirkulation, desto schlechter wird die Wärme übertragen (transmittirt).

Es ist demnach vollständig unrichtig, wenn man annimmt, daß der Transmissionskoeffizient nur von dem Material der Heizfläche oder gar von der Dicke derselben abhängt und wenn man für jedes Material eine durch einen beliebigen Versuch erhaltene gewisse Zahl festsetzt und diese auch für jeden anderen Fall in die Rechnung einführt. Wie die in der Praxis vorkommenden Fälle zeigen, wechselt der Transmissionskoeffizient bei gleicher Einrichtung und bei gleichem Material der Heizfläche, nur beeinflusst durch die angeführten verschiedenen Umstände, zwischen weit auseinandergehenden Grenzen. Der Transmissionskoeffizient hat in erster Linie Einfluß bei Bestimmung der Größe der Heizfläche und es ist möglich, denselben durch eine praktische und gute Konstruktion bei einem Anwärme- oder Verdampfapparate auf ein möglichst geringes zu bringen.

Berechnung der Heizfläche von Anwärme-Apparaten.

Es sei:

F = die Heizfläche des Anwärmeapparates,

Q = die Menge der durch die ganze Heizfläche in der Minute übertragenen Wärmeinheiten,

r = die Wärmemenge, welche bei der Kondensation des Heizdampfes im Heizraum abgegeben wird.

Es ist $r = 606,5 - 0,708 t_1$, wenn t_1 die Temperatur des Heizdampfes ist.

Dg = Gewicht des Heizdampfes in Kilogr., welches im Heizraum in der Minute kondensirt wird, ferner soll die zu erwärmende Flüssigkeit = Wg k in der Minute von einer Temperatur t_0 auf eine Temperatur t_1

gebracht werden. Es ist also die mittlere Temperatur dieser Flüssigkeit während der Heizperiode $= \frac{t_0 + t_1}{2}$, der Temperaturunterschied zwischen Heizdampf und Flüssigkeit,

dennach $d = t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2}$ und es ist dann

$$Q = F C \left(t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2} \right)$$

Es ist aber auch ferner

$$Q = W g (t_1 - t_0) \times c \text{ und daher}$$

$$F C \left(t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2} \right) = W g (t_1 - t_0) c, \text{ daraus}$$

$$F = \frac{W g (t_1 - t_0) c}{C \left(t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2} \right)}$$

Die Menge des nöthigen Heizdampfes wird berechnet aus:

$$D g \times r = Q$$

$$D g = \frac{Q}{r}$$

Berechnung der Heizfläche und Dampfmenge bei der Verdampfung in offenen Pfannen, dessen entwickelte Dämpfe in die freie Atmosphäre austreten.

Wie schon früher erwähnt wurde, ist der Transmissionskoeffizient zum Theil abhängig von der Bewegung der zu wärmenden Flüssigkeit. Je stärker diese ist, desto größer ist der Transmissionskoeffizient und umgekehrt. Die Bewegung einer Flüssigkeit ist aber beim Kochen eine bedeutend größere als beim Anwärmen, indem durch Entwicklung von Dampfblasen im Innern der Flüssigkeit diese in heftige, mitunter stoßweise Bewegung versetzt wird. Dadurch werden die an den Heizflächen lagernden Flüssigkeitstheilchen in rascher Aufeinanderfolge von der Heizfläche gerissen und andere Theilchen wieder mit der Heizfläche in Berührung gebracht und auf diese Weise die Wärme viel rascher an die Flüssigkeit abgegeben. Beim Anwärmen jedoch ist kein heftiges Wallen, sondern eine bloße ruhige Aufwärtsbewegung der Flüssigkeit zu beobachten, und es findet eine langsame Aufeinanderfolge der wechselnden Flüssigkeitstheilchen in Berührung mit der Heizfläche, daher auch eine geringere Wärmeabgabe statt. Dieses drückt sich bei der Berechnung in der Aenderung des Transmissionskoeffizienten aus. Welche Größe derselbe in den einzelnen Fällen haben wird, muß speziellen Versuchen überlassen bleiben.

Um die Bewegung der Flüssigkeit beim Anwärmen künstlich zu vergrößern, wird bei den Gegenstrom-Kalorifatoren, Fig. 6, 7, welche

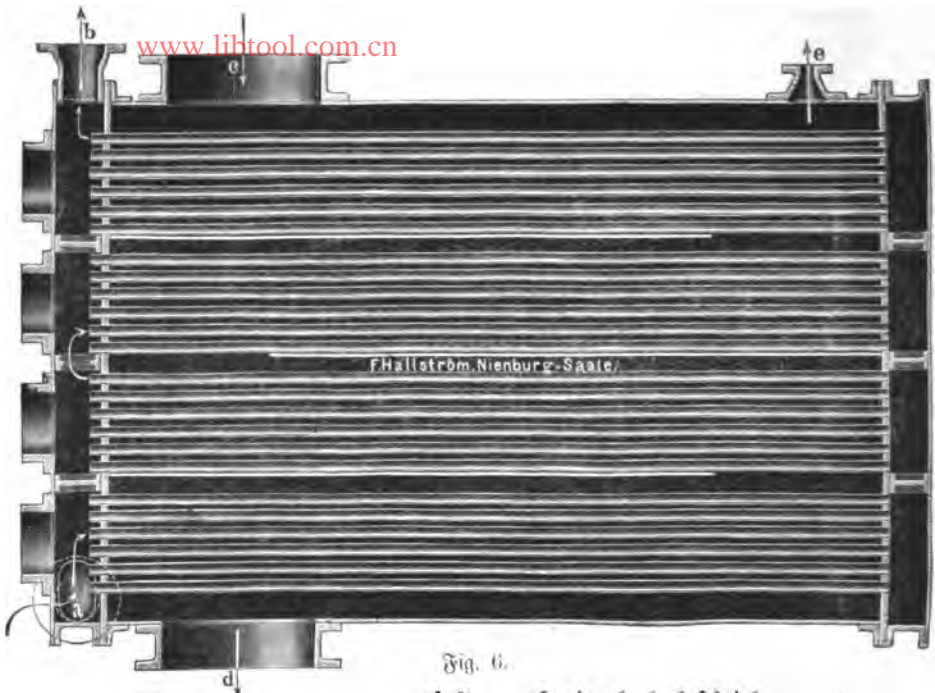


Fig. 6.

später noch eingehend beschrieben werden sollen, der Weg der Flüssigkeit durch den Kalorifator vergrößert, indem man dieselbe schlangenförmig hin- und hergehen läßt. Es wird auf diese Weise eine vollkommenere Verührung mit der Heizfläche, also eine raschere Anwärmung, erzielt. Der Transmissionskoeffizient ist denn auch bei diesem Kalorifator ein bedeutend höherer als bei dem Anwärmeapparate anderer Systeme, und man reicht demzufolge mit einer kleineren Heizfläche bei diesen Kalorifatoren aus, abgesehen von dem praktischen Vortheil, daß sich in Folge der größeren Saftgeschwindigkeit die Röhre weniger leicht mit Niederschlag überziehen.

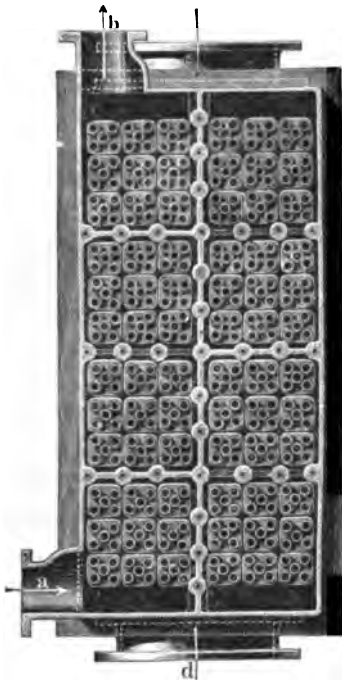


Fig. 7.

Nehmen wir dieselben Bezeichnungen wie bei der Anwärmung und nehmen wir an, es wären nur Lösungen in Wasser, oder Wasser selbst, zu verdampfen. Es sei ferner $F = \text{Heiz}$

fläche, λ = derjenigen Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 k Wasser von 0° C. unter konstantem Druck in Dampf von t_1 Grad Temperatur zu verwandeln, = $606,5 + 0,30 t_1$ Kalorien.

Q die Menge der in der Minute durch die ganze Heizfläche übertragenen Wärmemenge,

r = latente Wärme des Heizdampfes = $607 - 0,708 t$,

t_0 = die Temperatur der Flüssigkeit, welche in den Apparat eintritt und abgedampft werden soll,

t_1 = Temperatur des siedenden Saftes (in unserem Falle bei Wasser = 100°)

t_2 = Temperatur des Heizdampfes.

d = maßgebender Temperaturunterschied,

C = Transmissionskoeffizient,

Dg = Dampfgewicht in k in der Minute,

Wg = verdampftes Wasser in k in der Minute.

Die durch die Heizfläche tretende Wärmemenge ist, da $d = t_2 - t_1$,

$$Q = F \cdot C \cdot (t_2 - t_1) \text{ ferner}$$

$$Q = Dg \cdot r \quad \text{und auch}$$

$$Q = Wg (R - t_0)$$

$$F = \frac{Wg (R - t_0)}{C (t_2 - t_1)}$$

[Wollte man auch die spez.

Wärme c der Flüssigkeit (Zuckerlösung) berücksichtigen, so müßte man setzen:

$$Q = Wg \lambda - Wg (t_1 - t_0) c = Wg (\lambda - (t_1 - t_0) c).]$$

Es ist dann:

$$F = \frac{Wg (\lambda - t_0)}{C (t_2 - t_1)} = \frac{Dg r}{C (t_2 - t_1)}$$

$$Dg = \frac{Q}{r}, \quad Wg = \frac{Q}{\lambda - t_0}$$

8. Verdampfung in offenen Pfannen.

Als man zur Erkenntniß gelangte, daß die Heizung durch Vermittelung des Dampfes mit vielen Vortheilen verbunden sei, hat man auch angefangen, diese Art von Verdampfung der Säfte zur allgemeinen Benutzung zu bringen, und es wurden vielfache Konstruktionen angewendet. Die am weitesten verbreitete und zugleich einfachste war die nach Hallette benannte Heizschlange mit doppelten Bindungen, welche so beschaffen waren, daß der Eintritt des Dampfes am Umfang der Pfanne erfolgte und gegen die Mitte zu geführt wurde, die Bindungen dann wieder gegen den Umfang traten und an diesem der Austritt des Kondensationswassers erfolgte, so daß die heißesten Theile der Schlange neben den kühlfsten lagen und eine gleich-

mäßige Erwärmung der ganzen Flüssigkeit eintrat. Zu gleicher Zeit gebräuchte man auch verschiedene Arten Doppelböden zum Abdampfen, wie sie heute wohl nur noch zum Anwärmen benützt werden.

Eine Verbesserung der Hallette'schen war die Becqueur'sche Pfanne, deren Einrichtung darin bestand, daß sie behufs rascher Entleerung auf der einen Seite etwas gehoben werden konnte; außerdem tritt der Dampf in ein Rohrstück, an dem seitlich Rohre von kleinerem Durchmesser angebracht sind, welche hufeisenförmig das Gefäß ausfüllen und in ein zweites Rohrstück einleiten, aus welchem der Abfluß des Kondensationswassers stattfindet. Die Rohrstücke sind mit Stopfbüchsen versehen, und in diesen ist der ganze Apparat drehbar. Die Einrichtung gestattet, diese Pfanne auch zum Fertiglöchen zu verwenden. Bei der Neigung des Gefäßes bleibt der Heizrost in horizontaler Lage stehen, es kann ein leichtes Abfließen stattfinden und ein gutes Reinigen der Rohre vorgenommen werden.

Eine weitere Konstruktion ist die Wezel'sche Verdampfpfanne, welche eine große Berührungsfäche der Flüssigkeit mit der Luft bezweckt. Der Apparat besteht aus einem zylindrischen Körper, dessen Seitenwände von Rohren gebildet sind, und in der zu heizenden Flüssigkeit mittelst eines einfachen Mechanismus gedreht werden. Der Dampf streicht durch die beiden Zylinderböden und die Rohre.

Eine weitere, seinerzeit in mehreren Zuckerfabriken angewendete Konstruktion ist der Abdampfungskegel von Lambert; derselbe besteht aus zwei abgestuften senkrecht aufgestellten Kegeln mit gemeinschaftlicher Achse von 4—5 m Höhe; der Raum zwischen den Kegelmänteln ist zur Heizung mit Dampf bestimmt; der innere Kegel hat seiner Länge nach 9 abgestuigte Kegelflächen, die am unteren Rand ausgezackt sind, ebenso ist der äußere Kegel mit 9 solcher Kegelflächen versehen, die aber in umgekehrter Ordnung angebracht und erhaben ausgezackt sind. Die abzdampfende Flüssigkeit wird aus einem Behälter in ein Gefäß geleitet, welches sie mittels vieler Löcher auf die Oberfläche des inneren Kegels vertheilt und andererseits in ein zweites Behältniß, welches durch mehrere angebrachte Hähne die Flüssigkeit auf den äußeren Mantel vertheilt. Durch die Kegel wird sie dann gleichmäßig auf der Oberfläche ausgebreitet und verdampft durch die Berührung mit der vom Dampf geheizten Fläche. Die konzentrirte Flüssigkeit wird sodann unten in einem Gefäß aufgefangen und zur weiteren Verarbeitung gebracht. Dieser Apparat soll sehr gute Resultate ergeben haben; es sind aber leider keine Messungen an verbrauchtem Dampf und verdampfter Flüssigkeit vorgenommen worden.

9. Geschlossene Pfannen.

Bei allen diesen beschriebenen Apparaten, welche auf Verdampfung in freier Luft mit Vermittelung von Dampf beruhen, wurde freier Kessel dampf in Verwendung gebracht; gleichzeitig hatte man zum Betriebe der für die Fabrik nöthigen Werksvorrichtungen Dampfmaschinen mit Kondensation aufgestellt. Es war nun klar, daß man den aus der Maschine austretenden Dampf, der ja seine Wärme nur zum geringsten Theile in der Maschine abgegeben hatte, statt ihn in den Kondensator gehen zu lassen, zur Abgabe seiner Wärme, hauptsächlich der latenten, in die Heizvorrichtung des Anwärm- und Verdampfapparates leiten und dadurch den Kessel dampf, soweit als Betriebsmaschinen vorhanden, zweimal (einmal in der Maschine, ein zweites mal zum Verdampfen) in Anwendung bringen und dadurch eine wesentliche Ersparniß an Brennmaterial erzielen konnte. Der Gegendruck auf die Dampfkolben wurde natürlicherweise ein höherer als bei Kondensationsmaschinen, und es mußten die Dampfmaschinen dementsprechend größere Abmessungen erhalten. Allein es ist nicht nöthig geworden, den Gegendruck um Bedeutendes höher zu halten als dieses bei Auspuffmaschinen der Fall ist, denn da dieser gewöhnlich mit 1,2 Atmosphären angenommen wird, und dieser Druck eine Temperatur von $105,2^{\circ}$ C. entspricht, so könnte man mit diesem Dampfe in freier Luft eine Flüssigkeit, welche bei 100° C. ins Sieden kommt, abdampfen, da noch immer ein wirksamer Temperaturunterschied von $105,2 - 100 = 5,2^{\circ}$ C. erübrigt wird. Es muß nur die Heizfläche im umgekehrten Verhältniß zum Temperaturunterschied angelegt werden.

Wie wir später sehen werden, kommt man jedoch bei den neueren Anordnungen der Verdampfapparate in den meisten Fällen mit einer niedrigeren Siedetemperatur der Flüssigkeit aus, und ist es daher entschieden nicht nöthig, den Dampfdruck, der den Kolben belastet, zu erhöhen, wodurch ein Mehrverbrauch an Dampf d. h. an Brennmaterial entsteht. Will man jedoch vermeiden, allzu große Heizflächen in dem Apparat anzubringen, so ist man gezwungen, auf andere Weise eine Erhöhung dieses Temperaturunterschiedes zu erzielen, und dieses geschieht, indem man die offene Verdampfung in eine Verdampfung mit geschlossenen Apparaten verwandelt und dabei gleichzeitig die Verdampfung unter stark vermindertem Luftdruck (bei „Luftleere“) also bei einem so weit wie möglich erniedrigten Siedepunkt vornimmt. Der Temperaturunterschied wird in Folge dessen ein ziemlich bedeutender werden, denn die Temperatur der siedenden Flüssigkeit wird bei einer Spannung von 0,8 Atm. auf $93,9^{\circ}$ bei 0,6 Atm. auf $86,3^{\circ}$ C., bei 0,4 auf $76,3^{\circ}$ und bei 0,2 Atm. auf $60,5^{\circ}$ sinken, womit auch so ziemlich

die praktische Grenze der „Luftleere“ erreicht sein wird, denn darunter zu gehen wird in Folge Anwendung kostspieliger Dichtungsmaterialien, sowie durch einen starken Wasserverbrauch zur Kondensation nicht gut durchzuführen sein. Wenn wir also die Temperatur des Heizdampfes wie früher mit $105,2^{\circ}$ C. und die Spannung im Safttraum mit $0,2$ Atm., d. i. $60,5^{\circ}$ annehmen, so ist der Temperaturunterschied $d = 105,2 - 60,5 = 44,7^{\circ}$ gegen $5,2^{\circ}$ C. bei offener Verdampfung. Der Unterschied ist daher jetzt um das $44,7 : 5,2 = 8,6$ fache gestiegen. Die Heizfläche, mit welcher bei Anwendung der Luftverdünnung dasselbe Ergebnis erzielt wird, kann deshalb den $8,6$ ten Theil jener bei offener Verdampfung betragen. Weiter werden Rückdämpfe, Maschinendämpfe und Saftdämpfe, deren Spannung und Temperatur eine geringere ist, zur Verwendung gelangen können; die Luftleere ermöglicht in dieser Weise die Verdampfung mit mehrfacher Wirkung und die Heizung und Verdampfung mittelst Brühdämpfen, oder Saftdämpfen, d. h. mit den aus der zu verdampfenden Flüssigkeit sich entwickelnden Dämpfen.

Die Verminderung des Luftdruckes über der abzubampfenden Flüssigkeit wird durch das Niederschlagen des Dampfes, durch die Kondensation, entweder innerhalb Röhren oder Schlangen, welche die Kühlflüssigkeit führen und durch deren Berührung der wärmere Heizdampf kondensirt wird, (Oberflächen-Kondensation) erzielt, oder durch Einspritzung von kaltem Wasser in den Dampfraum (Einspritz-Kondensation). In beiden Fällen ist die Luftpumpe als ein Hilfsmittel der Kondensation nöthig, sie hat den Zweck, das Wasser ab-, sowie die nicht kondensirbaren Gase in die Atmosphäre überzuführen.

Der erste Apparat mit Luftleere wurde bereits 1813 von Howard in die englischen Raffinerien eingeführt und bestand aus einer Kupferpfanne, die aus zwei Schalen zusammengesetzt war; die untere Schale hatte einen Doppelboden, der zur Heizung diente. Auf der oberen Schale befand sich ein Dom, in dem sich die aus der Flüssigkeit entwickelten Dämpfe sammelten und durch das Ausströmungrohr zum Verdichtungsraum gelangten, der mit der Luftpumpe in Verbindung stand. Das Einspritzwasser gelangte durch eine seitliche Oeffnung in denselben Raum, wenn man durch die Handkurbel das Ventil und den an derselben Stange sitzenden Kolben gehoben hatte. Allenfalls von den Dämpfen mitgerissene Flüssigkeitstheilechen fielen in einen kleinen Behälter (den jetzigen Uebersteiger oder Saftfänger), von wo die gesammelte Flüssigkeit nach jedem Sub leicht abgelassen werden konnte. Die Luftpumpe erforderte eine Arbeit von 2 Pferdestärken, und es wurde im Apparat eine Spannung

von 0,65 Atm. erzeugt, was hinreichte, um 12000 k Rohzucker täglich einzuschmelzen (Raffineriebetrieb), d. i. 100 Brode in der Stunde oder 600—700 k weißen Zucker zu erzeugen und 500 k Dampf per Stunde zu kondensiren. Der Verbrauch von Kondensationswasser betrug 100—110 Hektoliter in der Stunde, das ablaufende Wasser hatte 30°.

Der Howard'sche Apparat hat mannigfache Verbesserungen erfahren, man hat eine oder mehrere Dampfslangen zur besseren Erwärmung hinzugenommen, ferner hat man den Steigraum, d. i. der Raum von der Oberfläche der abzudampfenden Flüssigkeit bis zum Austritt des Saftdampfes wesentlich erweitert und erhöht, man hat auch Verbesserungen zum Abfangen der mitgerissenen Safttheilchen angebracht, in der Hauptsache jedoch hat sich dieser Apparat bis auf den heutigen Tag als Vakuumapparat erhalten und es sind wesentliche Aenderungen bloß in der Anordnung der Kondensation mit und ohne Luftpumpe erfolgt, welche wir später kennen lernen werden.

In neuerer Zeit hat man die Verdampfung der Säfte vom Anfang bis zur Kristallisation nicht mehr in einem Körper vollzogen, sondern hat diese getrennt, indem man die Säfte bis zu einer gewissen Konzentration, bei welcher dieselben noch leicht filtrirt werden können, in besonderen Apparaten, den „Verdampfapparaten“, eindickt, während die Eindampfung bis zur Kristallisation in einem besonderen Körper, dem „Vakuum oder Kochapparat“ erfolgt. Durch diese Trennung hat man viele Vortheile, namentlich eine ökonomischere Dampfverwerthung, erzielt, wie wir noch weiterhin sehen werden und welche besonders diejenigen Apparate betrifft, die nur zum Verdampfen der Zuckersäfte und nicht zu deren vollständiger Eindickung zu Füllmasse, dem Verkochen, dienen.

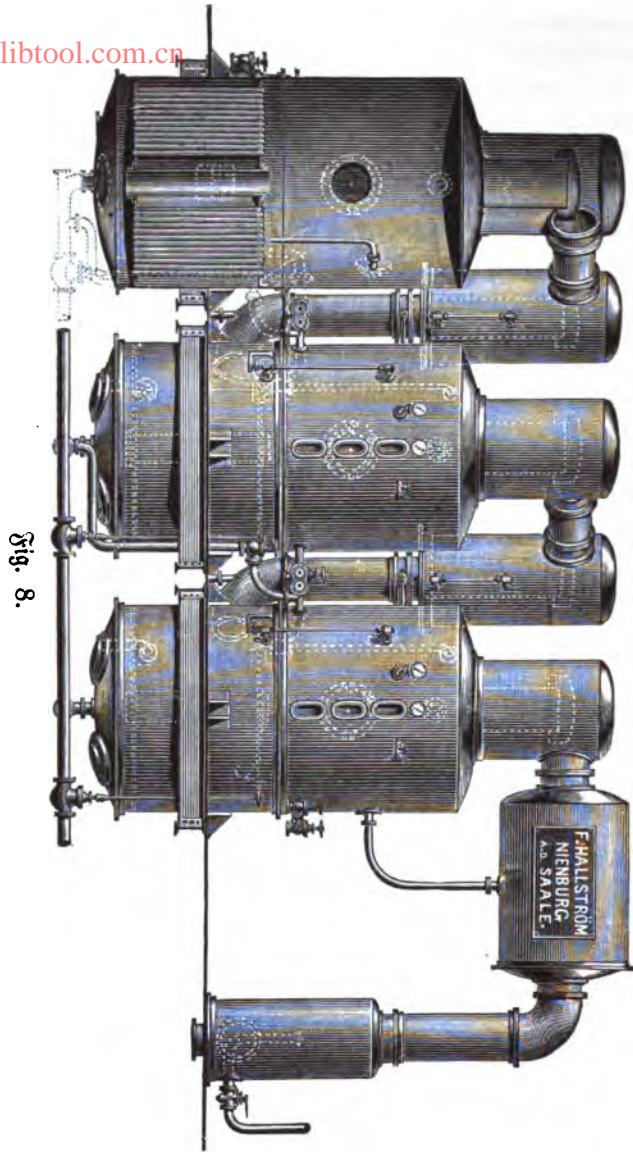
Verfolgt man die Form der Apparate vom Howard'schen Apparat an, so gelangt man zu dem Resultat, daß sich die bis jetzt bekannten Apparate in zwei Gruppen theilen lassen und zwar in 1. die der Verdampfapparate mit aufrecht stehenden Körpern und 2. die der Verdampfapparate mit liegenden Körpern.

Zu den ersteren gehören u. a.:

- a) der Robert'sche Verdampfapparat,
- b) das stehende Zuckervakuum, dessen Urform der Howard'sche Apparat.

Zu den letzteren gehören:

- a) der erste liegende Verdampfapparat Millieuz,
- b) die meisten neueren Verdampfapparate, deren Hauptformen wir in der Folge kennen lernen werden.



Der Verdampfapparat nach Robert ist, wie Figur 8 an drei, wie später zu erklären, mit einander verbundenen Körpern zeigt, ein zylindrischer Körper, in dessen unterem Theil zwei Böden eingespannt sind, durch welche ein mittleres weites Rohr und außerdem der ganzen Fläche nach eine entsprechende Anzahl engere Röhre, oben und unten offen, etwa 50 mm im Durchmesser,

eingezogen sind. In den Raum zwischen den beiden Rohrböden tritt der Heizdampf ein (entweder direkter oder Rück- oder Saftdampf) und umstreicht die Rohre. Innerhalb der Rohre, bis zu einer gewissen Höhe über dem oberen Rohrboden, steht die abzdampfende Flüssigkeit, welche durch ein Ventil eingelassen und nach geschehener Eindickung durch ein anderes abgelassen wird. Das mittlere weitere Rohr, das sogenannte Zirkulationsrohr, soll den Zweck haben, eine kräftige Zirkulation der Zuckersäfte zu erzeugen, indem der Saft, weil in dem Rohre kühler, durch dasselbe abwärts und durch die kleinen Rohre wieder nach oben getrieben werden, und dadurch die Wärmeabgabe eine günstigere sein soll. Auf dem Apparat befindet sich der Dom, ein Sammelgefäß für den Saftdampf, das diesen dem sogenannten Uebersteiger oder Saftfänger zuführt, welcher die Aufgabe hat, allenfalls vom Dampf mitgerissene Flüssigkeitstheile abzufangen (siehe später). Aus dem Uebersteiger tritt der Dampf in die folgenden Körper des Apparates und schließlich in die Kondensationsvorrichtung, wie dies später ausführlich beschrieben werden soll.

Die Hülfsstücke (Armatur) dieses Apparates sowie eines jeden ähnlichen bestehen in Folgendem: Im Heizraum: Dampfventil resp. Einlaß, Kondensationswasserablaß, Luftablaßhähne bei der Inbetriebsetzung, oder falls sich mit den entwickelten Dämpfen unkondensirbare Gase bilden, zum Ablaß derselben. Ferner im Safttraum: Safteinlaßventil, Saftablaßventil, Saftstandglas, Schauglas auf Vorder- und Hinterseite, Sicherheitsventil, Spannungsanzeiger (Mano- oder Vakuummeter, Thermometer), Butter- und Luftbahn (Butterhahn, zum Einlassen von Fett bei stark schäumenden Flüssigkeiten), Einsteigloch.

Die Verdampfapparate mit Heizschlangen, innerhalb welchen der Heizdampf strömt, und außerhalb welchen die zu verdampfende Flüssigkeit steht, ist am besten vertreten durch den stehenden Zuckerkochapparat oder das Vakuum. Auch hier bildet bei den neueren und besseren Konstruktionen wenigstens ein zylindrischer Körper die Hauptform, während der Untertheil zum Zweck eines besseren und vollständigen Ablassens der Füllmasse eine gewölbte oder rein konische Form hat, an deren unterster Stelle sich die Ablassöffnung befindet. Die Heizschlangen, gewöhnlich 2—3, sind in dem unteren Theile in der Weise angebracht, daß sie der Füllmasse beim Abfluß kein Hinderniß bilden; im Uebrigen sind die Bestandtheile, Dom, Uebersteiger, Hülfsstücke, dieselben wie beim Robert'schen Apparate. (Einen solchen Verdampfkörper stellen die Figuren 9 und 10 in Durchschnitt und äußerer Ansicht dar.*)

Die zweite Gruppe der Apparate wird gebildet von den liegenden Verdampfapparaten; diese unterscheiden sich von den stehenden Haupt-

*) Nähere Beschreibung folgt später.

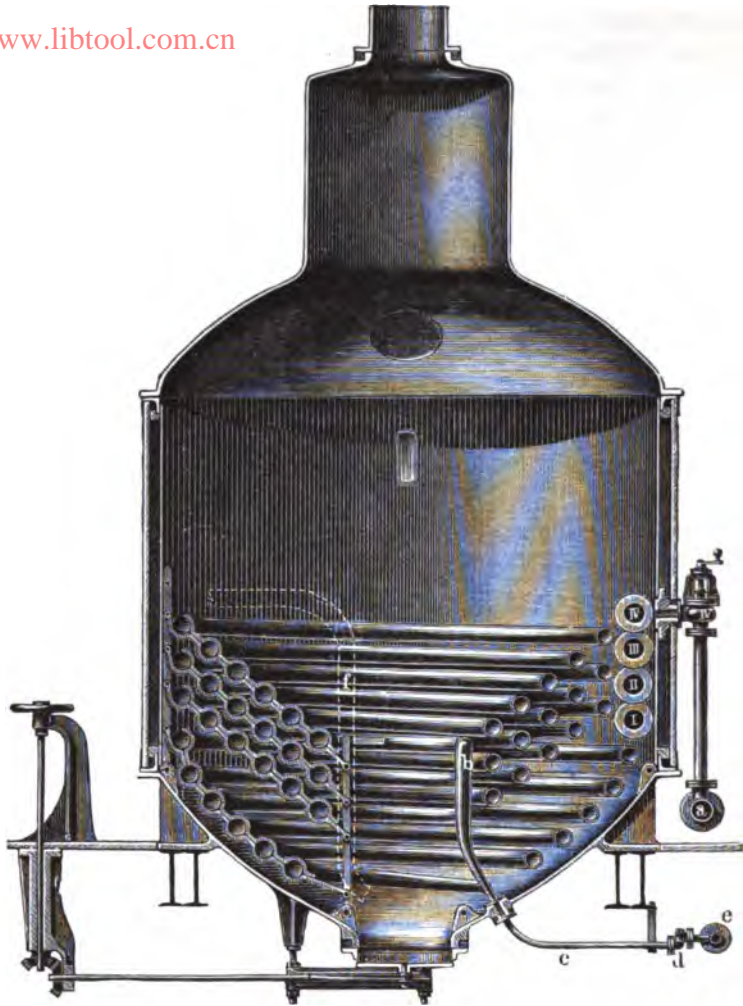


Fig. 9.

sächlich in der Anordnung der Heizvorrichtung, diese besteht hier in einer größeren Anzahl von horizontal liegenden Schlangen oder Röhren, welche am vorderen und rückwärtigen Ende des Apparates in eine gemeinschaftliche Dampfkammer münden, die für die Dampfzuführung und Kondensationswasser-Ableitung bestimmt ist. Auch auf diesen Apparaten befindet sich ein Dom, aus dem der Saftdampf einem Saftfänger zugeführt wird, von wo er dann zur Kondensation gelangt, welche eventuell auch in einem zweiten, ebenso gebauten Verdampfförper vor sich

www.libtool.com.cn



Fig. 10.

gehen kann, indem die Saftdämpfe in den Heizraum dieses Körpers geleitet werden.

Der erste liegende Verdampfapparat ist der von Millieux gebaute, dessen Körper eine zylindrische Form in liegender Anordnung hat, in welchem die Heizrohre übereinander liegend weit über die Mitte dieses Zylinders reichen. Da die abzubampfende Flüssigkeit die Rohre noch überdecken muß, so ist klar, daß nur ein verhältnismäßig kleiner Raum für Entwicklung des Saftdampfes erübrigt und in Folge dessen große Mengen Flüssigkeit von dem Dampfe mit fortgerissen wurden; die Aenderung, statt der Rohre

Schlangen anzuwenden, hat hierin keine Besserung hervorgebracht. Es waren auch hier erhebliche Saftverluste nicht zu vermeiden. Ein weiterer Uebelstand dieser Apparate besteht darin, daß der Dampf, der in der vorderen Kammer eintritt, aus der rückwärtigen als Kondensationswasser abgelassen wird, so daß sämtliche Rohre auf einmal, und in Folge dessen mit einer geringen Geschwindigkeit durchzogen werden; dies ergibt eine schlechte Wärmeübertragung, indem in einzelnen Theilen des Apparates der Dampf sich schwächer bewegt und bei dem großen Durchmesser der Rohre ein schlechtes Austreiben des gebildeten Kondenswassers ergibt.

9. Neuere Konstruktionen an Verdampfapparaten.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß Flüssigkeiten, welche in Gefäßen zur Verdampfung gebracht werden, die eine hohe Flüssigkeitssäule bedingen, beim Kochen sehr stark wallen. Ein gutes Beispiel für diese Erscheinung findet man an den stehenden Kesseln, welche mit den abziehenden Gasen der Puddel- und Schweißhöfen geheizt werden, deren wildes Kochen oft unangenehme Störungen veranlaßt. Die Ursache dieser Wallungen sind die im Innern und am Boden des Gefäßes entwickelten Dampfblasen, welche mit um so größerer Geschwindigkeit, als die Flüssigkeitssäule hoch ist, der Oberfläche zuströmen und, daselbst angelangt, plagen. Bei Flüssigkeit von geringerer Höhe entwickeln sich nur kleine Dampfblasen, welche, da sie keinen weiten Weg zur Flüssigkeitsoberfläche haben, ohne Aufnahme von weiteren Dampfblasen und mit geringer Geschwindigkeit ruhig an die Oberfläche treten. Eine stoßweise kochende Flüssigkeit giebt aber Anlaß zu Verlusten, theils durch Ueberkochen, wenn die Gefäßwände zu niedrig sind, theils durch die abziehenden Dämpfe, welche stets Flüssigkeitstheilchen mitreißen, was namentlich bei konzentrirten Zuckerlösungen schwer in die Waage fällt.

Bei einem Robert'schen Verdampfapparate älterer Konstruktion sind die genannten Uebelstände voll anzutreffen. Hohe Saftsäule, kleiner Flüssigkeitsspiegel und dazu noch ein äußerst niedriger Steigraum für den abziehenden Saftdampf, welcher denselben nicht Zeit läßt, die schwereren mitgerissenen Safttheile fallen zu lassen und mit möglichst großer Geschwindigkeit zur Kondensation zu eilen, sind lauter Nachteile dieser Konstruktion. Denselben Fehler aber hatten auch die ersten liegenden Verdampfapparate aufzuweisen und sind es da besonders die liegenden zylindrischen Apparate (siehe Figur 11 und 12) alter Konstruktion, welche die von der Oberfläche abgehenden Flüssigkeitstheilchen dem Kondensator zuführen, da die Bewegung der abziehenden Dämpfe, bedingt durch

www.libtool.com

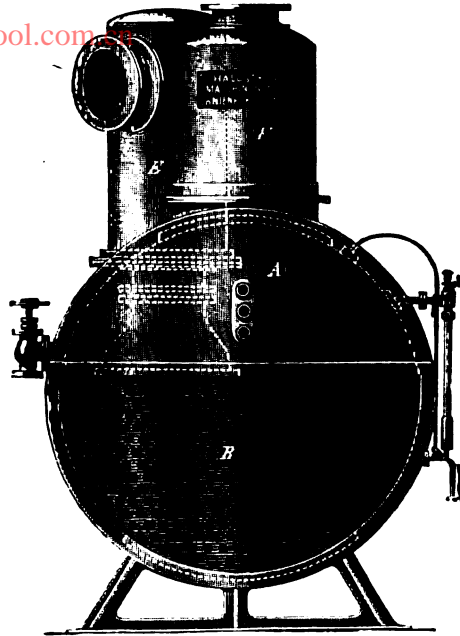


Fig. 11.

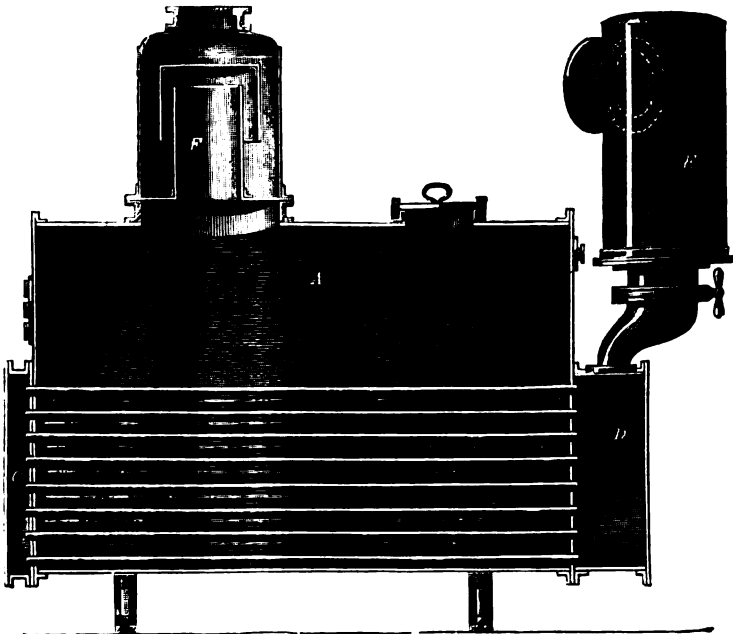


Fig. 12.

die zylindrische Form, nach oben eine immer raschere wird, indem sich der Querschnitt des Steigraumes oberhalb des Flüssigkeitsspiegels, gewöhnlich aber schon unter demselben, bedeutend verringert. Der Dampf durchzieht dann wohl noch einen besonderen Saftfänger, meist aber zwecklos, da die Querschnitte dieser Saftfänger, welche durch Umkehrung der Richtungsänderung ein Absetzen der Flüssigkeitstheile veranlassen sollen, meist zu klein bemessen sind. Der Dampf ist in Folge dessen gezwungen, dieselben mit großer Geschwindigkeit zu durchstreichen und er reißt daher die allenfalls abgesetzten Flüssigkeitstheilchen wieder mit.

Ein weiterer Nachtheil bei hohen Flüssigkeitssäulen liegt in der schlechteren Leistungsfähigkeit der Gesamt-Heizfläche. Vergleichen wir diesbezüglich einen Verdampfapparat, dessen Saftsäule 1,5 m beträgt, wie selbe jetzt noch anzutreffen ist, und einen zweiten Verdampfapparat, dessen Saftsäule bloß 0,5 m beträgt. Setzen wir nur gleiche Dichtigkeit wie für Wasser voraus, so wird bei dem ersten Apparate auf die untersten Schichten durch die Flüssigkeit ein Druck von 0,15 Atm. ausgeübt. Es zeige nun das Vakuummeter eine Spannung von 380 mm Quecksilbersäule oder 0,5 Atm. abf. Druck. Es wird dementsprechend die Oberfläche der Flüssigkeit bei 82° C. sieden, während die untersten Schichten der Flüssigkeit dem um 0,15 Atm. höheren Druck entsprechend bei einem Drucke von $0,5 + 0,15 = 0,65$ Atm. zu sieden beginnen wird, das ist bei 88° C. Die mittlere Siedetemperatur im ganzen Heizsystem wird daher $\frac{82 + 88}{2} = 85$ ° C. betragen. Ist die Temperatur des zu heizenden Dampfes 100° C., so wird der durchschnittliche Temperaturunterschied in diesem Falle $= 100 - 85 = 15$ ° sein.

Betrachten wir nun den zweiten Apparat mit 0,5 m Saftsäule und nehmen dieselben Verhältnisse wie früher an, d. i. die Spannung mit 380 mm entsprechend 0,5 Atm. Druck und den Heizdampf mit 100°, so ist klar, daß hier die untersten Anthteile bei einer Spannung von $0,5 + 0,05 = 0,55$ Atm. ins Sieden kommen; dies entspricht einer Temperatur von 84° C.; da aber die oberste Schicht bei 82° siedet, so ist die durchschnittliche Siedetemperatur aller Flüssigkeitsschichten 83° C., der durchschnittliche Temperaturunterschied $100 - 83 = 17$ °. Da die Größe der Heizfläche im umgekehrten Verhältniß zum Temperaturunterschied steht, so wird die Heizfläche des Verdampfapparates mit niedriger Saftsäule bei unserem Beispiele nur $\frac{15}{17} = 0,88$ von jener des Apparates mit hoher Saftsäule zu sein brauchen; man erspart daher 12% an Heizfläche im Vergleich zu diesem.

Ein zweiter Uebelstand der Verdampfapparate älterer Konstruktion, der Robert'schen stehenden, sowie der liegenden Körper, bei welchem der Dampf in die vordere Kammer eintrat und die gesammten Heizrohre in einem Zuge durchströmte, liegt in der äußerst geringen Dampfzirkulation, in Folge welcher der Dampf seine Wärme nur langsam abgeben kann. Betrachten wir einen liegenden Verdampfapparat, dessen Heizfläche 400 Heizröhren von 55 mm Durchmesser bilden, und der für eine Zuckerfabrik bei einer Verarbeitung von 2000 M.-Ctr. Rüben in 24 Stunden bestimmt war. Diese Fabrik wird etwa 120 Pferdekraft zum Betriebe benötigten und nehmen wir eine Dampfmenge von 35 k für Pferd und Stunde an, so werden in der Stunde $35 \times 120 = 4200$ Stb. = 70 k per Minute Rückdampf erzeugt, welche der Apparat aufzunehmen hatte. Der Rückdampf hatte eine Spannung von 1,5 Atm., es wog 1 cbm 0,887 k, daher $70 : 0,887 = 78,9$ cbm in der Minute = 1,3 cbm in der Sekunde. Die Dampfzuleitung hatte 250 mm in Durchmesser, es trat daher der Dampf durch die Einlaßventile mit einer Geschwindigkeit von 26,5 m in der Sekunde ein und trat in die Heizkammer und aus dieser in die 400 Heizrohre ein. Hier wird aber die Geschwindigkeit des Dampfes eine wesentlich andere sein. Der Gesamtquerschnitt der 552 Rohre = 0,948 qm, daher die Anfangsgeschwindigkeit = $1,3 : 0,948 = 1,3$ m in der Sekunde. Der Dampf wird also in die Rohre mit dieser geringen Geschwindigkeit eintreten und diese Geschwindigkeit wird innerhalb des Rohres eine noch geringere werden, indem durch Kondensation an den Rohrenden die Dampfmenge verringert wird. Dadurch ist es aber ganz unmöglich, eine gute und rasche Entfernung des gebildeten Kondensationswassers aus den Rohren zu erzielen, die Transmissionsfähigkeit der Rohre wird dadurch sehr herabgedrückt und es entläßt ein großer Theil des Heizdampfes den Apparat, ohne seine Wärme abgegeben zu haben. Man ist dann gezwungen, um einigermaßen Strömung des Dampfes in den Rohren hervorzubringen, entweder eine künstliche Kondensation beim Austritt aus dem Apparat durch Einspritzung von kaltem Wasser oder Verbindung mit dem Kondensator hervorzubringen oder mittelst groß abgemessener Brüdenpumpen auch unkondensirte Dämpfe abzusaugen. In beiden Fällen treten natürlich Dampfverluste ein, die besonders bei mehrfacher Verwendung des Dampfes ganz empfindlich werden können.

Das hier für einen liegenden Verdampfapparat Gesagte gilt ebenso für den stehenden Robertkörper, die Zirkulation des Dampfes ist auch hier eine geringe und außerdem ungleichmäßig, die Wärmeabgabe ungenügend. Wenn auch hier das Kondensationswasser besser abgeleitet wird, indem es an den

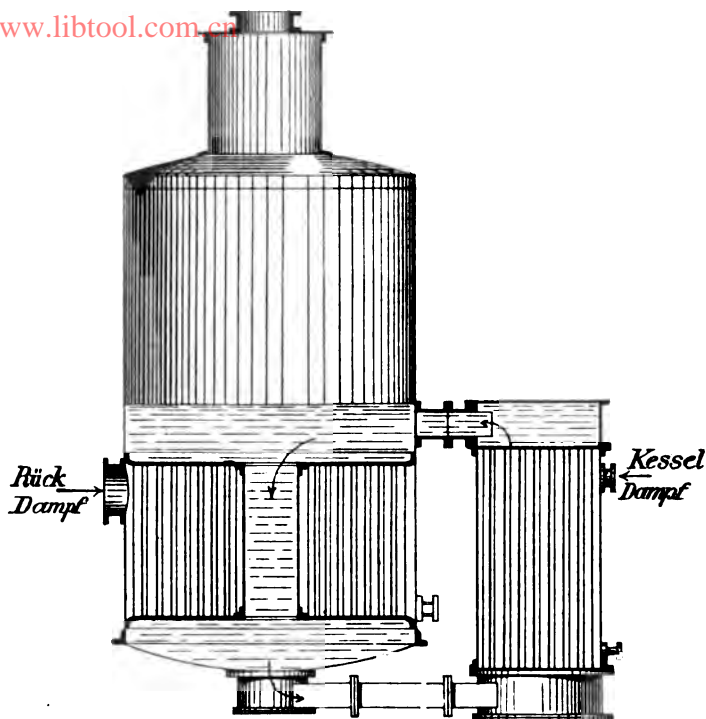


Fig. 13.

Wänden durch die eigene Schwere herunterfließt, so ist das Kochen doch bei dieser Art Verdampfapparaten heftig und stoßweise; wenn dies manchmal als gutes Kochen aufgefaßt wird, so ist es doch nur die verstärkte Wirkung der unter hohem Druck sich entwickelten Dampfblasen in Verbindung mit derjenigen der periodisch sich selbst vom Kondensationswasser reinigenden Heizrohre. Um die Zirkulation des Dampfes sowie die der Flüssigkeit in dem Apparate zu erhöhen, brachte man im Heizsystem verschiedene Verbesserungen an, so z. B. Zirkulationsrohre von 400—500 mm Durchmesser in der Mitte des Apparates (s. oben Fig. 8) oder aber außer Zirkulationskörper (Fig. 13) Schneckengänge und Querwände als Einlagen im Innern des Heizraumes. (Fig. 14 und 15 f. S.)

Bedeutend günstiger in Bezug auf den Transmissionskoeffizienten waren die mit Kupferschlangen versehenen liegenden Apparate, wie solche in Rußland stark verbreitet waren, wenn sie auch in Bezug auf Saftstand und Steigraum keine Verbesserungen enthielten. Der Rückdampf, welcher durch ein Ventill von 250 mm Durchmesser die Heizkammer betritt, expandirt

in einem solchen Apparat nicht, indem die Heizkammer nahezu denselben Querschnitt besitzt, wie das Eintrittsrohr. In der Heizkammer münden etwa 19 kupferne Schlangen mit einem Durchmesser von 80 mm. Der Dampf geht durch die Schlangen mit einer Geschwindigkeit von 12 m in der Sekunde und ist durch diese hohe Geschwindigkeit im Stande, die Rohre vom Kondensationswasser ziemlich frei zu halten, wodurch die Wirkung bedeutend größer wird, als jener der früher angeführten Systeme. Die anderen erwähnten Fehler, die hohe Flüssigkeitssäule, der niedrige Steigraum sowie Dampfverluste in Folge kurzer Dampffläche haften jedoch auch an diesem Apparat.

Eine bei Weitem bessere Anordnung in allen Theilen zeigt der Verdampfapparat von Simirento (Fig. 16 und 17 f. S.). Derselbe bildet

in seinem unteren Theile, welcher die Heizrohre enthält, einen Würfel, an dem sich oben ein senkrechter zylindrischer Theil als Steigraum anschließt. Die Heizfläche besteht aus horizontalen Rohren, von denen je zwei Reihen von links nach rechts und zwei Reihen von vorn nach rückwärts, jedoch in paralleler Richtung zu den ersteren gehen. Aus dem gemeinschaftlichen Dampfzuführungsrohr tritt der Dampf durch A in die Abtheilung B der Heizkammer und durchstreicht zwei Rohrreihen a a, tritt dann in die Abtheilung C, durchstreicht die beiden

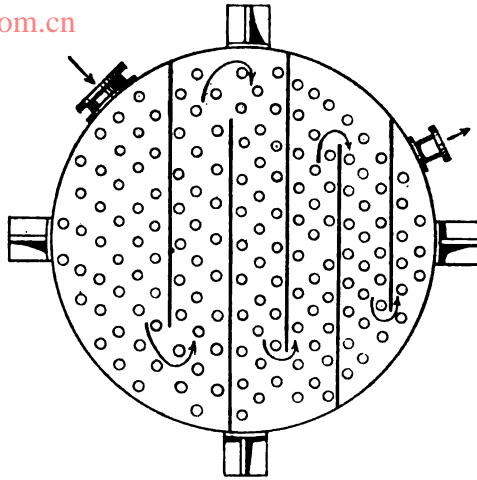


Fig. 14.

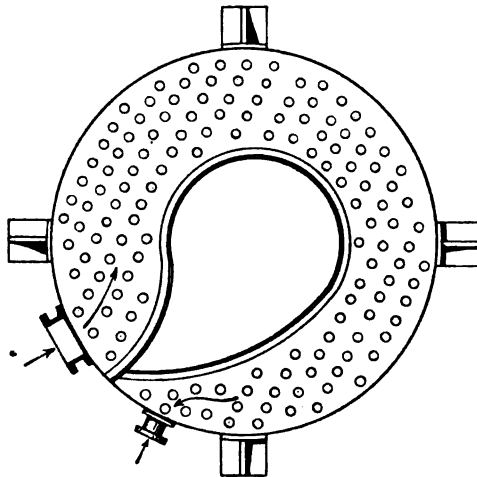


Fig. 15.

Rohrreihen b b, tritt nach D und in die Rohrreihen c c über und dann nach E. Das kondensirte Wasser geht durch die Oeffnungen m n o ab; derselbe Vorgang findet auf der anderen Seite durch das Rohr A¹ statt. E ist das Einlaßventil, F das Ablaßventil für Saft. Durch diese Anordnung der Rohre in einzelnen Zügen, welche der einer Heizschlange ziemlich nahe kommt, ist eine vollkommen gute Dampfzirkulation ermöglicht, das Kondensationswasser wird an den Röhren nicht haften bleiben können, sondern

wird durch den Dampf, der mit ziemlicher Schnelligkeit die Rohre durchstreicht, fortgerissen. Der Saftstand ist ein verhältnißmäßig niedriger, der Steigraum ein entsprechend hoher.

Ein bedeutender Uebelstand liegt bei diesem Apparate in der schwierigen

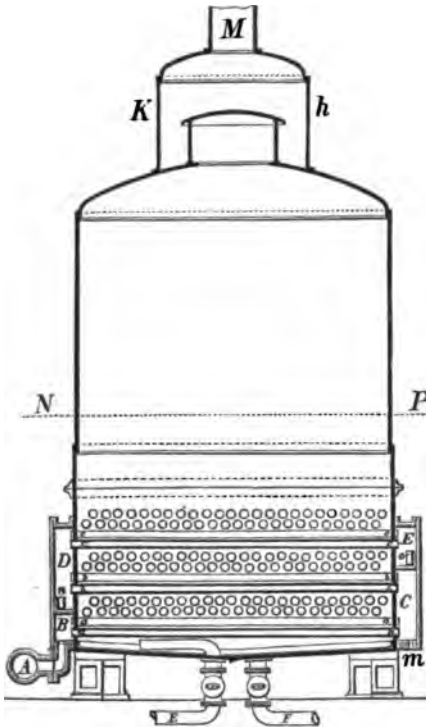


Fig. 16.

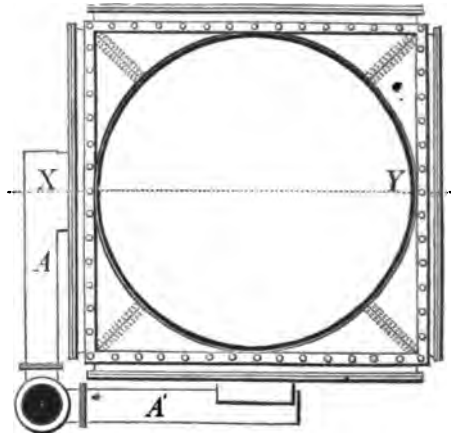


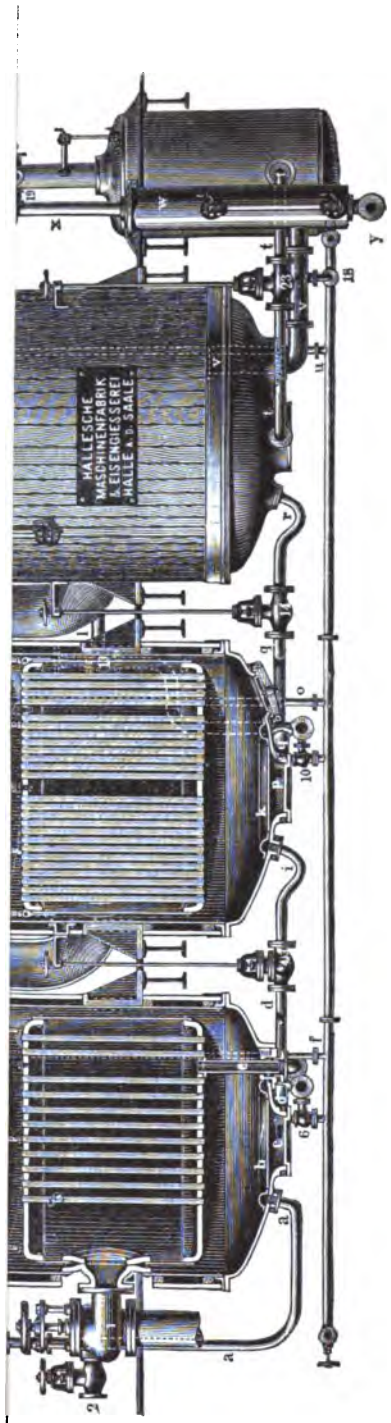
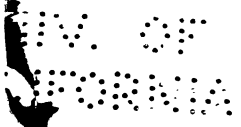
Fig. 17.

Ausführung der ganzen Einrichtung, dadurch geht der durch die Anordnung einer gut leitenden Heizfläche erzielte Gewinn wieder verloren, da die nöthige geringe Heizfläche im Verhältnisse bei weitem theurer ist als bei Apparaten von überall gleichem Querschnitt. Die theure Herstellung hebt hierbei den Vortheil der besseren Ausnützung der Heizfläche, d. h. der Möglichkeit, eine kleinere anzuwenden, wieder auf.

Um die Dampfwärme vollständig auszunützen, hat Simirenko außerdem einen Kondensationswassersammler (Fig. 18 f. S.) konstruirt, der die Kondenswasser aus den einzelnen Abtheilungen des Verdampfapparates gleichmäßig abzuführen hat, ohne unkondensirten Dampf zu entfernen.

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn



021. 800

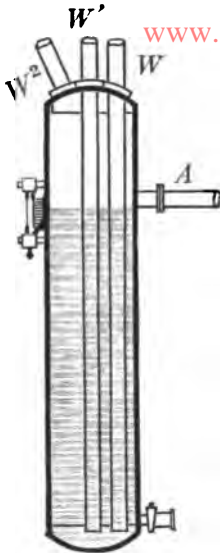


Fig. 18.

welche in den Figuren 19 und 20 (siehe Beilage) in Vorderansicht, Durchschnitt und Grundriß dargestellt ist.

Die einzelnen Theile, deren Bestimmung wir später noch kennen lernen werden, sind:

- A Dünnsaftkasten,
- a Einziehröhr für Saft am I. Körper,
- b u. k Saftvertheilungsröhre,
- c Saftausgang am I. Körper,
- d — 3 Saftüberziehventil vom I. zum II. Körper,
- i Safteingang am II. Körper,
- p Saftausgang vom II. Körper,
- g — 5 Saftüberziehventil vom II. zum III. Körper,
- r Safteingang in den III. Körper,
- t — 23 Saftausgang vom III. Körper,
- e Kondenswasserleitung vom I. Körper,
- l Brüdenwasser vom II. zum III. Körper,
- v Brüdenwasser vom III. Körper zum Wasserscheider W.,
- x Brüdenrohr am Wasserscheider,
- 20 Regulirventil zu demselben,
- y Brüdenwasser vom Wasserscheider zur Pumpe,
- a, — 19 Rohr und Ventil zur Entleerung des Dicksafthebers,
- 1 Rückdampfventil am I. Körper,

Der Sammler besteht aus einem einfachen vertikalen Zylinder, in welchem die Röhre W und W¹ nahe bis zu den unteren Boden reichen, während W² bloß in den oberen Theil einmündet. Die Kondenswässer aus den Abtheilungen C und D gehen durch die Oeffnungen m und n in die Röhre W und W¹ zum Boden des Zylinders, während die Abtheilung E, welche stets eine gewisse Menge Gas enthält, durch W² oben einmündet. Eine Pumpe (Luft- oder Brüdenpumpe) zieht die Kondenswässer mit den Ammoniakgasen durch das Rohr A ab. Am unteren Theil ist noch ein Lufthahn angebracht, seitlich ein Wasserstandglas.

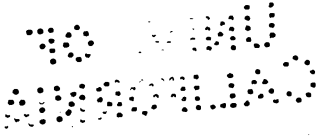
Eine eigenthümliche Einrichtung der Heizröhren ist die mit eingehängten Heizkammern, welche von der Halle'schen Maschinenfabrik und Eisgießerei, vormals Niesel & Kemnig, gebaut werden und

2 Kesseldampf-Ventil am I. Körper,
 6, 10, 18 Probirwässerventile für die Heizkammern,
 f 7, o 11, u 45 Probirwässerventile für die Apparatmäntel,
 8, 9, 12 Ventile für Säure,
 m Ammoniakabzugrohre,
 n Saftablaß vom Uebersteiger,
 V Vakuummeter,
 T Thermometer,
 B Butterhahn,
 S Saftstand,
 M Dicksaftheber,
 W Probirwasserleitung,
 G Augengläser,
 C Mannloch.

Die Vorzüge dieses Systems mit eingehängter Heizkammer bestehen hauptsächlich darin, daß die Zirkulation des Saftes im Apparat eine bedeutend lebhaftere und bessere ist als in den Apparaten mit festem Heizrohrsystem und mittleren Zirkulationsrohr, weil der Saft nicht allein durch die Heizrohre, sondern auch um den Mantel der Heizkammer sich frei bewegen kann. Ferner wird die Mantelfläche der Heizkammer in zweckmäßigster Weise ebenfalls als Heizfläche benutzt. Aus diesen beiden Gründen ist die Leistungsfähigkeit dieser Verdampf-Apparate eine größere als diejenige gleich großer Apparate mit festem Rohrsystem, dabei kochen die Apparate ruhiger, mit weniger Ueberreißern von Safttheilchen. Außerdem bietet die Konstruktion der eingehängten Heizkammer den Vortheil, daß man jederzeit in der Lage ist, das ganze Rohrsystem aus dem Apparatkörper herausnehmen und nach jeder Richtung hin untersuchen zu können. Das Hereinbringen und Herausnehmen der Heizkammern ist erfahrungsmäßig ohne Schwierigkeit auszuführen, weil die in den Heizkammern angebrachten Aufhänge-Vorrichtungen in bequemer Weise dazu benutzt werden.

Eine große Veränderung im Bau der Verdampfapparate vollzog sich in der Aufstellung der F. Wellner = S. Jelinek'schen Verdampfapparate, welche im Jahre 1878 konstruirt und im Jahre 1879 zuerst in Böhmen eingeführt wurden und seither eine große Verbreitung erlangt haben. Ein Körper des Wellner-Jelinek'schen Apparates von zwei verschiedenen Einrichtungen ist in Fig. 21, 22 und 23, 24 (siehe Beilagen) dargestellt. In den Figuren bedeuten: F = Saftfänger, V = Vakuummeter, H = Heizkammern, K = Verdampfkörper, R = Heizrohre, T = Tragfüße, Da =

www.libtool.com.cn



2 Kesseldampf-Ventil am I. Körper,

6, 10, 18 Probitwasser-ventile für die Heizkammern,

f 7, o 11, u 45 Probitwasser-ventile für die Apparatmäntel,

8, 9, 12 Ventile für Säure,

m Ammoniakabzugrohre,

n Saftablaß vom Uebersteiger,

V Vakuummeter,

T Thermometer,

B Butterhahn,

S Saftstand,

M Dicksaftheber,

W Probitwasserleitung,

G Augengläser,

C Mannloch.

Die Vorzüge dieses Systems mit eingehängter Heizkammer bestehen hauptsächlich darin, daß die Zirkulation des Saftes im Apparat eine bedeutend lebhaftere und bessere ist als in den Apparaten mit festem Heizrohrsystem und mittleren Zirkulationsrohre, weil der Saft nicht allein durch die Heizrohre, sondern auch um den Mantel der Heizkammer sich frei bewegen kann. Ferner wird die Mantelfläche der Heizkammer in zweckmäßiger Weise ebenfalls als Heizfläche benutzt. Aus diesen beiden Gründen ist die Leistungsfähigkeit dieser Verdampf-Apparate eine größere als diejenige gleich großer Apparate mit festem Rohrsystem, dabei kochen die Apparate ruhiger, mit weniger Ueberreißen von Safttheilchen. Außerdem bietet die Konstruktion der eingehängten Heizkammer den Vortheil, daß man jederzeit in der Lage ist, das ganze Rohrsystem aus dem Apparatkörper herausnehmen und nach jeder Richtung hin untersuchen zu können. Das Hereinbringen und Herausnehmen der Heizkammern ist erfahrungsmäßig ohne Schwierigkeit auszuführen, weil die in den Heizkammern angebrachten Aufhänge-Vorrichtungen in bequemer Weise dazu benutzt werden.

Eine große Veränderung im Bau der Verdampfapparate vollzog sich in der Aufstellung der F. Wellner = H. Jelinek'schen Verdampfapparate, welche im Jahre 1878 konstruirt und im Jahre 1879 zuerst in Böhmen eingeführt wurden und seither eine große Verbreitung erlangt haben. Ein Körper des Wellner-Jelinek'schen Apparates von zwei verschiedenen Einrichtungen ist in Fig. 21, 22 und 23, 24 (siehe Beilagen) dargestellt. In den Figuren bedeuten: F = Saftfänger, V = Vakuummeter, H = Heizkammern, K = Verdampfkörper, R = Heizrohre, T = Tragfüße, Da =

in einem solchen Apparat nicht, indem die Heizkammer nahezu denselben Querschnitt besitzt, wie das Eintrittsrohr. In der Heizkammer münden etwa 19 kupferne Schlangen mit einem Durchmesser von 80 mm. Der Dampf geht durch die Schlangen mit einer Geschwindigkeit von 12 m in der Sekunde und ist durch diese hohe Geschwindigkeit im Stande, die Rohre vom Kondensationswasser ziemlich frei zu halten, wodurch die Wirkung bedeutend größer wird, als jener der früher angeführten Systeme. Die anderen erwähnten Fehler, die hohe Flüssigkeits säule, der niedrige Steigraum sowie Dampfverluste in Folge kurzer Dampf fläche haften jedoch auch an diesem Apparate.

Eine bei Weitem bessere Anordnung in allen Theilen zeigt der Verdampfungsapparat von Simirenko (Fig. 16 und 17 f. S.). Derselbe bildet

in seinem unteren Theile, welcher die Heizrohre enthält, einen Würfel, an dem sich oben ein senkrechter zylindrischer Theil als Steigraum anschließt. Die Heizfläche besteht aus horizontalen Rohren, von denen je zwei Reihen von links nach rechts und zwei Reihen von vorn nach rückwärts, jedoch in paralleler Richtung zu den ersteren gehen. Aus dem gemeinschaftlichen Dampfzuführungsrohr tritt der Dampf durch A in die Abtheilung B der Heizkammer und durchstreicht zwei Rohrreihen a a, tritt dann in die Abtheilung C, durchstreicht die beiden

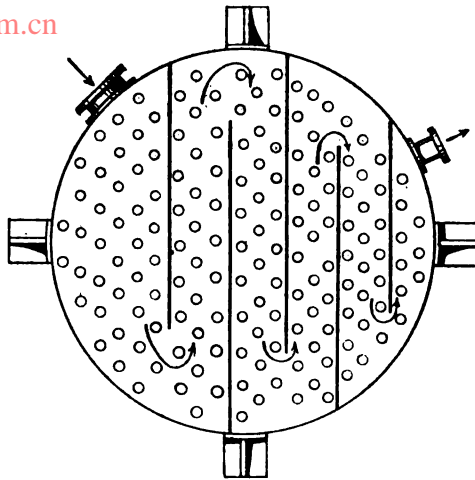


Fig. 14.

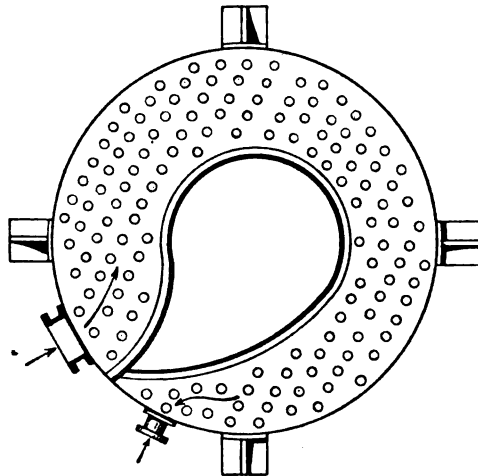


Fig. 15.

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

Heizventil für Kesselampf, Dr = Heizventil für Rückampf, C = Kondensationswasserablaß, L = Luftventil, M = Mannloch, S = Schauloch, B = Brüdenampfabzug, W = Schmutzwasserablaß, P = Talpotasimeter, s = Safteingangsventil, E = Verbindungsstutzen zwischen Apparat und Saftfänger.

Bei der Konstruktion dieses Apparates suchten die Erfinder etwas zu schaffen, was dem Zweck eines guten Verdampfapparates entsprechen sollte und mit den alten Formen, soweit dieselben sich nicht bewährt hatten, vollständig zu brechen; sie wählten deshalb für diesen neuen Apparat die sogenannte Kofferform. Durch diese Form wird es ermöglicht, die Flüssigkeitssäule möglichst niedrig, 0,5 bis 0,6 Meter, zu halten und trotzdem die ganze erforderliche Heizfläche unter der niedrigen Flüssigkeitsschicht unterzubringen. Die Heizfläche besteht aus Röhren oder Schlangen von kleinem Durchmesser (etwa 20 mm lichter Weite), welche dem Dampfe eine entsprechende Länge des Weges gestatten, so daß eine vollkommene Kondensation desselben stattfindet; außerdem ist die Einrichtung getroffen, daß die Querschnitte sämtlicher Röhre eines Dampfzuges solche Abmessungen haben, daß die Geschwindigkeit in derselben nie kleiner wird als die Geschwindigkeit des durch Ventile eintretenden Dampfes; es bleibt die Anfangsgeschwindigkeit somit stets die gleiche, etwa 25 m (bei einer Spannung von 1,5 Atm.), eine Geschwindigkeit, welche ein Absetzen des Kondensationswassers in den Röhren nicht gestattet. Es wird vielmehr das Wasser in Tropfen mitgerissen und erst am Ende des Zuges abgesetzt. Um die nötige Länge der Röhre zu erhalten, sind dieselben, wie schon erwähnt, schlangenförmig, in Bügen, angeordnet. Die ganze Heizfläche ist in mehrere Heizsysteme geteilt; ebenso gestattet die Konstruktion statt der Röhre Schlangen zu verwenden mit den angeführten kleinen Durchmesser und entsprechender Länge. Die Wände des Steigraumes sind senkrecht und schließen sich erst in einer gewissen Höhe vom Flüssigkeitsspiegel zu einem Halbkreis. Der untere Boden ist flach, die Flüssigkeit hat bei niedriger Säule auch eine entsprechend große Oberfläche, es entwickeln sich die Brüdenämpfe ruhig, ohne stoßweise abzugehen, trotzdem ist die Zirkulation der Flüssigkeit eine große, weil die ganze Masse gleichmäßig kocht und überall dieselbe Temperatur und derselbe Temperaturunterschied herrscht. Die Brüdenampfzüge sind von großem Durchmesser, die Höhe der Flüssigkeit zur Höhe des Steigraumes verhält sich wie 1 : 5, ein Ueberkochen daher unmöglich.

Daß die W.-J. Apparate wirklich Ersparnisse an Heizfläche bieten können, ersieht man aus den Ergebnissen der Abdampfversuche, welche im

Großen durchgeführt wurden und die ergaben, daß 1 qm dieser Heizfläche für einen Grad Temperaturunterschied und Minute 24 Wärme-Einheiten abgibt, während 1 qm stehender Apparate bloß 16 Wärme-Einheiten übergehen

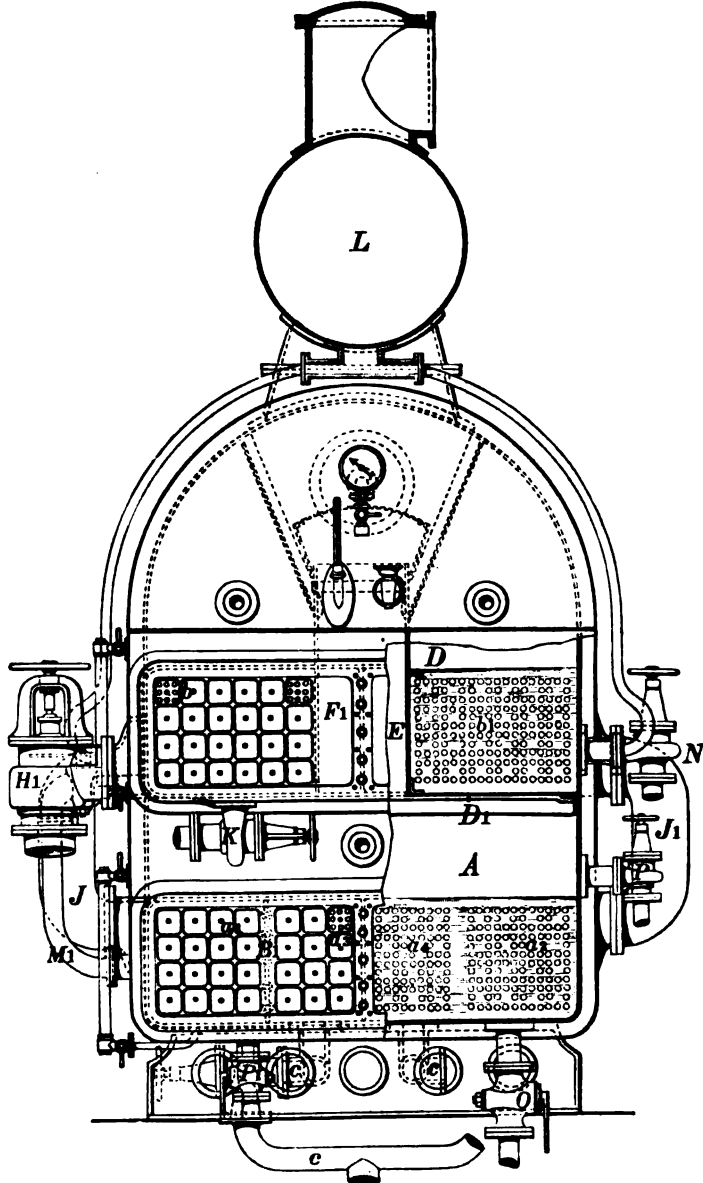


Fig. 25.

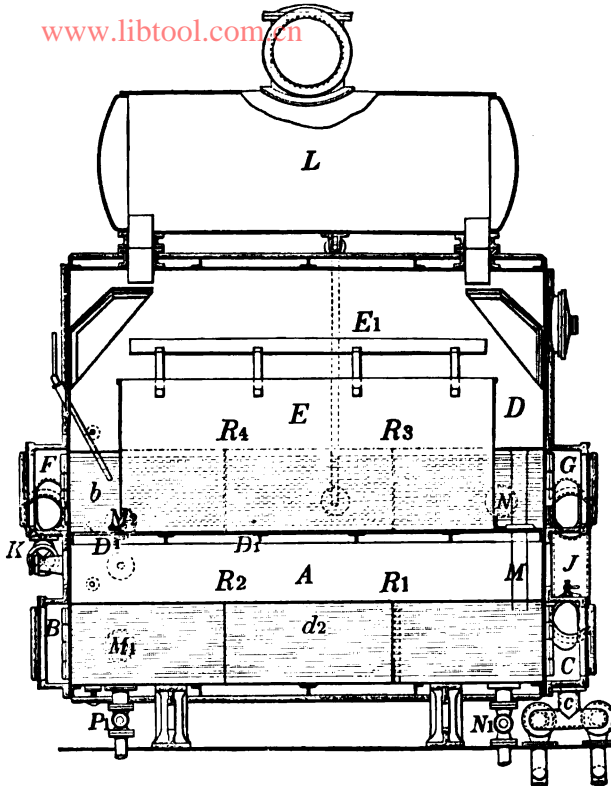


Fig. 26.

läßt. Man ersieht daraus, daß der Werth der Heizfläche eines W.-J. Apparates um $\frac{24}{16} = 1,5$ mal größer ist als der eines stehenden Apparates.

Eine noch größere Verdampfoberfläche erhält die kochende Flüssigkeit in dem Stufen- oder sogenannten Stagenapparat, der auch mit Erfolg in der Praxis eingeführt ist.

Figur 25 stellt eine Vorderansicht des Apparates mit weggenommenen Heizkammerdeckeln und theilweisem Schnitt durch die Stagen, Figur 26 einen Vertikallängenschnitt durch den Apparat dar.

Im unteren Theile des Apparates breitet sich die den ganzen Boden bedeckende Heizanlage der ersten Stufe (Stage) A aus, deren schwache Rohre a_1 , a_2 , a_3 und a_4 durch die Stirnwände des Apparates in die vordere Heizkammer B und hintere Heizkammer C ausmünden. Die obere Stufe D, deren Boden D_1 in geringer Höhe über der unteren Stufe zu

liegen kommt, besitzt eine kleinere Anzahl Heizrohre b und b_1 , da durch den in der Mitte des Bodens D_1 aufgesetzten Brüdenabzug E der unteren Stufe A einiger Raum verloren geht. Die Heizrohre b der oberen Stufe münden in die Heizkammer F und G und sind an den Rohrwänden (Stirnwänden) des Apparates nach bekannter Art behufs leichter Auswechslung mit Kautschuk gedichtet.

Die Heizung geschieht nun wie folgt: Die Heizkammer F der oberen Stufe D ist durch eine Zwischenwand in zwei Abtheilungen F_1 F_2 getheilt und besitzt zum Einlaß des Dampfes die beiden Ventile H_1 und H_2 . Der Dampf durchströmt in zwei getrennten Strömen die Heizrohre b und b_1 von vorn nach hinten, gelangt in die Abtheilungen G_1 und G_2 der Heizkammer G und fällt dort durch die Verbindungsröhre I und I_1 in

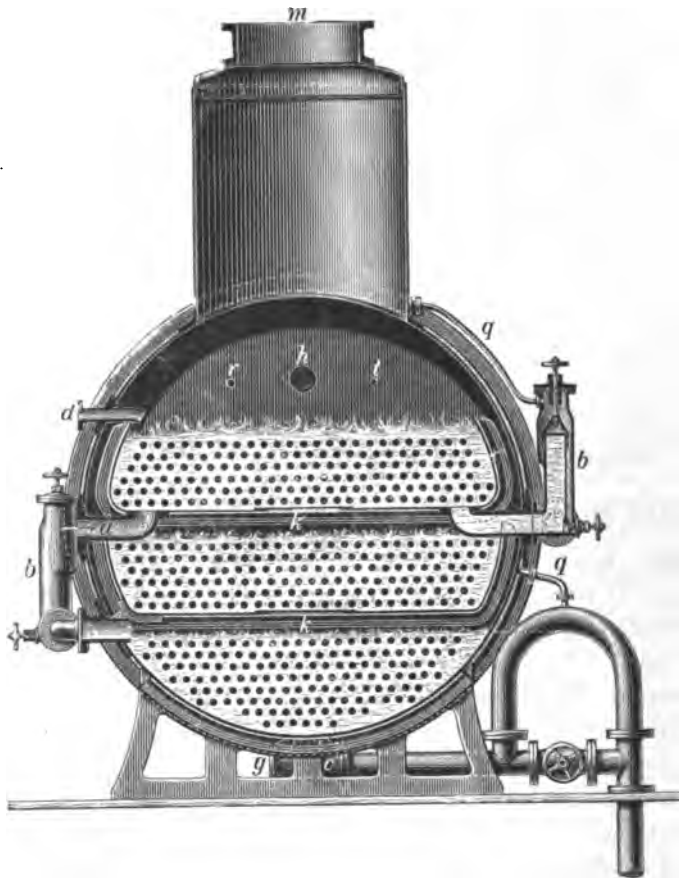


Fig. 27.

die Heizkammer C der unteren Stufe A ab. Dabei gelangt er vorerst in die Abtheilungen C_1 und C_2 , durchströmt die Heizrohre a_1 und a_2 von hinten nach vorn und tritt in den Abtheilungen B_1 und B_2 der Heizkammer B in die Rohre a_3 und a_4 über, um dieselben nochmals von vorn nach hinten zu durchstreichen und endlich durch die Abtheilungen C_3 und C_4 der Heizkammer C als Kondensationswasser durch die Rohre und Ventile e den Apparat zu verlassen. Zur Heizung des Apparates mit direktem Dampf sind an der Heizkammer F zwei Dampfventile K und K_1 angebracht, so daß es möglich ist, den Apparat zur Hälfte mit direktem, zur Hälfte mit Rückdampf, oder ganz mit direktem oder ganz mit Rückdampf zu speisen. Durch die sehr lebhafteste Dampfzirkulation werden die Heizrohre andauernd gleichmäßig warm gehalten und es tritt daher, durch die niedrige Saftschicht über dem Rohr begünstigt, eine sehr lebhafteste Verdampfung ein, wodurch mit den Brüden sehr viel Safttheilchen

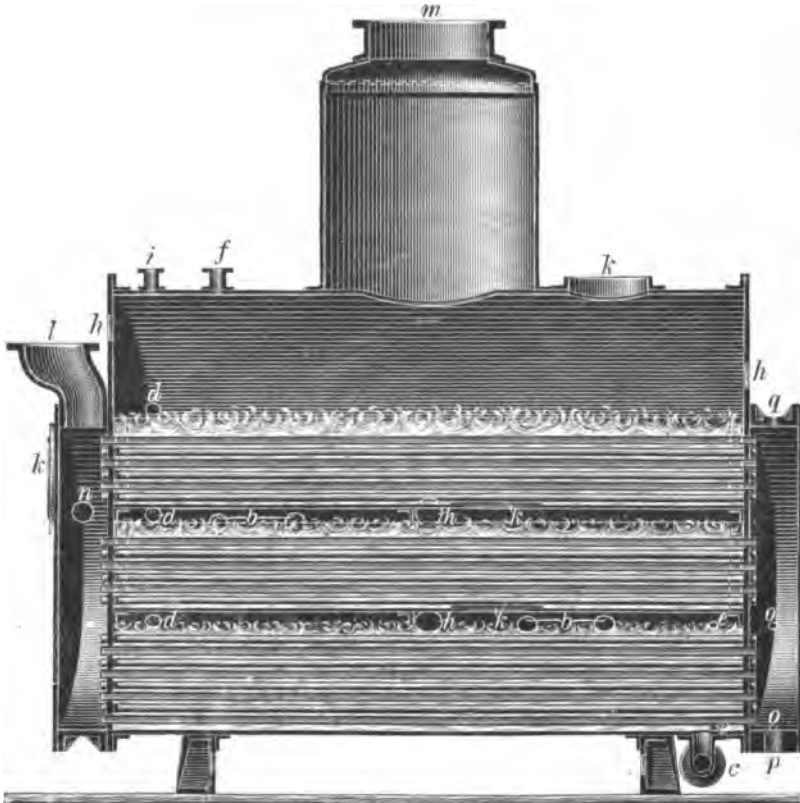


Fig. 28.

verloren gehen würden, wenn nicht sowohl durch die günstige kofferförmige Gestalt des Apparates bezw. dessen Wölbung über der oberen Stufe sowie durch einen eigens aufgesetzten Saftfänger nach bekannter Konstruktion diesem Uebelstande einigermaßen vorgebeugt würde.

Eine eigenthümliche Ausführung des Gedankens der Eintheilung in Stufen stellt der Innenpfannen-Verdampfapparat Patent Müller (D. R.-P. 30677) dar, welcher in den Figuren 27 und 28 (Seite 34 und 35) in zwei Durchschnitten und zwar in der Weise, wie derselbe von G. Heckmann in Breslau gebaut wird, dargestellt ist. Im Herbst 1889 waren bereits 9 solcher Apparate im Betriebe. In einem gemeinschaftlichen Gehäuse befinden sich über einander angeordnete, von einander getrennte Pfannen, so daß die in denselben enthaltenen Flüssigkeiten nicht unmittelbar mit einander in Verbindung stehen. In jeder Pfanne befindet sich ein eigenes Heizsystem mit besonderer Dampfzuleitung und Ableitung der Kondenswässer. Es hat jede Pfanne ihren begrenzten Flüssigkeits- oder Saftstand oberhalb der Heizrohre, welche horizontal angeordnet sind; der Flüssigkeitsstand ist begrenzt durch eine am Boden jeder Pfanne angebrachte Ueberlauf- und Ablassvorrichtung. Die Lagerung der Heizrohrreihen ist versezt, angeblich um den sich entwickelnden Dampfblasen freien Durchgang zu gestatten, damit ein ruhiges Kochen erzielt wird und kein Heizrohr direkt über das andere zu liegen kommt. Der Dünnsaft tritt in die oberste Pfanne ein und ergießt sich, wenn der normale Stand erreicht ist, durch den Ueberlaufstutzen b in die darunter liegende Pfanne, von hier abermals in die tiefer liegende Pfanne bis in die unterste, von wo der Dicksaft mittelst Pumpe abgesaugt wird.

Zeichenerklärung zu den Figuren 27 und 28.

- a Safteingangsstutzen in der obersten Pfanne,
- b Uebersteiger nach der nächst tiefer gelegenen Pfanne,
- c Saftablassstutzen aus der untersten Pfanne,
- d Säureeinzüge,
- e Saftstand der untersten Pfanne,
- f Spülwasser-Eingangsstutzen,
- g Spülwasser-Ausgangsstutzen,
- h Schaugläser,
- i Ausdampfstutzen,
- k Mannlöcher,
- l Brüdeneingangsstutzen,
- m Brüdenausgangsstutzen,
- n Eingang für direkten Dampf,

- o Wasserstand der Dampfkammer,
- p ~~Kondenswasser-Abfluß~~, cn
- q Ammoniak- und Luftabzüge,
- r Butterhahn,
- s Vakuum-Manometer,
- t Thermometer.

Die Verdampfungsfähigkeit ist wegen der 3 großen Saftoberflächen, der niedrigen Flüssigkeitsschicht und der sehr raschen Bewegung der Safttheilchen an den Heizflächen entlang eine sehr kräftige. Dabei findet ein ruhiges Kochen statt, so daß ein Ueberreißen von Safttheilchen ausgeschlossen ist. Die bei den Berechnungen bisher angenommene Verdampfungsfähigkeit von 35 Liter Wasser für ein qm Heizfläche und Stunde im Dreiförper ist in der Praxis noch übertroffen worden.

Die Handhabung des Apparats ist eine sehr einfache. Hat man einmal herausgefunden, wie viel Saft dem Apparat durch das Einzugsventil nach der oberen Pfanne zugeführt werden muß, so ist ein Stellen an demselben während des Kochens wenig oder gar nicht erforderlich. Die einzelnen Pfannen regeln sich durch die Ueberlaufrohre, deren Schieber man so einstellt, daß die Heizrohre in den Pfannen immer noch

von Saft bedeckt bleiben. In der Zeichnung ist der kontinuierliche Saftabzug aus der untersten Pfanne eines letzten Apparats nach dem Saftheber oder Pumpe dargestellt.

Die Dichtung der Rohre in die Stirnplatten ist einfach und zuverlässig. Jedesmal 3 Rohre werden durch aufgeschobene Gummiringe und eine diese Ringe andrückende Brille gedichtet, in ähnlicher Weise, wie dies ja früher vielfach ausgeführt wurde, nur mit dem Unterschiebe, daß kein Steg den Querschnitt der Rohre verengt (siehe Fig. 29 und 30).

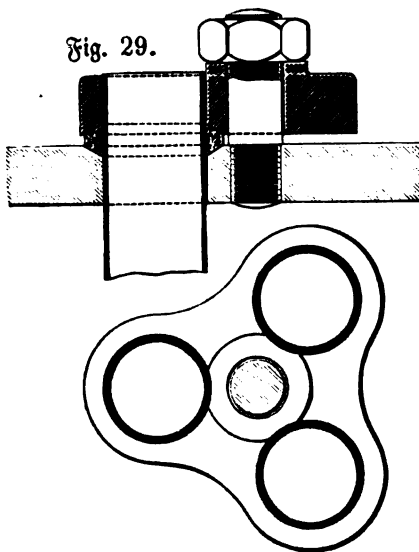
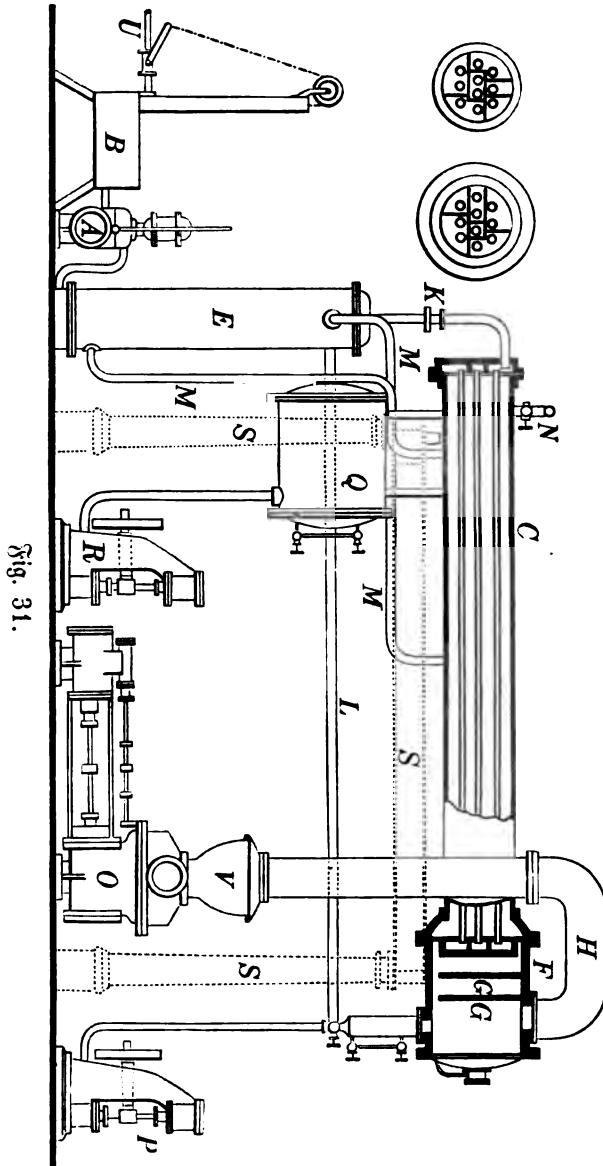


Fig. 30.

Ein Verdampfapparat, der in Form und Konstruktion von den bisher beschriebenen wesentlich abweicht, ist der in neuerer Zeit in Amerika aufgekommene Verdampfapparat von Daryan. Derselbe besteht

aus einem Röhrensystem, welches von einem von Dampf durchströmten Zylinder umgeben ist und einem sogenannten Separator, der die konzentrierte Flüssigkeit von den Dämpfen scheidet. Die zu verdampfende Flüssigkeit wird dem Apparat durch ein stellbares Ventil zugeführt, welches jedem Rohr nur eine gewisse Menge Saft zukommen läßt. Ein Theil der



Flüssigkeit durchströmt jedes Rohr, ohne länger als eine Minute mit demselben in Berührung zu bleiben, die konzentrierte Flüssigkeit ergießt sich sodann in ein Gefäß, aus welchem sie abgelassen oder von einer Pumpe abgefaugt wird, während der entwickelte Dampf zur Heizung eines zweiten Apparates verwendet oder einem Kondensator zugeführt wird. Der abziehende Brüden Dampf geht noch durch eine Vorrichtung, welche allenfalls mitgerissene Safttheile sich absetzen lassen soll. Die Arbeit mit diesem Apparat ist eine ununterbrochene, die Gefahr des Schäumens und Uebersteigens von Säften soll vollkommen vermieden sein. Die Rohre, in welchen die Verdampfung stattfindet (der heizende Dampf ist außerhalb der Rohre), sind aus verzinnem Kupfer und sollen selbst nach langem Gebrauche keine Inkrustationen zeigen, ihre Reinigung erfolgt allenfalls leicht durch einen Dampfstrahl.

In Figur 31 (Seite 38) ist dieser eigenthümliche Apparat, soweit wie hier zum Verständniß nöthig, dargestellt. Genaueres und Vollständigeres wird später bei der Beschreibung der zusammengesetzten Apparate angegeben werden.

II. Berechnung der Heizfläche und des nöthigen Heizdampfes bei Verdampfung mit Kustleere.

Im vorigen Abschnitt haben wir die Menge des nöthigen Heizdampfes sowie die Größe der Heizfläche bestimmt, unter der Voraussetzung, daß die Verdampfung eine offene, d. h. daß die entwickelten Dämpfe in die Atmosphäre austreten. Wir wollen nun annehmen, daß der Raum, der sich über der abzubampfenden Flüssigkeit befindet, der Saftdampfraum, geschlossen ist und wollen unsere Betrachtungen an diesem Apparat anstellen. Um die nun entwickelten Flüssigkeitsdämpfe zu entfernen, muß aber mit diesem Apparat irgend eine Kondensationsvorrichtung verbunden sein, welche entweder durch eine gekühlte Oberfläche, die Oberflächenkondensation, oder durch eingespritzte Kühlwassermengen, die Einspritzkondensation, wirkt. Es ist ohne Weiteres einleuchtend, daß die Kondensation eine kräftigere Wirkung haben wird, wenn die dargebotenen Flächen bez. das eingespritzte Wasser eine niedrigere Temperatur haben wird, als wenn die Kondensation bei einer Temperatur erfolgen soll, welche derjenigen des entwickelten Dampfes ziemlich gleich kommt. Es wird auch hier der Temperaturunterschied zwischen diesem Dampf und dem Kondensationsmittel (Oberfläche und Einspritzwasser) maßgebend sein für die Menge des zur Kondensation nöthigen Wassers und die

Größe der Kondensationsoberfläche. Je rascher und kräftiger nun die Kondensation erfolgt, desto schneller werden die entwickelten Flüssigkeitsdämpfe fortgeschafft, eine desto wirksamere und größere „Luftleere“ entsteht im Verdampfungsapparat. Es ist eine bekannte physikalische Thatsache, daß Flüssigkeiten, welche ganz oder theilweise vom atmosphärischen Druck entlastet sind, leichter sieden, d. h. bei niedrigerer Temperatur ins Sieden kommen, ebenso wie Flüssigkeiten, auf welchen ein höherer Druck als der der Atmosphäre wirkt, bei höherer Temperatur als 100° C., der Siedetemperatur der Atmosphäre, sieden; die entwickelten Dämpfe müssen natürlicherweise immer jene Spannung annehmen, die über der Flüssigkeit herrscht (siehe I. Buch). Spannung und Temperatur des Dampfes sind aber von einander abhängig in der Weise, daß, wenn die eine steigt oder fällt, die andere in gleichem Verhältnisse steigt und fällt. Die Temperatur des entwickelten Dampfes wirkt aber auch auf die der Flüssigkeit zurück, so zwar, daß diese keine höhere Temperatur haben kann als der entwickelte Dampf. Es wird demnach bei Bildung von Luftleere, d. h. einer geringeren Spannung als die der Atmosphäre über der abzubampfenden Flüssigkeit, die Siedetemperatur derselben herabgesetzt. (Vergl. die Tabellen im I. Buch.) Es entsteht zwischen Heizdampf und zu heizender Flüssigkeit ein größerer Temperaturunterschied und in Folge dessen ein rascheres Kochen. Das Umgekehrte tritt ein bei Erhöhung des auf die Flüssigkeit lastenden Druckes, die Temperatur wird höher, der Temperaturunterschied kleiner, das Kochen langsamer.

10. Verlorene Wärme bei der Verdampfung in offenen Pfannen, sowie bei der einfachen Verdampfung in geschlossenen Gefäßen.

Die bei der Berechnung der Dampfmenge und Heizfläche bei Verdampfung mit offenen Pfannen erhaltenen Formeln haben auch hier Geltung.

Wir fanden dort bei der Anwärmung die Formeln:

$$Q = F C \left(t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2} \right) = Wg (t_1 - t_0) c$$

$$F = \frac{Wg (t_1 - t_0) c}{C \left(t_2 - \frac{t_0 + t_1}{2} \right)}, \quad Dg = \frac{Q}{r} \quad \text{worin: } r = 607 - 0,708 t_1$$

und für die Verdampfung:

$$Q = F C (t_2 - t_1) = Wg (\lambda - t^{\circ})$$

$$F = \frac{Wg (\lambda - t_0)}{C (t_2 - t_1)} \quad Dg = \frac{Q}{r} \quad \text{worin: } r = 607 - 0,708 t_1$$

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t_2$$

t_0 = Temperatur des eintretenden Saftes.

Bei der Verdampfung in offenen Gefäßen hat der siedende Saft die beiläufige Temperatur von 100° C. Nehmen wir nun an, daß der zugeführte, zur Konzentration bestimmte Saft diese Temperatur bereits besitzt, so daß weder zu seiner Erwärmung auf dieselbe eine Wärmemenge erforderlich ist, noch daß er Wärme abzugeben hätte. Der Heizdampf habe $2,5$ Atm. = 128° C. Es wird dann der Temperaturunterschied sein $128 - 100 = 28^{\circ}$, woraus die Heizfläche mit $F = Q C \times 28$ bestimmt werden kann. Betrachten wir nun die kondensierte Heizdampfmenge und die Menge des mittelst derselben verdampften Wassers. 1 k Heizdampf giebt bei der Verdampfung an Wärme zur Verdampfung ab $r = 607 - 0,708 \times 128 = 516,4$ Kal., dabei geht aber das Kondensationswasser mit einer Temperatur von $\lambda - r = 131,1$ entsprechend dem in der Heizvorrichtung herrschendem Drucke ab, die Gesamtwärme des Dampfes ist $\lambda = 645,5$. Im entwickelten Saftdampf ist dagegen die Gesamtwärme $\lambda = 606,5 + 0,305 \times 100$ enthalten, = 637 Kal., welche abzüglich der 100° , mit welchen der Saft verbleibt, also $637 - 100 = 537$, nutzlos verloren gehen. 1 k Heizdampf giebt ab $516,4$ Kal., 1 k verdampftes Wasser benötigt 537 Kal., daher werden $516,40 : 537 = 0,961$ k Wasser mit 1 k Dampf verdampft.

1 k Dampf giebt ab $516,4$ Kal.

$0,961$ k verdampftes Wasser haben $516,4$ Kal., daher sämtliche zugeführte Wärmemenge, abgesehen natürlich von Strahlungs- und Leitungsverlusten, in die Atmosphäre resp. zum Kondensator geht, daher verloren erscheint.

11. Mehrkörper-Verdampfapparate.

Es ist klar, daß jene Wärmemenge, die in den abgehenden Dämpfen liegt und der Wärme der dem Heizdampf zugeführten Wärmemenge gleich ist, bei der Verdampfung in offenen Pfannen ganz verloren geht und daß bei der Verdampfung im luftleeren Raum zu ihrer Entfernung oder Ableitung noch entsprechende Mengen Kühlwasser herangezogen werden müssen. Die Thatsache, daß man auch die Dämpfe in einem Raume kondensiren kann, dessen Wände eine nur um Geringes niedrigere Temperatur besitzen als der zu kondensirende Dampf selbst hat, brachte auf den Gedanken, diese entwickelten Flüssigkeitsdämpfe zur neuerlichen Verdampfung von anderer Flüssigkeit zu verwenden, und es wurde die Ausführung dieses Gedankens hauptsächlich durch die Anwendung der Druckverminderung (Luftleere) ermöglicht. Stellen wir uns einen Verdampfapparat vor, dessen Safttraum eine Spannung von $0,2$ Atm. hat, so wird die Flüssigkeit bei 60° ins Sieden kommen. Zum Heizen dieser Flüssigkeit kann man einen Dampf benutzen, der nur

allein die Ersparnisse bei mehrfacher Verdampfung kommen in Betracht, sondern auch die Anlage, welche um so theurer wird, je größer diese Ersparnisse werden sollen, denn wie wir später sehen werden, sind die Heizflächen beim Zweikörper doppelt so groß anzulegen wie beim Einkörper, beim Dreikörper dreimal so groß u. s. f., wie in der Tabelle angeführt ist. Die praktische Grenze in der mehrfachen Verwendung des Dampfes muß in jedem einzelnen Falle die Berechnung entscheiden, in wie weit es möglich ist, die vergrößerten Anlagelkosten mit den Ersparnissen zu decken, was auch namentlich vom Preise des Brennmaterials abhängt. Bei billigem Brennmaterial werden sich die einfacheren Anlagen, bei theurerer Kohle werden sich die Anlagen von Bier-, Fünf- und Mehrkörpern auch lohnen.

III. Verschiedene Einrichtungen von Zwei- und Mehrkörpern.

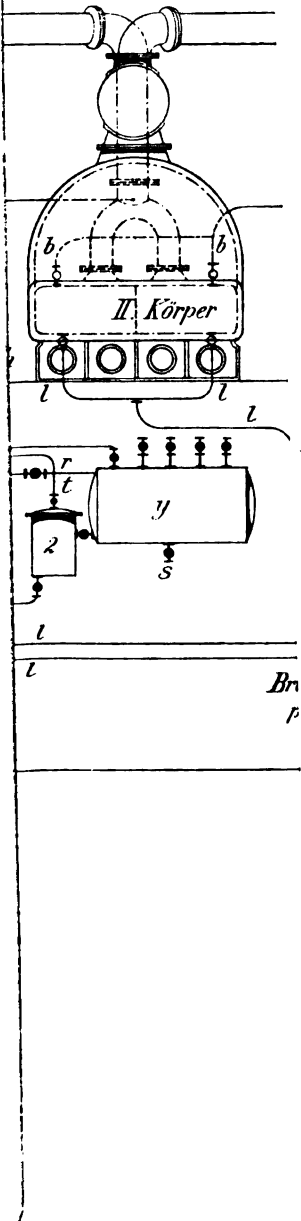
12. Aufstellungen.

Bei jedem Mehrkörperapparat ist, wie erwähnt, jeder vorhergehende Körper Dampfentwickler für den nachfolgenden Körper. In derselben Weise kann man jeden Körper des Mehrkörperapparats als Dampfessel betrachten und demselben Dampf für verschiedene Zwecke der Fabrikation, hauptsächlich zur Anwärmung der Säfte, welche sonst mit kostspieligem direkten Dampf erfolgt, entnehmen. Dabei kann man aber selbstverständlich mit der Anwärmung nur bis zu einem gewissen Grad entsprechend der Temperatur des entnommenen Dampfes gehen. Ebenso wie man mit Hilfe des ersten Körpers als Dampfentwickler die folgenden heizt, kann man auch mit dem entwickelten Dampf desselben ein Zuckervacuum oder einen Syrupkocher speisen und wird dann auch je nach der Anordnung des Zweikörpers oder Dreikörpers verkochen können.

In Figur 32 (siehe Beilage) ist die Aufstellung eines solchen Dreikörpers in einfacher Weise dargestellt. Man kann leicht den Weg und die Benutzung der Dämpfe erkennen; es bedeuten:

- | | |
|---|--|
| a Luftabzug aus dem I. Körper, | k Kondenswasser der Rückdampf-
Abtheilung, |
| b " " " II " | l Brüdenwasserleitungen, |
| c " " " III " | m Behälter für Brüdenwasser aus II |
| e Luftbühne, | n " " " " III. |
| f Rückdampfleitung, | o Ueberfallleitung, |
| g Leitung für Kesseldampf, | p Abzug von Gasen und Luft aus
den Brüdenwasserfängern, |
| h Ventil für Rückdampf, | 2 Automaten m. Schwimmerkugel, |
| i Kondenswasser der Kesseldampf-
Abtheilung, | |

Fig. 1



allein die Ersparnisse bei mehrfacher Verdampfung kommen in Betracht, sondern auch die Anlage, welche um so theurer wird, je größer diese Ersparnisse werden sollen, denn wie wir später sehen werden, sind die Heizflächen beim Zweikörper doppelt so groß anzulegen wie beim Einkörper, beim Dreikörper dreimal so groß u. s. f., wie in der Tabelle angeführt ist. Die praktische Grenze in der mehrfachen Verwendung des Dampfes muß in jedem einzelnen Falle die Berechnung entscheiden, in wie weit es möglich ist, die vergrößerten Anlagelkosten mit den Ersparnissen zu decken, was auch namentlich vom Preise des Brennmaterials abhängt. Bei billigem Brennmaterial werden sich die einfacheren Anlagen, bei theurerer Kohle werden sich die Anlagen von Vier-, Fünf- und Mehrkörpern auch lohnen.

III. Verschiedene Einrichtungen von Zwei- und Mehrkörpern.

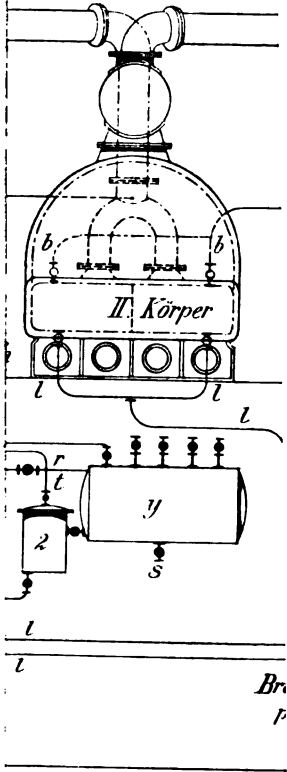
12. Aufstellungen.

Bei jedem Mehrkörperapparat ist, wie erwähnt, jeder vorhergehende Körper Dampfwärmer für den nachfolgenden Körper. In derselben Weise kann man jeden Körper des Mehrkörperapparats als Dampfkessel betrachten und demselben Dampf für verschiedene Zwecke der Fabrikation, hauptsächlich zur Anwärmung der Säfte, welche sonst mit kostspieligem direkten Dampf erfolgt, entnehmen. Dabei kann man aber selbstverständlich mit der Anwärmung nur bis zu einem gewissen Grad entsprechend der Temperatur des entnommenen Dampfes gehen. Ebenso wie man mit Hilfe des ersten Körpers als Dampfwärmer die folgenden heizt, kann man auch mit dem entwickelten Dampf desselben ein Zuckervakuum oder einen Syrupkocher speisen und wird dann auch je nach der Anordnung des Zweikörpers oder Dreikörpers verkochen können.

In Figur 32 (siehe Beilage) ist die Aufstellung eines solchen Dreikörpers in einfacher Weise dargestellt. Man kann leicht den Weg und die Benützung der Dämpfe erkennen; es bedeuten:

- | | | | |
|---|--|---|--|
| a | Zuftabzug aus dem I. Körper, | k | Kondenswasser der Rückdampf-
Abtheilung, |
| b | " " " II. " | l | Brüdenwasserleitungen, |
| c | " " " III. " | m | Behälter für Brüdenwasser aus II. |
| e | Zuftthähne, | n | " " " " III. |
| f | Rückdampfleitung, | o | Ueberfallleitung, |
| g | Leitung für Kesselampf, | p | Abzug von Gasen und Luft aus
den Brüdenwasserfängern, |
| h | Ventil für Rückdampf, | 2 | Automaten m. Schwimmerkugel, |
| i | Kondenswasser der Kesselampf-
Abtheilung, | | |

Fig. 3



www.libtool.com.cn

r	Ausgleichsventil,	v	Brüdenwasserleitung zum Speise-
s	Ablafsventile,	w	kessel,
t	Ausgleichsventile,	w	Leitung von frischem Wasser,
u	Brüdenwasserleitung zur Filtration,	x, y	Dampf- und Wasser-
	Kalklöse etc.,		sammler.

Die nachstehenden Figuren 33 und 34 stellen einen von Hallström gebauten stehenden Zweispaltenapparat mit Uebersteiger und Hodek'schem Saftfänger (s. später) dar.

A ist der Dünnsaft-, B der Dicksaftkörper.

Die Konstruktion beider Körper ergibt sich, da sie im Wesentlichen gleich sind, aus dem Querschnitt des Körpers A.

a und b bedeuten die zur Aufnahme der, meistens messingenen, Heizrohre d d durchbohrten Platten. Durch die Mitte dieser Platten geht ein weites sogenanntes Zirkulationsrohr, welches den Zweck hat, einen großen Theil der in den engeren Heizröhren aufgetriebenen Säfte wieder in die untere Abtheilung fließen zu lassen; außerdem dient es zur Hindurchführung des Rohres e für frischen Dünnsaft.

Der Dampf von den Maschinen wird durch Ventil 1 in das durch die beiden Rohrplatten abgeschlossene Heizsystem geleitet und umspült er dort die mit Saft gefüllten Rohre. Genügt der Dampf nicht, so wird durch Ventil 2 dem Heizsystem Kesselampf zugeführt.

Der zweite Körper ist durch Ventil 1 und 2 im Stande, selbstständig zu arbeiten, falls der erste Körper aus irgend einem Grunde ausgeschaltet werden muß. Die Brüdenleitung G und F wird durch Einschaltung von Blindscheiben an den geeigneten Stellen danach eingerichtet.

Doppelventil 3 mit Leitung e e, welche schließlich am Boden durch kreuzförmige etwas aufwärts gebogene Arme getheilt geführt wird, läßt den Dünnsaft in die Apparate ein. Den Höhenstand des Saftes in den Apparaten kann man außen durch die Schaugläser g, deren mehrere übereinander angebracht sind, beobachten. p ist ein mit Reibglas zur Aufnahme des Aräometers versehener Probennehmer, derselbe ist durch Hähnen und Rohrstopfen in geeigneter Weise mit dem Apparat verbunden. m Thermometer, n Vakuummeter, o Butterhahn, q Mannlochverschlüsse zum Befahren des Apparates.

Auf den oberen Böden befinden sich die Dome C, in welchen sich Saftangvorrichtungen in Gestalt eines weiten Rohrstopfens mit darüber gestülpter Haube befinden.

Die Luftpumpe, in diesem Fall eine trockene, hat nur Luft aus dem Kondensator durch Stopfen S und daran schließende Rohrleitung zu

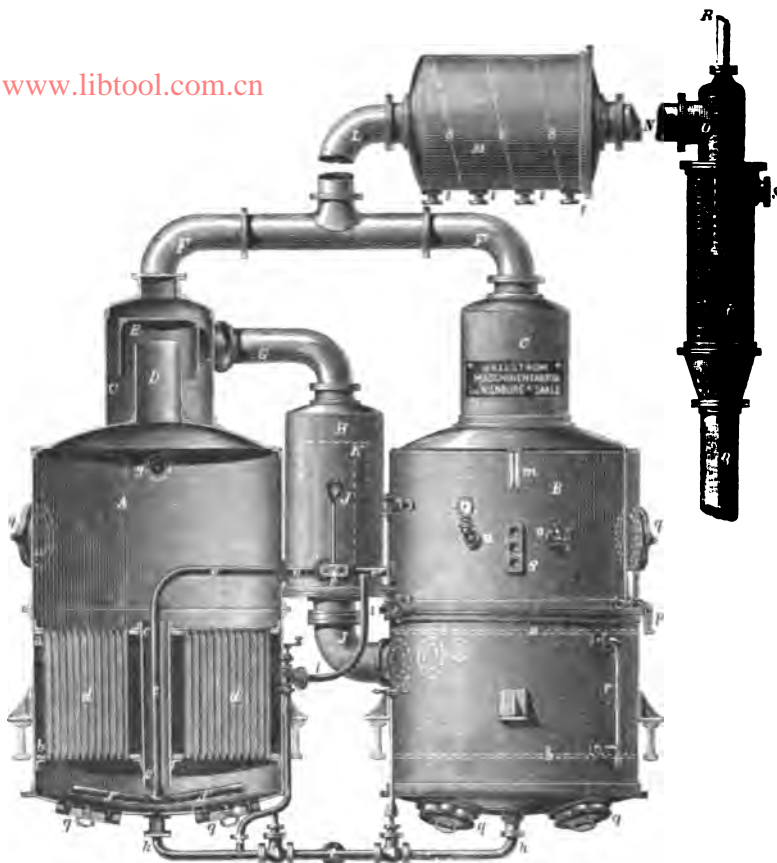


Fig. 33.

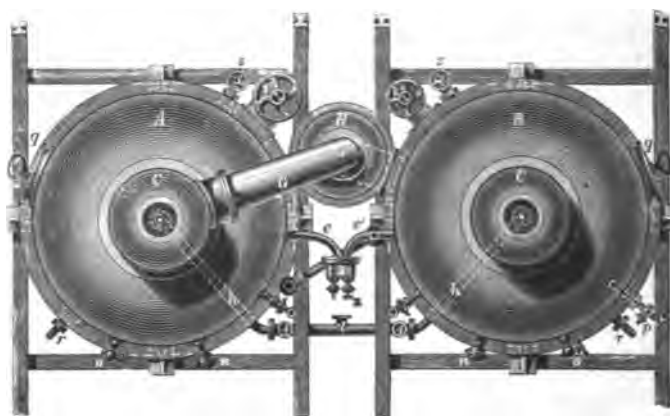
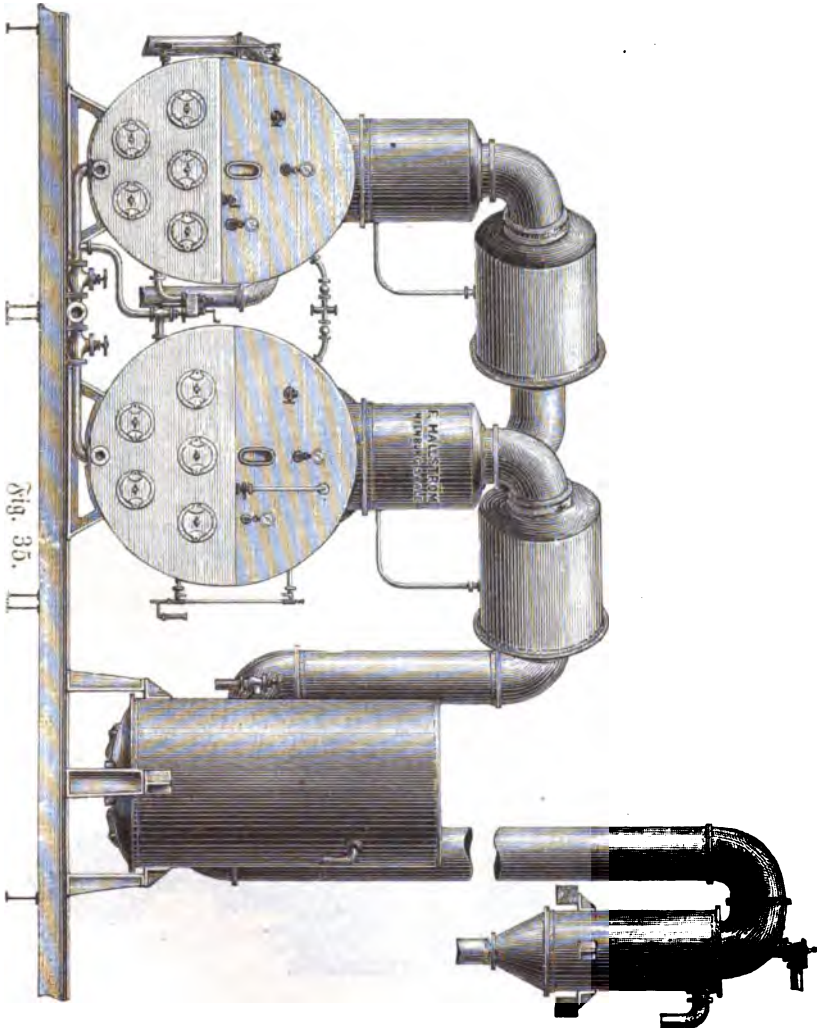


Fig. 34.

bewältigen, während das eingespritzte Wasser mit dem verdichteten Brüden durch das Abfallrohr Q abfließt. Das Kondensationswasser aus dem Heizsystem des ersten Körpers gelangt mittelst Rohr r zum Schwimmtopf und auf möglichst direktem Wege von da nach dem Wassersammler, während dasjenige aus dem zweiten Körper durch besondere Brüdenpumpe mit den nicht kondensirbaren Gasen abgezogen und nach dem sogenannten Ammoniakwasserfaßten gedrückt wird.

Der im ersten Körper eingebildete Saft gelangt mittelst Röhre h, k und Ventil, sowie durch Rohr l vermöge des vorhandenen Druckunterschiedes in



beiden Körpern selbstthätig in den Dickstarkörper B, während der Dickstarkörper B durch Rohr h, Ventil 4 und Rohr i nach dem Dickstarkörperheber und von da weiter geleitet wird.

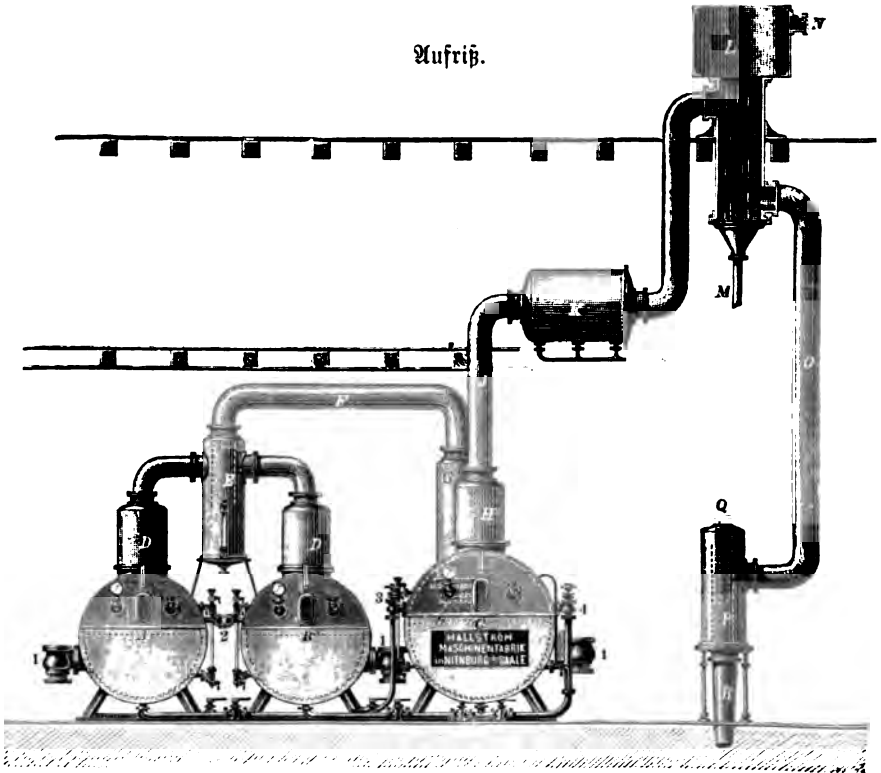


Fig. 36.

Grundriß.

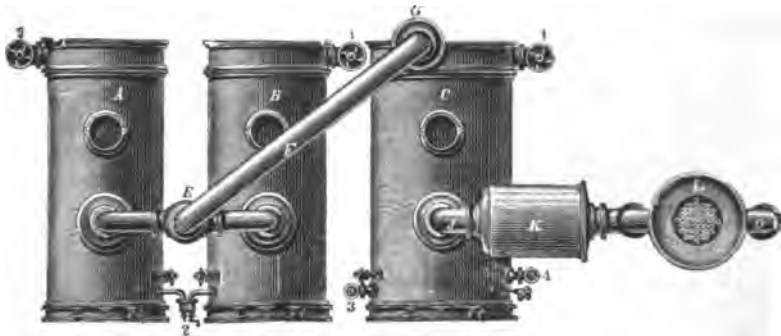


Fig. 37.

Figur 35 (Seite 47) stellt einen liegenden Zweiflannen-Verdampfapparat mit Hodek'schen Saftfängern, Kalorifatoren und Kondensator für nasse oder trockene Luftpumpe, ebenfalls von Hallström, dar, welcher nach dem Vorhergehenden ohne Erklärung verständlich sein wird.

Einen anderen liegenden Verdampfapparat derselben Firma mit zwei Dünnsaftkörpern und einen Dicksaftkörper sowie Diffusionswasser-Wärmer stellen die Figuren 36 und 37 (Seite 48) dar; die Benutzung der Dämpfe für diese Anwärmungen wird später besprochen werden.

Der Dünnsaftkörper besteht hier aus zwei Apparaten. Es ist dieses eine Konstruktion, welche bei Neuanlagen nicht mehr ausgeführt wird, wohl aber bei Umbauten bezl. bei Vergrößerung einer vorhandenen Zuckerrabrik im Interesse der wohlfeilen Herstellung der vergrößerten Verdampfstation sich unter Umständen als brauchbar erweisen kann.

A und B sind die beiden Dünnsaftkörper, C ist der Dicksaftkörper, 1, 1 sind die Ventile für Dampf, welcher in den beiden ersten Körpern eingeführt wird. Die Saftdämpfe steigen durch die Dome D und Brüdenleitung in den gemeinschaftlichen Uebersteiger E, von da durch Leitung F und Uebersteiger G in die Dampfammer bezl. in die Heizrohre des Dicksaftkörpers C und der Brüden wird durch Leitung J und Hodek'schem Saftfänger einem Kalorifator und schließlich durch die Leitung O dem nassen Kondensator P zugeführt und von der Luftpumpe mit dem eingespritzten Wasser abgesaugt. 2 ist ein Doppelventil zum Einziehen des dünnen Saftes in die Körper A und B, 3 und 4 sind Ventile zum Einziehen des Saftes aus den beiden Dünnsaftkörpern nach dem Dicksaftkörper.

Hähne zum Ablassen des Dicksaftes nach dem Saftheber, sowie zum Fortleiten des Spülwassers u. sind vorhanden, ebenso befinden sich an den Apparaten die üblichen Hülfsheile.

Ventil 1 am Dicksaftkörper wird nur benützt, wenn die ersten beiden Dünnsaftkörper ausgeschaltet sind, es wird in diesem Falle die Drosselklappe, welche sich unter dem Uebersteiger G befindet, geschlossen.

Die äußere Einrichtung eines Wellner-Jelinek'schen Verdampfapparates — Dreikörper — stellt Figur 38 (Seite 50) dar. (Die innere siehe Seite 30 ff.)

Zeichenerklärung:

- A Erster Körper,
- B Zweiter "
- C Dritter "
- S Saftfänger,
- a Brüdenampfleitung vom I. Körper zum Heizraum des II. Körpers,

www.libtool.com.ru

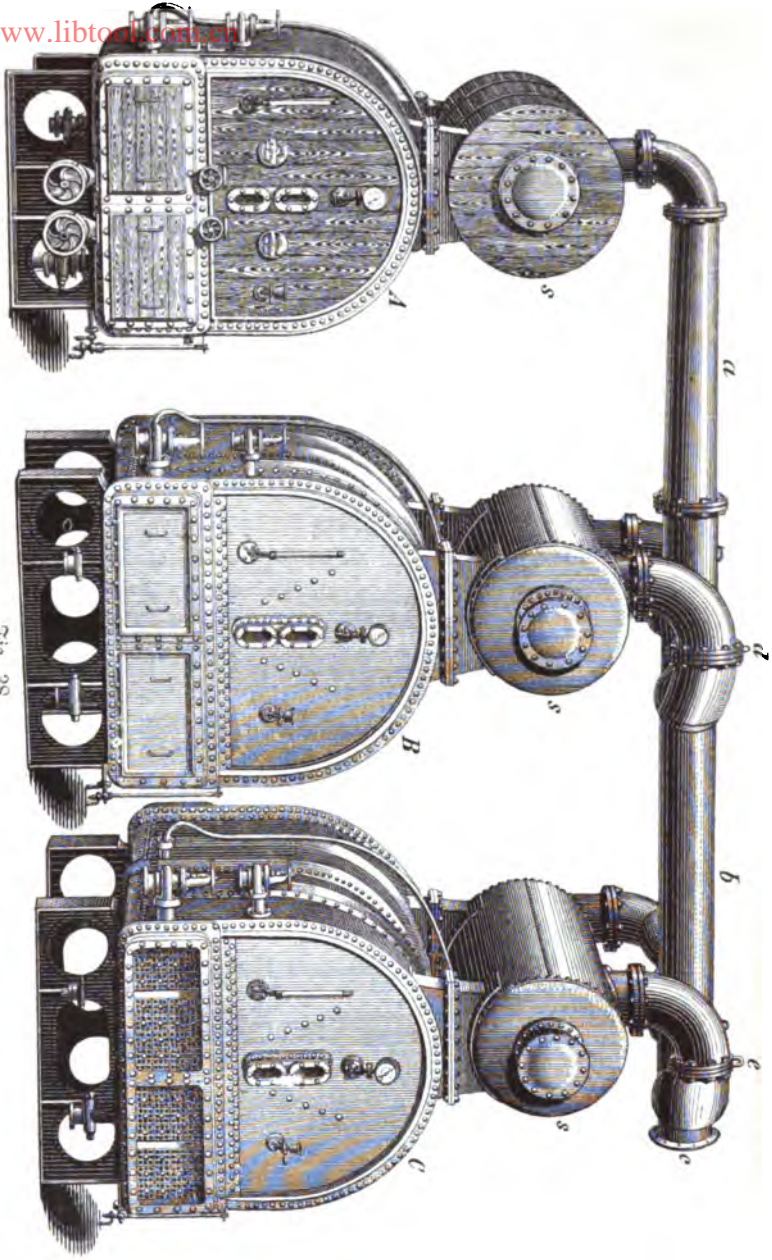
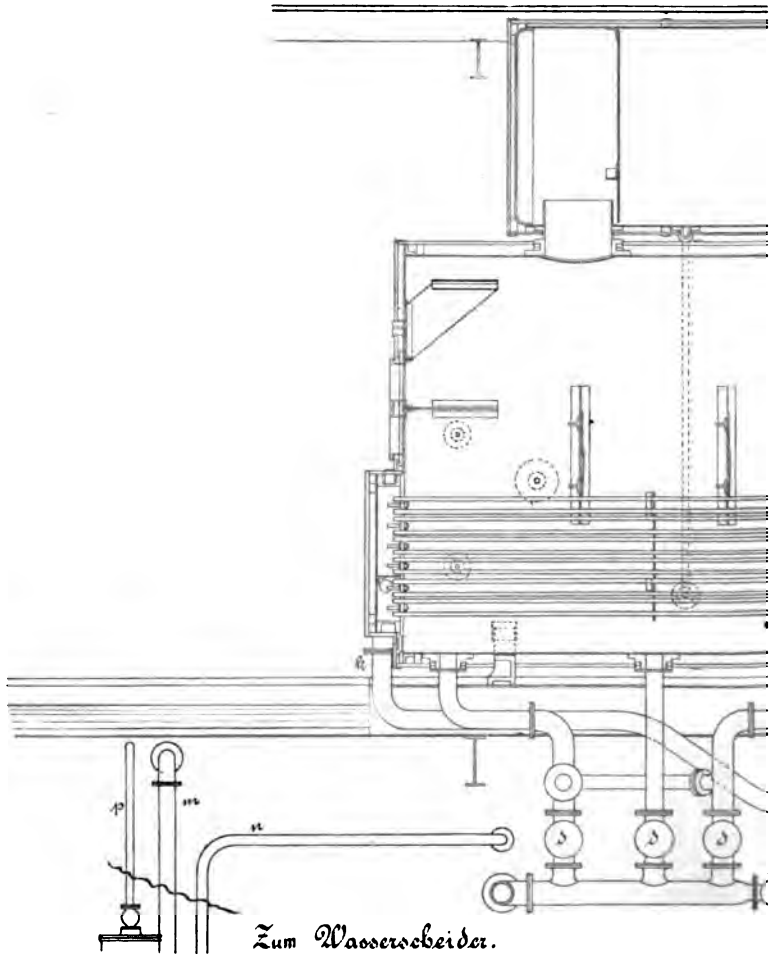
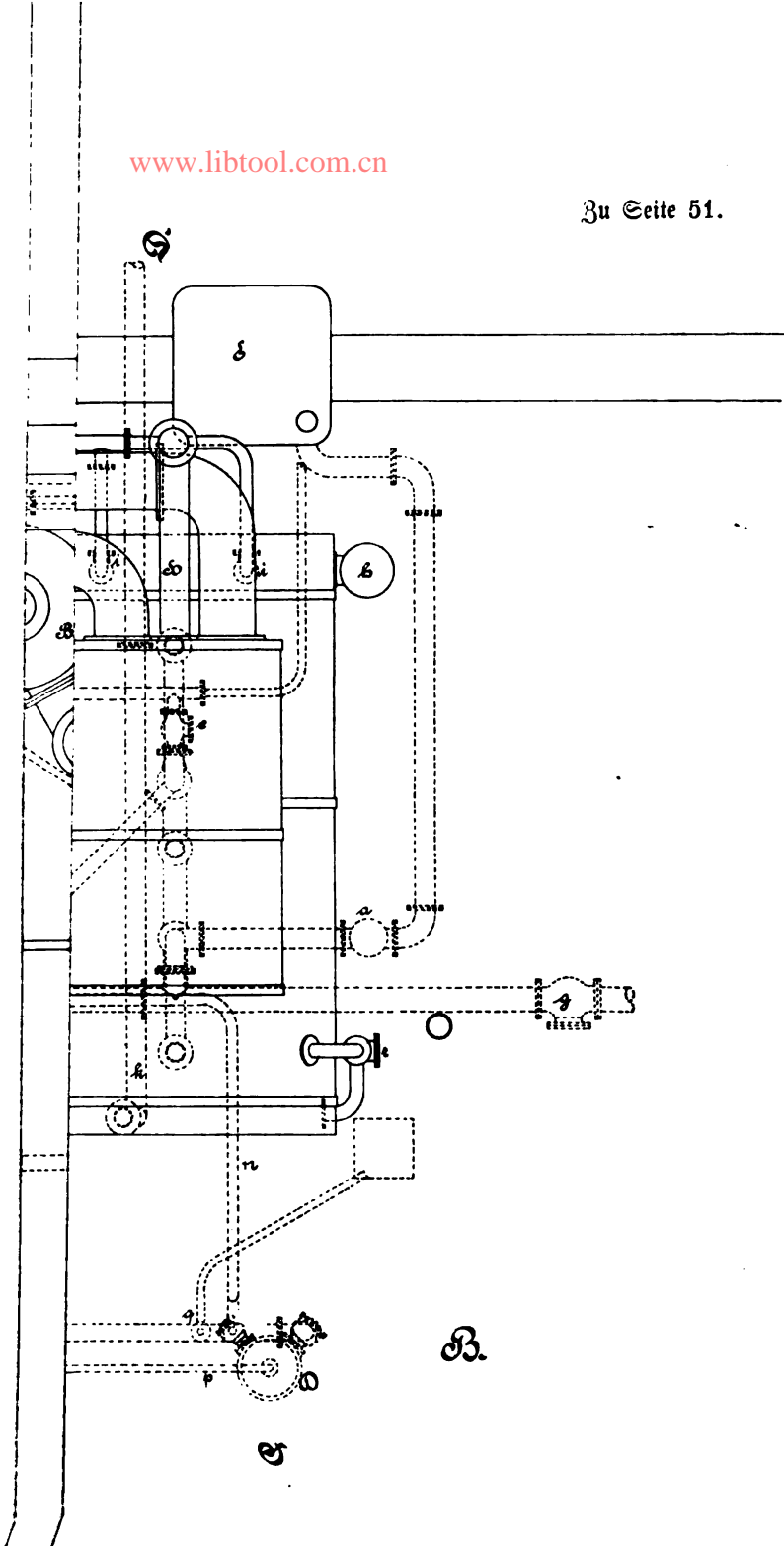


Fig. 38.

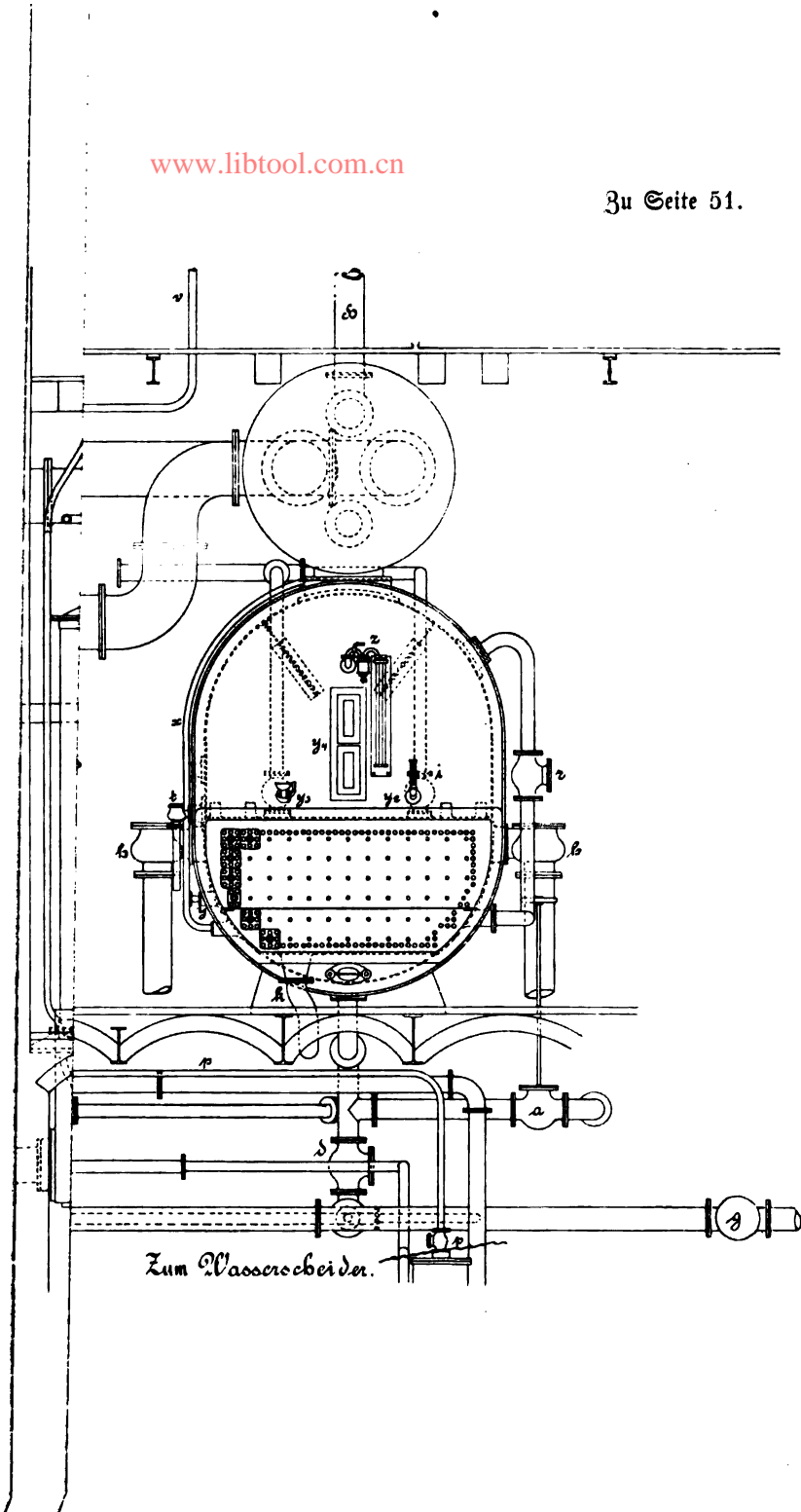
www.libtool.com.cn

Schnitt C-D.





www.libtool.com.cn



Zum Wasserschneider.

www.libtool.com.cn

- b Brüendampfleitung vom II. Körper zum Heizraum des III. Körpers,
- c Brüendampfleitung zum Kondensator,
- d Ausschaltleitung für den Fall als der II. Körper ausgeschaltet werden soll und I. und III. als Zweikörper arbeiten,
- e Ausschaltleitung für den Fall als der III. Körper ausgeschaltet wird und I. und II. als Zweikörper arbeiten sollen,
- s Uebersteiger und Saftfänger (siehe später).

Die Figuren 39 bis 41 (siehe Beilagen: Ausschlagetafel 3, 4, 5) stellen einen horizontalen Verdampfapparat dar, wie derselbe von der Halle'schen Maschinenbauanstalt (vormals Riedel & Kemnitz) angefertigt wird. Tafel 3 ist die Durchschnittszeichnung eines Körpers, Tafel 4 der Grundriß, Tafel 5 der senkrechte Schnitt nach der Linie A B eines von vier solchen Verdampfern gebildeten Vierkörpers. In allen 3 Zeichnungen stellen dieselben Buchstaben dasselbe dar.

Zeichenerklärung zu den Figuren 39 bis 41:

- a Saftziehvventil des I. Körpers,
- b₁ Saftüberziehvventil vom I. zum II. Körper,
- b₂ " " II. " III. "
- b₃ " " III. " IV. "
- c Saftablaß vom IV. Körper nach den Montezus (Heber),
- d Schlammablaßventile des I., II., III. und IV. Körpers,
- e Einlaßventil für Dampf- und Probirwasser in den I., II., III. und IV. Körper,
- f Absperrventil für Probirwasser,
- g " " Ablaßwasser aus den Apparaten,
- h Rückdampfventile am I. Körper,
- i Ventile für direkten Dampf am I. Körper,
- k Kondenswasserablaß vom I. Körper,
- l Brüdenwasserüberzieh-Ventile des III. und IV. Körpers,
- m Brüdenwasserablaß vom IV. Körper,
- n Brüdenwasser- und Probirwasserauslaß aus dem Diffusionswasser-Kalorifator,
- o Ventil zur Luftentleerung des Dickstafthebers,
- p Brüdenabzug vom Wasserscheider nach dem Kondensator,
- q Probirwasser-Ablaßventil,
- r Luftabzug vom I. Körper,
- s Ammoniakabzüge vom II., III. und IV. Körper,
- t Ventile zum Einziehen von Säure,
- u Entlüftungsventil für den Wasserfammer,

- v Zirkulationsrohre vom Dickfaß-Kalorifator,
 w Zirkulationsrohre von den Kalorifatoren der I. und II. Saturation,
 x Saftablaß aus dem Saftfänger des I., II., III. und IV. Körpers,
 y Saftstand,
 y₁ Vakuummeter,
 y₂ Thermometer,
 y₃ Butterhahn,
 y₄ Augenglas,
 z Vakuummanometer,
 A Gegenstrom-Kalorifator,
 B Diffusionswasser-Kalorifator,
 C Dickfaßheber,
 D Wasserscheider,
 E Dünnsaftkasten,
 F Fallwassertasten,
 G Brüdenleitung nach den Kalorifatoren für I. und II. Saturation und
 nach der Diffusionsbatterie,
 H Brüdenleitung nach dem Dickfaß-Kalorifator.

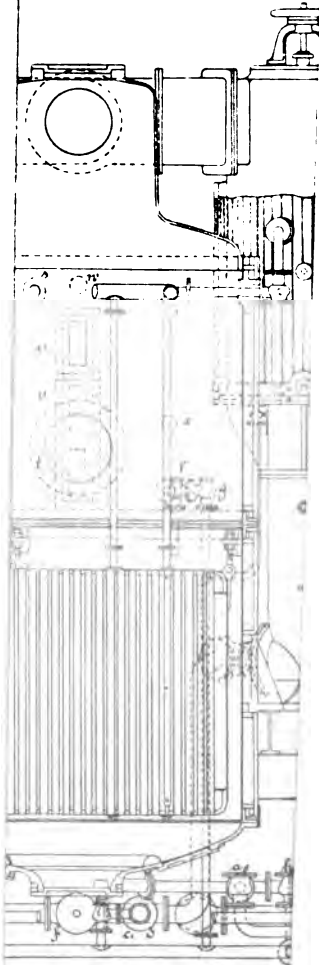
Ein von derselben Firma gebauter stehender Apparat — Vierkörper —, dessen innere Einrichtung Seite 29 beschrieben worden, ist in den Figuren 42 bis 47 (Beilagen: 4 Ausschlagetafeln in verschiedenen Schnitten, wie bei den Zeichnungen bemerkt,) dargestellt. Die Figur 45 ist eine Einzeldarstellung der Uebersteiger mit Abschlußventil für Ausschaltung einzelner Körper, Fig. 46 stellt einen einzelnen Wasserscheider dar. In allen Zeichnungen bedeuten gleiche Buchstaben dieselben Theile.

Zeichenerklärung zu den Figuren 42 bis 47:

- a Saftanziehventil zum I. Körper,
 a₁ " " II. "
 a₂ Saftüberziehventil vom I. zum II. Körper,
 a₃ " " II. " III. "
 a₄ " " III. " IV. "
 a₅ " " I. " III. "
 a₆ " " II. " IV. "
 b Saftablaß vom IV. Körper,
 b₁ " " III. "
 c Kondenswasserablaß vom I. Körper,
 c₁ " " II. "
 d Brüdenwasser aus den Heizkammern,
 d₁ " vom II. zum III. Körper,

Fig. 1

gosschnitt.



Vertical Steam Boiler
with Water Drum

www.libtool.com.cn

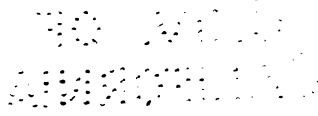
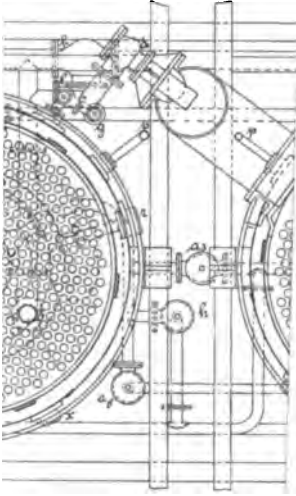
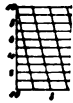


Fig. 43.

Schnitt A P



2.



www.libtool.com.cn



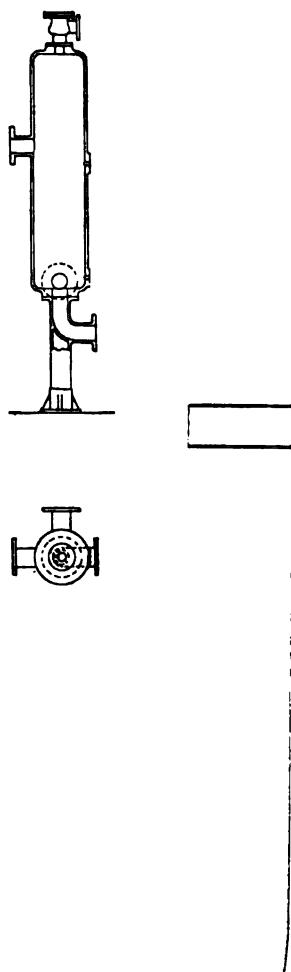
www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

Fig. 46.

Wasserscheiden.



ist ein Vier- bez. Dreikörper. Der Naryan-Verdampfapparat wird von der Metallwärenfabrik, vormals Zickerid, in Wolfenbüttel gebaut.

Die Arbeitsweise ist folgende: Die Speisepumpe A saugt die zu verdampfende Flüssigkeit aus dem Speisefasten B, drückt sie durch den Vorwärmer E in das Vertheilungsrohr K, durch welches sie dann gleichmäßig

auf die Zahl der Schlangen vertheilt in den Apparat gelangt. Nach dem Durchgang durch die Schlangen tritt die Flüssigkeit, gegen die Pressbleche G stoßend, in die Scheidekammer F. Hier scheidet sich die-

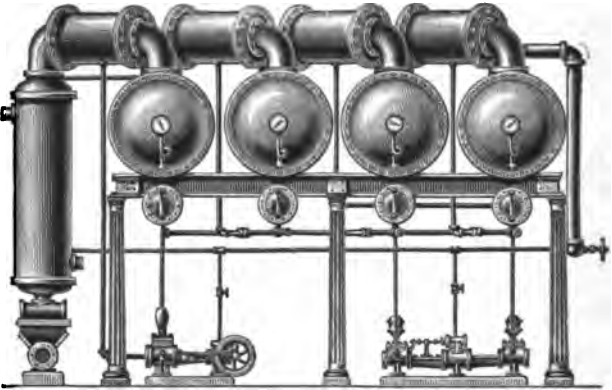


Fig. 48.

selbe von den Brüden, fällt in das Sammelgefäß J und gelangt dann durch die Röhren L und das Vertheilungsrohr K nach dem nächsten Körper, wo

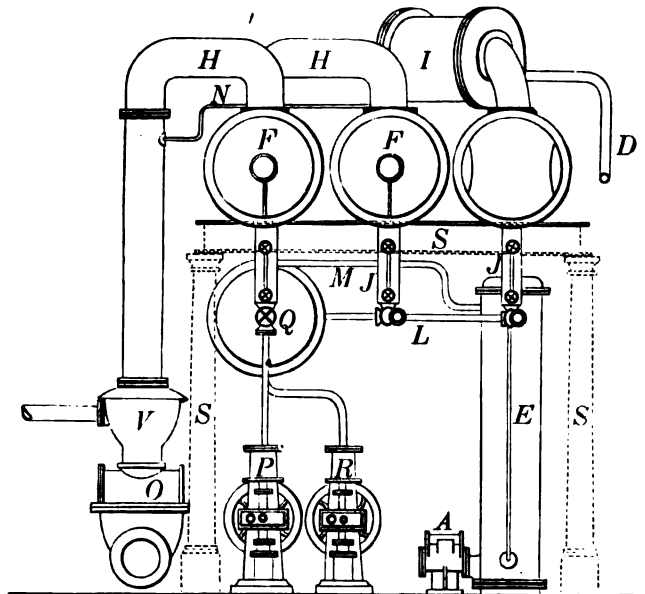


Fig. 49.

sie wiederum durch den Brüden des vorhergehenden Körpers gekocht wird. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jedem Körper des Apparates, bis die Flüssigkeit zu dem letzten gelangt, aus welchem sie die Pumpe P saugt. Der Brüden wird durch den Kondensator V von der Pumpe O abgesogen und verläßt dieselbe in Form von Wasser mit einer Temperatur von 32 bis 38° C., welches dann für andere Zwecke

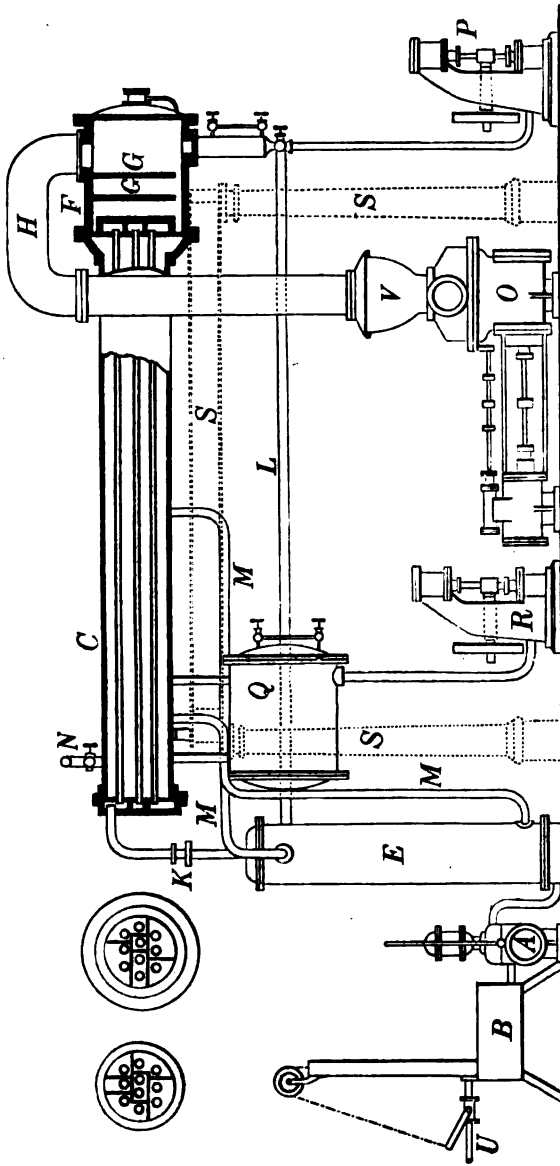


Fig. 50.

benutzt werden kann. Wenn das Einspritzwasser schmutzig ist und das warme Wasser klar verbraucht werden soll, so muß ein Oberflächenkondensator angewendet werden. Der Brüden gelangt von der Scheidekammer des einen Körpers durch die Röhren H in die Heizkammer des nächsten, wird dann in der des letzten Körpers kondensirt und fließt schließlich als Wasser in das Sammelgefäß Q, aus welchem es die Pumpe R saugt. Wenn die Flüssigkeit beim Kochen stark schäumt, so kann in die Brüdenrohre H ein Saftfänger i eingeschaltet werden, welcher alsdann ein etwaiges Ueberreißen der Flüssigkeit mit dem Brüden vollständig verhindert.

Der Dampf dient zum Kochen der Flüssigkeit im ersten Körper, geht dann durch den Vorwärmer und gelangt durch das Rohr M in die Heizkammer C des nächsten Körpers, wo er kondensirt und das Kondenswasser durch das Rohr M, welches den hinteren Theil der einen Heizkammer mit dem mittleren der nächsten verbindet, nach der letzten Heizkammer und von hier in das Gefäß Q, aus welchem es die Pumpe R wegsaugt. Die Körper sind auf eisernen T Trägern und Säulen gelagert und die Maschinen auf dem Fußboden aufgestellt.

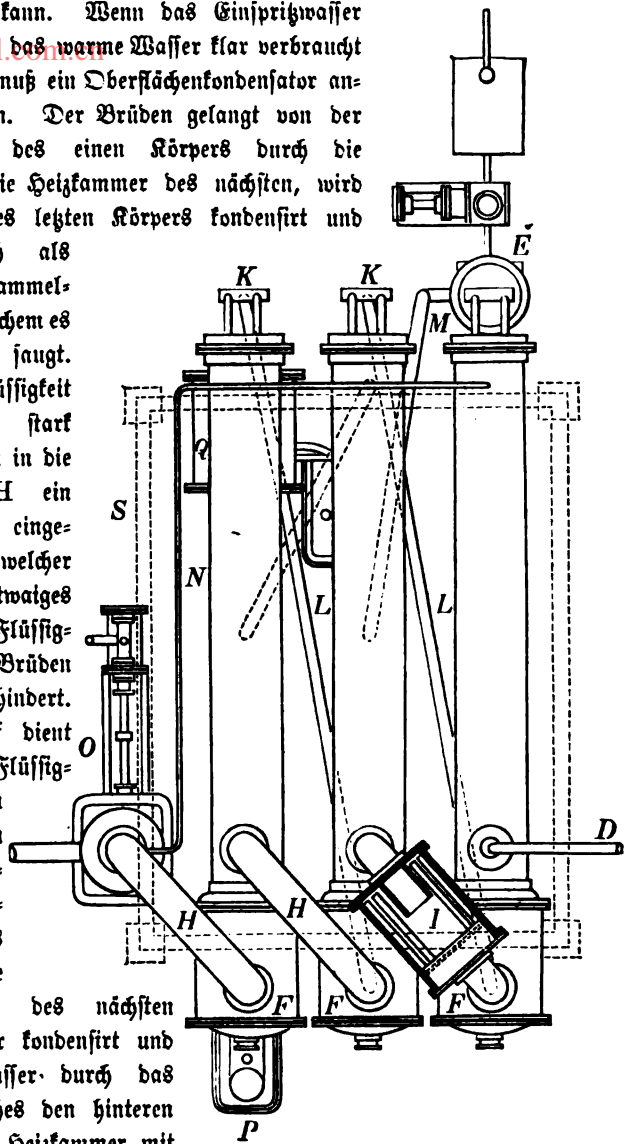
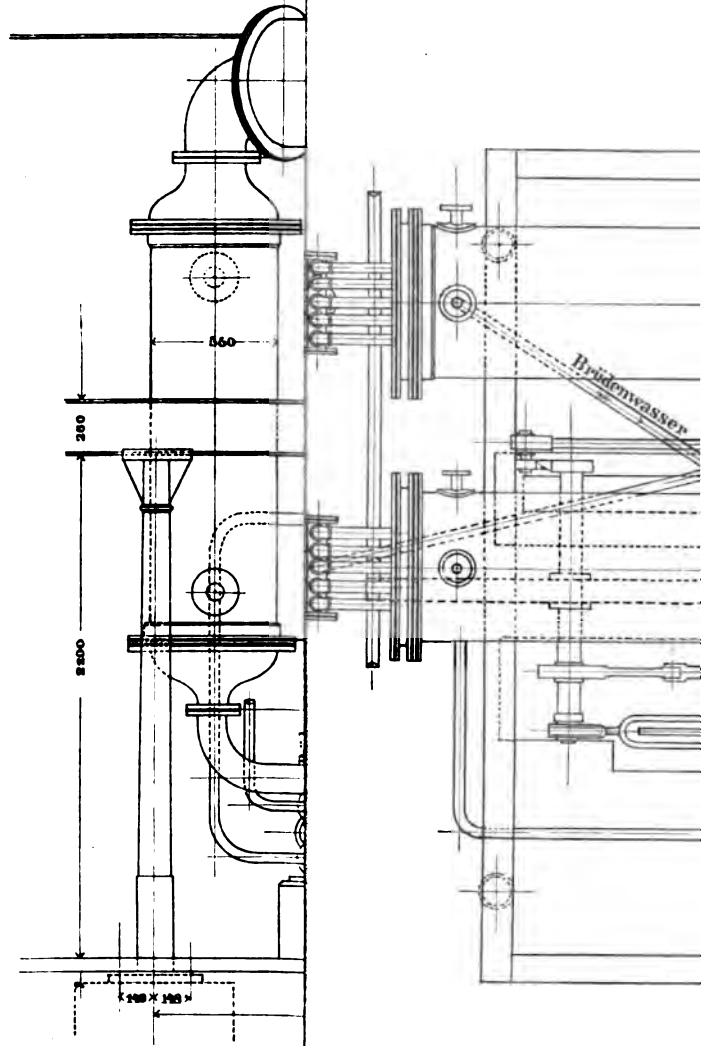


Fig. 51.

www.libtool.com.cn

Ausblatetafel 10.

www.libtob.com.cn



Bezeichnungen:

A Speisepumpe,	M Kondenswasser-Röhren,
B Speisekasten,	N Luft-Hähne und -Röhren,
C Heizkammer,	O Luftpumpe,
D Dampfrohr,	P Entleerungspumpe,
E Röhrenvorwärmer,	Q Kondenswasserpumpe,
F Scheidekammer,	R Kondenswasser-Sammler,
G Pressbleche,	S T Träger und Säulen,
H Brüdenrohre,	T Tragböden,
I Saftfänger,	U Speiserohre,
J Sammelgefäß,	V Kondensator,
K Vertheilungsrohr,	W Oberflächen-Kondensator.
L Saströhren,	

Die Figuren 52 bis 54 (Beilage: Ausschlagetafel 10) geben eine vergrößerte Darstellung des Naryan-Verdampfapparates — Zweikörper — (von der Metallwaarenfabrik Wolfenbüttel) in drei Schnitten; mit Hilfe der eingeschriebenen Bezeichnungen und des Vorhergehenden werden dieselben ohne weitere Erklärung verständlich sein.

Der wesentlichste Vorzug des Naryan-Apparates besteht in der äußerst dünnen Flüssigkeitsschicht und dem überaus kurzen Verbleib derselben in der Verdampfung; hiermit hängen alle übrigen Vorzüge zusammen, als welche u. a. aufgeführt werden:

1. Der Apparat kann als vollkommen automatisch betrachtet werden, da derselbe sich nach Bedarf selbst speist und die Flüssigkeit bis zu der gewünschten Dichtigkeit selbstthätig in kontinuierlicher Weise abliefern.

2. Die Flüssigkeiten bewegen sich in ganz dünnen Schichten mit großer Schnelligkeit durch von außen geheizte Röhren, wodurch bekanntlich das Wärmeüberführungsvermögen ganz erheblich gesteigert wird, weshalb der Dampfverbrauch ein geringer sein soll.

3. Im ersten Körper ist die Flüssigkeit nicht länger als zwei Minuten einer hohen Temperatur ausgesetzt, wohingegen in anderen Systemen große Mengen für eine viel längere Zeit diesen Bedingungen unterliegen. In Dreikörpern befindet sich die Flüssigkeit nicht länger wie fünf Minuten.

4. Die mechanische Einrichtung ist eine einfache und Störungen im Betriebe werden daher leicht vermieden.

5. Das Ueberkochen von stark brausenden und schäumenden Flüssigkeiten, wie z. B. Leim, Syrup etc., ist in Folge der schnellen Verdampfung gänzlich ausgeschlossen.

6. Die eingedickten Lösungen zeigen hellere Färbungen auf Grund der **schnellen Verdampfung** als Flüssigkeiten von gleichen Konzentrationsgraden, welche in anderen Systemen behandelt worden.

7. Die Röhren können leicht und schnell durch einen Dampfstrahl gereinigt werden, sollte ein leichter Niederschlag an den Wandungen stattgefunden haben.

8. Der Preis der Apparate ist billiger wie der aller anderen Systeme unter Luftleere, gleiche Verarbeitung in gleichem Zeitraume angenommen.

Der Apparat ist, außer in anderen Industrien, in zahlreichen Kolonial-Zuckerfabriken in Anwendung und es bleibt zu wünschen, daß er auch in Europa von unparteiischen Zuckerfabriken betreffs seiner Verwendbarkeit geprüft werde. Es wird sich darum handeln, festzustellen, ob nicht etwa der große Vorzug der dünnen, nur kurze Zeit erhitzten Saftschichten dadurch aufgewogen wird, daß die Trennung von Flüssigkeit und Bräuben nicht ganz vollständig erfolgt und so ein Zuckerverlust veranlaßt wird. Hierüber sind sehr genaue Feststellungen vor Allem wünschenswert.

13. Berechnung der Heizdampfmenge und des entwickelten Dampfes im Mehrdröperapparate.

Es bezeichne:

- t_0 die Safttemperatur des in den Apparat eintretenden Saftes,
- t_1 die Temperatur des jeweiligen siedenden Saftes,
- t_2 die Temperatur des diesen Saft erheizenden Dampfes,
- $C = 22$, der Transmissionskoeffizient, bezogen auf 1 qm Heizfläche per Minute und per 1° C. des Temperaturunterschiedes ($t_2 - t_1$), entsprechend dem Transmissionskoeffizienten für Wellner-Jelinek-Verdampfapparate,
- F die Heizfläche der Verdampfapparate,
- Q die Menge auf x qm und in einer Minute übertragenen Wärmeinheiten = $FC (t_2 - t_1)$,
- λ_1 diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 k Wasser von 0° C. unter konstantem Drucke in Dampf von t_1 Temperatur zu verwandeln, in Kalorien ausgedrückt = $606,5 + 0,305 t_1$,
- r_2 die latente Wärme, welche bei der Kondensation im Heizraume abgegeben wird = $607 - 0,708 t_1$,
- Dg das Gewicht des Heizdampfes, der in den Heizrohren kondensirt wird in Kilogramm ausgedrückt,

Wg das Gewicht des Wassers in Kilogrammen verdampft an der Heizfläche des Verdampfapparates,

$$\text{so ist: } Q = Dg r_2 \quad \text{daraus} \quad Dg = \frac{Q}{r_2} \quad 1)$$

$$\text{und } Q = Wg (\lambda_1 - t_0) \quad \text{"} \quad Wg = \frac{Q}{\lambda_1 - t_0} \quad 2)$$

Einförperapparat.

Führen wir nun die Rechnung für einen Einförperapparat durch und nehmen an, es sei ein solcher mit einer Heizfläche von 1 qm gegeben. Angenommen wird dabei, daß der Heizdampf eine Spannung von $\frac{1}{2}$ Atm. Ueberdruck hat, also seine Temperatur $t_2 = 112^\circ \text{ C.}$ ist, ferner, daß das durch die Kondensation des Bräudendampfes gebildete Vakuum oder die Luftleere einer Quecksilbersäule von 60 cm das Gleichgewicht hält, was einer Temperatur des Dampfes von $t_0 = 60^\circ \text{ C.}$ entspricht, so ist dann der maßgebende Temperaturunterschied $= 112 - 60 = 52^\circ = \text{d. C.}$, der Transmissionskoeffizient per Minute sei für Wellner-Zeliner'sche Apparate mit 22 angenommen und $t_0 = 75$, so ist (Abführungsverluste ausgeschlossen)

$$Q = F. C. d$$

$$Q = 1 \times 22 \times 52 = 1144 \text{ W. E.}$$

$$Dg = 2,16 \text{ k}$$

$$Wg = 2,08 \text{ k.}$$

Es verdampft somit 1 qm in der Minute 2,08 k Dampf oder in der Stunde 124,8 k und benötigt hierzu in der Minute 2,16 k Dampf oder in der Stunde 129,6 k Dampf, oder es verdampft 1 k Heizdampf 0,96 k Wasser.

Zweiförperapparat.

Berechnen wir wieder die Dampfmenge und Verbampfung für 1 qm Heizfläche, und nehmen wieder an für den I. Körper $t_2 = 112^\circ$, $t_0 = 75^\circ$, $C = 22$, so bleibt die Frage nach dem Temperaturunterschied d. Wir wissen nun, daß der in den ersten Körper einströmende Dampf die Temperatur $t_2 = 112^\circ$ hat, während die aus dem zweiten Körper abziehenden Dämpfe die Temperatur von 60° entsprechend der Luftleere von 60 cm haben. Jeder Körper soll die gleiche Menge Wasser verdampfen, so ist für diesen Fall

$$Q = F. C. d$$

$$Q_1 = F. C. d^1.$$

Da nun $Q = Q_1$ ist, so muß auch $d = d^1$ sein, oder mit anderen Worten, es wird das gesammte Temperaturgefälle in zwei gleiche Theile

getheilt, und es gilt die Hälfte für jeden Körper des Zweikörperapparates. In unserem Falle also $d = \frac{52}{2} = 26$ und $t_1 = 86$.

Es ist dann $Q = F \cdot C \cdot d = 1 \times 22 \times 26 = 572$ W. E.

$$\lambda - t_0 = (606,5 + 0,305 \times 86) - 75 = 557,73$$

$$Dg_1 = \frac{572}{557,73} = 1,083 \text{ k kondensirter Dampf}$$

$$Wg_1 = \frac{572}{557,73} = 1,025 \text{ k verdampftes Wasser.}$$

Im II. Körper ist wieder

$$t_2 - t_1 = d = \frac{52}{2} = 26^\circ \text{ C.}$$

$$t_2 = 86$$

$$t_1 = 60$$

$$t_0 = 86.$$

Der Saft aus dem ersten Körper gelangt zur weiteren Eindampfung in den zweiten Körper, in welchem er zu Dicksaft konzentriert wird, daher ist die Temperatur desselben gleich der der Brühdampftemperatur des ersten Körpers.

$$r_2 = 607 - 0,703 \times 86 = 546 \text{ W. E.}$$

$$\lambda_1 - t_0 = (606,5 + 0,305 \times 60) - 86 = 638,8 \text{ W. E.}$$

$$Q = Dg_2 \cdot r_2 \text{ und da}$$

$$Dg_2 = Wg_1 = 1,025 \times 546 = 559,6 \text{ ist,}$$

so muß, um den im ersten Körper entwickelten Dampf zu verbrauchen,

$$F = \frac{559,65}{22 \times 26} = 0,978 \text{ qm sein.}$$

$$Dg_2 = 1,025 \text{ k kondensirter Dampf,}$$

$$Wg_2 = \frac{559,65}{538,8} = 1,038 \text{ k verdampftes Wasser.}$$

Es sind somit in beiden Körpern $1 + 0,978 = 1,978$ qm Heizfläche, welche $1,025 + 1,038 = 2,063$ k Wasser verdampfen, das ist auf 1 qm und Minute $2,063 : 1,978 = 1,042$ und für 1 qm und Stunde $= 62,5$ k Wasser.

Hierzu wurden 108,3 k Heizdampf verwendet, es erzeugt demnach 1 k Heizdampf 1,9 k Wasser.

Aus der Rechnung geht hervor, daß der zweite Körper eine kleinere Heizfläche benötigt als der erste Körper, was daher kommt, daß der erste Körper 1,083 k Dampf zu kondensiren hat, während der zweite nur 1,025 k Dampf kondensiren soll. Es scheint demnach der zweite

Körper größere Leistungsfähigkeit zu haben als der erste. Dies hat darin seine Begründung, daß der in den zweiten Körper eintretende Saft eine höhere Temperatur besitzt (86°), als der in den ersten Körper eingezogene Saft (75°); es muß der Saft, der in den ersten Körper geht, von 75° auf die Siedetemperatur des im ersten Körper herrschenden Druckes, also 86° , gebracht und es muß ihm zu diesem Zwecke Wärme zugeführt werden, während der aus dem ersten in den zweiten Körper übertretende Saft von 86° auf die Siedetemperatur des zweiten Körpers (60°) gebracht wird und in Folge dessen Wärme abgibt, welche mit zur Verdampfung verwendet wird und die günstigere Verdampfungswirkung des zweiten Körpers ergibt. Im Allgemeinen und für die Praxis mit genügender Genauigkeit kann man als Regel aufstellen, daß beide Körper bei gleichen Temperaturunterschieden gleiche Heizflächen haben sollen und daß ein Quadratmeter eines Zweikörperapparates die Hälfte der Leistungsfähigkeit eines Einkörperapparates besitzt. Deshalb muß die Gesamtheizfläche eines Zweikörpers die doppelte sein als die eines Einkörpers von gleicher Leistung, während der Heizdampf beim Zweikörper das doppelte Wasserquantum verdampft.

Dreiförperapparat.

Für den ersten Körper ist, da hier das gesammte Temperaturgefälle in 3 gleiche Theile getheilt wird $d = \frac{52}{3} = 17,3 = t_2 - t_1$. Nun ist $t_2 = 112$, folglich $t_1 = 112 - 17,3 = 94,7$. Das ist die Temperatur des im ersten Körper siedenden Saftes und zugleich die Temperatur des entwickelten Saftdampfes, der als Heizdampf für den zweiten Körper wirkt. Die Heizfläche sei wieder 1 qm , $C = 22$, so ist

$$Q = 22 \times 1 \times 17,3 = 380,6$$

$$\lambda_1 - t_0 = (606,5 + 0,305 \times 94,7) - 75, \text{ da } t_0 = 75^\circ \\ = 560,38, \quad r_1 = 607 - 0,703 \times 112 = 528,3$$

$$Wg_1 = \lambda - t_0 = \frac{380,6}{560,38} = 0,679 \text{ k verdampftes Wasser in der Minute,}$$

$$Dg_1 = \frac{Q}{r_1} = \frac{380,6}{528,3} = 0,72 \text{ k kondensirter Dampf in der Minute.}$$

Für den zweiten Körper ist wieder $t_2 - t_1 = 17,3$

$$t_2 = 94,7 \quad t_1 = 77,3 \quad t_0 = 94,7$$

$$r_2 = (607 - 0,703 \times 94,7) = 540,5$$

$$\lambda_1 - t_0 = (606,5 + 0,305 \times 77,3) - 94,7 = 535,3$$

$$Q = Dg_2 \times r_2 \text{ und da } Dg_2 = Wg_1, \text{ so ist}$$

$$Q = 0,679 \times 540,5 = 367 \text{ W. E.}$$

$$F = \frac{367}{22 \times 17,3} = 0,990$$

$$Dg_2 = 0,679 \text{ k kondensirter Dampf}$$

$$Wg_2 = \frac{367}{535,3} = 0,685 \text{ k verdampftes Wasser.}$$

Für den dritten Körper ist wieder $t_2 - t_1 = 17,3$

$$t_2 = 67,3, \quad t_1 = 60, \quad t_0 = 77,3$$

$$r_2 = (607 - 0,703 \times 77,3) = 552,7$$

$$\lambda_1 - t_0 = (606,5 + 0,305 \times 60) - 77,3 = 547,5$$

$$Q = Dg_3 r_2 = 0,685 \times 552,7 = 378,6 \text{ W. E.}$$

$$F = \frac{378,6}{22 \times 17,3} = 0,994$$

$$Dg_3 = Wg_3 = 0,685 \text{ k kondensirter Dampf}$$

$$Wg_3 = \frac{Q}{\lambda_1 - t_0} = \frac{378,6}{547,5} = 0,690 \text{ verdampftes Wasser.}$$

Wir haben somit in allen drei Körpern in der Minute verdampft:

0,679 k Wasser im I. Körper,

0,685 " " " II. "

0,690 " " " III. "

zusammen 2,054 k Wasser und dazu benöthigt an Heizfläche

in I. Körper 1 qm,

" II. " 0,990 qm,

" III. " 0,994 "

zusammen 2,984 qm,

daher verdampfte 1 qm in der Minute:

$$\frac{2,054}{2,984} = 0,688 \text{ k Wasser}$$

oder 41,28 k Wasser in der Stunde.

Es wurden verwendet 0,72 k Dampf in der Minute, demnach erzeugte 1 k Heizdampf $2,984 : 0,72 = 2,85$ k Wasserdampf.

Daß in Betreff der Heizflächenleistung beim Zweikörper Gesagte gilt auch für diesen Fall.

Die Berechnung für einen Vier-, Fünf- überhaupt Mehrkörper geschieht auf dieselbe Weise und braucht wohl nicht weiter ausgeführt zu werden. In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate der Rechnung zusammengestellt. Dabei sei bemerkt, daß die angeführten Zahlen rein theoretische sind und müssen namentlich bei 7 diese Resultate für die Praxis

1) In Anzahl der Stöber.
2) Sticht schon Druck.
3) 44 mm Iiebert-brud.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	Stoßkörper		Dreißkörper			Stierkörper				Stümpkörper				
	I.	II	I.	II.	III.	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.	V.
52	26	26	173	173	173	13	13	13	13	104	104	104	104	104
112	86	86	112	94.6	77.4	112	99	86	73	112	101.6	91.2	80.8	70.4
60	86	60	94.6	77.4	60	99	86	73	60	101.6	91.2	80.8	70.4	60
608	304	608	112	44.2	608	27	300	434	608	— ²⁾	207	393	521	608
152	456	152	648	318	152	733	460	266	152	804 ³⁾	553	367	239	152
129.7	64.98	61.50	43.35	40.81	41.16	32.52	30.54	30.73	30.92	26.01	24.40	24.51	24.60	24.73
124.8	61.50	62.28	40.81	41.16	41.52	30.54	30.73	30.92	31.11	24.40	24.51	24.60	24.73	24.74
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
100	100	97.84	100	96.2	99	100	95.5	98.0	100	100	95.1	96.8	98.7	100.3 ⁴⁾
0.9	1.96		2.85			3.79				4.72				
111.11	51.03		35.08			20.38				21.18				
I.	I.	II.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.	V.

1. $t_2 - t_1$, Temperaturunterschied vorausbestimmt 52
2. t_2 , Siedtemperatur
3. t_1 , Temperatur des kochenden Saftes
4. Manometer- (Luftsee-niveau) stand in Millimetern
5. Absoluter Druck in Millimetern
6. Kondensierte Sieddampfmenge für 1 qm und 1 Stunde in Kilogramm
7. Verdampftes Wasser für 1 qm und 1 Stunde in Kilogramm
8. Transmissionskoeffizient für Wellner - Sedmel - Apparate
9. Berechnete theoretisch nötige Siedfläche, wenn der 1. Stöber = 100⁴⁾
10. 1 Kilo Sieddampf eingeführt in den ersten Körper verdampft Kilo Wasser im Ganzen
11. Um 100 Kilo Wasser aus dem Saft zu verdampfen, sind notwendig Kilo Dampf

4) und der eingedampfte Saft 75° C. warm ist.

je nach Güte der Anlage mit einem Koeffizienten (0,5 bis 0,8) multipliziert werden, um für die Praxis, welche mit der Verkrustung der Röhre und Betriebsstörungen zu rechnen hat, brauchbare Zahlen zu erhalten. Ferner sei bemerkt, daß der Temperaturunterschied

$$d = t_2 - t_1 = \frac{52}{n},$$

wobei n die Anzahl der Körper des Mehrkörper-

apparates ist, gesetzt wurde, um gleiche Leistungen der Apparate zu erhalten. Als Normalstand des Vakuummeters im letzten Körper ist 608 mm angenommen, entsprechend einer Dampftemperatur von 60° C. Der Heizdampf hat 0,5 Atm. Ueberdruck, also 112° C., daher das ganze Temperaturgefälle 112 — 60 = 52°. Ferner ist der in den ersten Körper eingezogene Saft mit 75° C. angenommen, ändert sich diese Temperatur, so ändern sich dementsprechend wohl die übrigen Resultate der Rechnung, jedoch in einem geringen, für die Praxis nicht entscheidenden Maße. Alle Rechnungen haben Bezug auf kochendes Wasser, und es ist weder die spezifische Wärme der Zuckerslösungen nicht in Betracht gezogen, noch der Umstand, daß die Zuckerslösung, je konzentrierter dieselbe ist, einen höheren Siedepunkt hat als Wasser. Nach Gerlach siedet Zuckerslösungen von

10	°.	Ball.	bei	100,4	° C.,
20	"	"	"	100,6	"
30	"	"	"	101,0	"
40	"	"	"	101,5	"
60	"	"	"	103,0	"
70	"	"	"	106,5	"
79	"	"	"	112,0	"
90,8	"	"	"	130,0	"

Es fallen dann die Temperaturunterschiede kleiner aus als berechnet wurde. Die Konzentration der Zuckerslösungen nimmt in jedem Körper stufenweise zu, es nimmt demnach auch der Temperaturunterschied stufenweise ab. Zieht man dieses in Rechnung, so findet man, daß der ganze Temperaturunterschied um etwa 4% kleiner wird, welche Zahl allenfalls bei genauen Berechnungen in diesem Falle als Berichtigungskoeffizient zu dienen hat. In diesem Verhältnis wird dann die Heizfläche der einzelnen Körper größer und zwar je nach der Konzentration der Zuckersäfte. Wird dieses berücksichtigt, so kommt man zu dem Resultate, daß sich die Heizflächen der einzelnen Verdampfapparate wie 1 : 1 : 1 : 1 verhalten sollen.

Die Temperatur des in den ersten Körper eingezogenen Dünnsaftes ist maßgebend für das Größenverhältnis der Heizflächen, aber auch dafür, wie viel k Wasser von 1 k Heizdampf verdampft werden. Je höher

diese Temperatur ist, desto größer wird die Verdampfungswirkung sein, indem die von dem eingezogenen Dünnsaft mitgebrachte Mehrwärme zur Verdampfung mit verwendet wird; sie entstammt aber einer fremden Wärmequelle, weil der Dünnsaft in einer anderen Station dieser Wärme zugeführt werden mußte. Bei mehrfacher Verdampfung wird natürlich auch diese Wärme mehrfach ausgenutzt. Wie groß diese Wirkung werden kann, soll folgendes Beispiel zeigen. Es werde der Dünnsaft vor seinem Eintritt in den ersten Körper durch irgend einen Kalorifator geführt und zwar unter dem Druck von 1 Atm. Ueberdruck; der Kalorifator werde durch die von den Dampfkesseln abziehenden Rauchgase geheizt. Der Saft werde hierbei auf 120° erwärmt. Es ist dann, einen Zweikörperapparat vorausgesetzt:

$$\text{I. Körper } t_2 - t_1 = \frac{52}{n} = 26 \quad t_2 = 112 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{u. s. f.}$$

Es werden 108,3 k Heizdampf 111,1 + 11,276 = 223,86 k Wasser verdampfen, oder 1 k Heizdampf = 2,06 k Wasser.

Bei der früheren Rechnung, wonach der Dünnsaft mit 75° eingezogen wurde, erhielten wir 1,96 k Wasserverdampfung zu 1 k Dampf. Noch auffallender ist diese Ersparniß beim Dreikörper; wenn man diese Werthe einsetzt, erhält man das Resultat, daß mit 1 k Dampf 3,09 k Wasser gegen 2,85 k im früheren Fall verdampft werden.

Aus den entwickelten Formeln und der Tabelle kann man folgendes, für die Praxis genügend genauen Satz aufstellen:

„Je nachdem der Dampf in einem Ein-, Zwei-, Drei-, Vier- oder Mehrkörper zur Verwendung kommt, wird 1 k Dampf 1, 2, 3, 4 oder mehr k Wasser verdampfen“, ein Satz, in dem der ganze Schwerpunkt der mehrfachen Dampfverwendung liegt und der klar und deutlich zeigt, welche Dampf-Ersparnisse man bei Anlagen von Mehrkörpern erzielt.

Bei Betrachtung der Tabelle finden wir ferner, daß die Heizflächen in allen Körpern nahezu dieselbe Größe haben sollen, da kein Grund vorhanden ist, den Temperaturunterschied eines oder des anderen Körpers größer oder kleiner zu halten. Es ist im Gegentheil angezeigt, die Heizflächen so zu wählen, daß die Temperaturunterschiede, zur Erzielung möglichst gleicher Leistungen der einzelnen Körper, auch gleich werden. In den Tabellen finden wir, daß die folgenden Körper eines Mehrkörpers immer sparsamer arbeiten als die vorhergehenden. Diese größere Verdampfung hat, wie bereits erwähnt, ihre Ursache darin, daß der Siedepunkt des Saftes tiefer liegt, der eingezogene Saft jedoch eine größere Wärme mitbringt, welche der Verdampfung zu Gute kommt.

Ferner finden wir, daß die Heizfläche des zweiten Körpers kleiner ist als die des ersten und die Heizflächen der weiteren Körper wieder größer werden; der fünfte Körper überschreitet sogar an Größe der Heizfläche den des ersten Körpers. Das erklärt sich aus Folgendem:

$$\text{Es ist } F = \frac{Q}{(t_2 - t_1) C} \text{ und da } Wg = \frac{Q}{\lambda_1 - t_0}$$

$$\text{so ist auch } F = \frac{Wg (\lambda_1 - t_0)}{(t_2 - t_1) C}$$

Nun ist sowohl $t_1 - t_2 = d$ als C eine Konstante, während Wg sich ändert und zwar ist das Wg des folgenden Körpers immer größer als das des früheren. Ebenso wird der Werth $\lambda_1 - t_0$ mit jedem folgenden Körper größer, daher muß auch Q und F ebenfalls größer werden.

Wie man aus dieser Betrachtung ersieht, muß man also, um gleiche Verdampfleistungen zu erhalten, die dem zweiten Körper folgenden Körper immer größer nehmen und zwar in dem Verhältnisse, wie es die Tabelle zeigt, z. B. bei Fünfkörper 1,00 : 0,95,1 : 0,96,8 0,98,7 : 1,003 u. s. f., dabei ist jedoch der erste Körper der größte. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Körpern sind jedoch nicht so große, so daß man in der Praxis hierfür stets gleiche Werthe einsetzen kann. Es ist aber ein anderer Umstand, der uns zwingt, von der Regel abzuweichen, und dieser liegt in der Verkrustung der Rohre und der dadurch bedingten schlechteren Transmissionsfähigkeit der Heizfläche. Dabei ist es klar, daß jener Körper die größte Inkrustation zeigen wird, in dem die konzentriertesten Säfte zur Verdampfung gelangen, das ist in dem letzten Körper, dem Dicksaftkörper des Mehrkörpers; weiter vorschreitend wird die Verkrustung eine geringere sein und beim ersten Körper (dem Dunnsaftkörper) ein Minimum werden. Um diese schlechte Wirkung der Heizfläche auszugleichen, giebt man einen entsprechenden Zuschlag zur Heizfläche der einzelnen Körper, welcher Zuschlag gegen den letzten Körper zu einem großen wird. Die Größe desselben hängt von verschiedenen Umständen ab, hauptsächlich von der guten und schlechteren Beschaffenheit der Säfte und dürfte gewöhnlich etwa 15—20% der Heizfläche des vorhergehenden Körpers betragen, so daß, wenn z. B. die Rechnung für einen Vierkörper folgende Heizflächen ergab:

$$\begin{array}{cccc} 200 & - & 191 & - & 196 & - & 200 \\ & & \text{I} & & \text{II} & & \text{III} & & \text{IV} \end{array}$$

man mit dem Zuschlag setzen wird:

I. Körper 200,

II. " 191 + 0,15 × 200 = rund 220,

III. " 196 + 2 × 0,15 × 200 = rund 260,

IV. " 200 + 3 × 0,15 × 200 = " 290.

In der Praxis findet man häufig Anordnungen, welche mit diesen Regeln durchaus nicht übereinstimmen. Hauptsächlich findet man äußerst stark steigende Heizflächen. Dieses ist nun wohl an und für sich kein großer Fehler, da die Heizflächen dieselbe Leistung haben werden, indem sich der Temperaturunterschied nach dem Heizflächenverhältniß stellt, da ja demselben die Heizfläche umgekehrt proportional ist. Natürlich verdampft dann der erste Körper mehr als dem Verhältniß zu seiner Heizfläche entsprechen würde. Ungünstig könnte dagegen jene Anordnung sein, bei welcher die ersten Körper größer und die nachfolgenden Körper kleiner gehalten werden, es könnte dann der Fall eintreten, daß bei allenfallsiger Verkrustung der zweite bezw. letzte Körper nicht mehr verdampfte, als der vorhergehende entwickelt, und der ganze Apparat eine schlechte Wirkung haben müßte.

Da es sich auch öfter darum handelt, gegebene Heizflächen zu verwerthen, so soll in folgenden zwei Beispielen angeführt und gleichzeitig gezeigt werden, wie unzweckmäßig es ist, große Verschiedenheiten in den Heizflächen der Mehrkörper einzuführen.

1. Beispiel: Zweikörper. Die Flächen der beiden Körper sind ungleich. Es sind die dazu gehörigen Temperaturunterschiede zu suchen, welche eine Maximalleistung beider Körper geben.

$$\begin{array}{ll}
 1. \text{ Körper: } t'_2 = 112^\circ & 2. \text{ Körper: } t''_2 = t''_1 = x^\circ \\
 t'_1 = x^\circ & t''_1 = 60^\circ \\
 t_0 = 75^\circ & t''_0 = t_1 = x \\
 F_1 = 100 \text{ qm} & F_2 = 150 \text{ qm} \\
 C = 22 & C = 22
 \end{array}$$

$$Q_1 = Q_2$$

Wir haben vorerst die mittlere Temperatur x zu bestimmen:

$$Q_1 = F_1 C (t'_2 - x)$$

$$Q_2 = F_2 C (x - t''_1)$$

Demnach auch: $F_1 C (t'_2 - x) = F_2 C (x - t''_1)$ und

$$F_1 (t'_2 - x) = F_2 (x - t''_1)$$

$$\text{woraus} \quad x = \frac{F_1 t'_2 + F_2 t''_1}{F_1 + F_2}$$

$$\text{Diese Werthe eingesetzt, giebt } x = \frac{100 \times 112 + 150 \times 60}{100 + 150} = 80.8^\circ$$

Es ist somit, wenn wir $t''_2 - t''_1 = d_n$ stets setzen:

$$d_1 = 112 - 80.8 = 31.2 \text{ der Temperaturunterschied des 1. Körpers}$$

$$\text{und } d_2 = 80.8 - 60 = 20.8^\circ \quad " \quad " \quad " \quad 2. \quad "$$

Es ist ferner $Q_1 = F_1 C d_1 = 100 \times 22 \times 31.2 = 68640$ W. E.
 und $Q_2 = F_2 C d_2 = 150 \times 22 \times 20.8 = 68640$ W. E.

Daraus berechnet sich:

$$Dg_1 = \frac{Q_1}{r_2} = \frac{68640}{607 - 0.708 \times 112} = 130 \text{ k Dampf}$$

$$Wg_1 = \frac{Q_1}{\lambda_1 - t_0} = \frac{68640}{(606.5 + 0.305 \times 80.8) - 75} = 123.7 \text{ k Wasser}$$

$$Dg_2 = Wg_1 \dots \dots \dots = 123.7 \text{ k Dampf}$$

$$Wg_2 = \frac{Q_2}{\lambda_1 - t_0} = \frac{68640}{(606.5 + 0.305 \times 60) - 80.8} = 126.1 \text{ k Wasser.}$$

Ferner ist $\frac{60 Wg_1}{100} = 74.22$ k verdampftes Wasser auf 1 qm
 und 1 Stunde im I. Körper

und $\frac{60 Wg_2}{150} = 50.44$ k verdampftes Wasser auf 1 qm
 und 1 Stunde im II. Körper.

Im Durchschnitte verdampft demnach dieser Zweikörper, für den $F_1 : F_2 = 100 : 150$, nur 59,95 k Wasser auf 1 qm und Stunde, statt 61.89 k, welche er bei gleichen Flächen verdampfen würde.

2. Beispiel: Dreikörper. Die Flächen der 3 Körper sind ungleich. Es sind die dazu gehörigen Temperaturunterschiede zu suchen, welche eine Maximalleistung aller 3 Körper geben.

I. Körper	II. Körper	III. Körper
$t'_2 = 112^\circ$	$t''_2 = x$	$t'''_2 = y$
$t'_1 = x$	$t''_1 = y$	$t'''_1 = 60^\circ$
$t_0 = 75^\circ$	$t_0 = x$	$t_0 = y$
$F_1 = 100$	$F_2 = 150$	$F_3 = 200$
$C = 22$	$C = 22$	$C = 22$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Daher auch $F_1 (t'_2 - x) = F_2 (x - y) = F_3 (y - t'''_1)$.

Bestimmen wir x aus der den Gleichungen 1 und 3, so ist

$$x = \frac{F_1 t'_2 - F_3 y + F_3 t'''_1}{F_1}$$

Setzen wir diesen Ausdruck in die Gleichungen 2 und 3 und bestimmen wir y, so erhalten wir:

$$y = \frac{F_1 F_2 t'_2 + F_2 F_3 t'''_1 + F_1 F_3 t'''_1}{F_1 F_2 + F_2 F_3 + F_1 F_3}$$

Die bekannten Werthe eingesetzt, giebt:

$$y = \frac{100 \cdot 150 \cdot 112 + 150 \cdot 200 \cdot 60 + 100 \cdot 200 \cdot 60}{100 \cdot 150 + 150 \cdot 200 + 100 \cdot 200} = 72^\circ \text{ C.}$$

In Folge dessen ist $d_3 = 72 - 60 = 12^\circ$ der Temperaturunterschied des dritten Körpers.

Setzen wir $F_3 d_3 = P$, so ist auch $F_2 d_2 = F_1 d_1 = P$
weil $Q_1 = Q_2 = Q_3$ ist, woraus dann

$$d_1 = \frac{P}{F_1}; d_2 = \frac{P}{F_2}; d_3 = \frac{P}{F_3}.$$

Beim dritten Körper ist P bekannt $= 12 \times 200 = 2400$.

Folglich ist $d_2 = \frac{2400}{150} = 16^\circ$ Temperaturunterschied des II. Körpers

$$\text{und } d_1 = \frac{2400}{100} = 24^\circ \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{I.} \quad \text{"}$$

und es ist auch $112 - 24 = 88^\circ$ die Kochtemperatur des I. Körpers

$$88 - 16 = 72^\circ \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{II.} \quad \text{"}$$

$$72 - 12 = 60^\circ \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{III.} \quad \text{"}$$

$$Dg_1 = \frac{100 \times 22 \times 24}{607 - 0.708 \times 112} = \frac{52800}{527.71} = 100 \text{ k Dampf}$$

$$Wg_1 = \frac{52800}{(606.5 + 0.305 \times 88) - 75} = 94.56 \text{ k Wasser}$$

$$Dg_2 = Wg_1 \dots \dots \dots = 94.56 \text{ k Dampf}$$

$$Wg_2 = \frac{52800}{(606.5 + 0.305 \times 72) - 88} = 97.60 \text{ k Wasser}$$

$$Dg_3 = Wg_2 \dots \dots \dots = 97.69 \text{ k Dampf}$$

$$Wg_3 = \frac{52800}{(606.5 + 0.305 \times 60) - 72} = 905.00 \text{ k Wasser}$$

oder es wird verdampft auf 1 qm und 1 Stunde:

$$\text{im I. Körper } \frac{97.56 \times 60}{100} = 56.73 \text{ k Wasser}$$

$$\text{im II. Körper } \frac{97.50 \times 60}{150} = 39.14 \text{ k Wasser}$$

$$\text{im III. Körper } \frac{95.50 \times 60}{200} = 28.65 \text{ k Wasser}$$

und im Durchschnitte 38.36 k Wasser.

Sowohl im Dreikörper als auch im Zweikörper bleibt der Dampfverbrauch derselbe wie im Zweikörper und Dreikörper der Tabelle Seite 63.

Wenn wir diese Wasserverdampfung für 1 qm Heizfläche mit derjenigen, die in der Tabelle Seite 63 angeführt ist, vergleichen, so sehen wir, daß die Leistungsfähigkeit für 1 qm Heizfläche gesunken ist.

Während ein Zweikörper mit dem gleichen Temperaturunterschied und der berechneten Heizfläche durchschnittlich 62 k Wasser auf 1 qm Heizfläche

und in der Stunde verdampft, wird der Zweikörper, bei welchem $F_1 : F_2 = 100 : 150$, bloß 59 k für 1 qm und 1 Stunde verdampfen, was etwa 5% weniger ist. Beim Dreikörper wird das Verhältniß noch ungünstiger. Ein Dreikörper 1. Art verdampft für 1 qm und 1 Stunde etwa 41 k Wasser, während der soeben berechnete Dreikörper bloß 38.36 oder etwa 6 1/2% weniger verdampft. Bei einem Vier- und Fünfkörper wird dieser Unterschied noch größer.

Für den praktischen Betrieb sind diese kleinen Unterschiede von keinem großen Belange. Die Feststellung derselben ist jedoch immerhin von Wichtigkeit, weil sie beweisen, daß eine Vertheilung der Totalheizfläche eines Verdampfungsapparats-Systems in ungleich große Heizflächen nach der angeführten Weise nicht nur ungerechtfertigt ist, sondern auch schädlich sein kann, denn je größer die Unterschiede in den Flächen der einzelnen Körper werden, desto kleiner wird die Leistungsfähigkeit des ganzen Verdampfungsapparats-Systems.

Um einen Vier- und Fünfkörper unter denselben Voraussetzungen zu berechnen, verfährt man ganz in derselben Art.

Betrachten wir nun die Formel $Q = F C d$, so sehen wir, daß, wenn Q die Leistung des Verdampfungsapparates ausdrückt, dieses Q größer wird, wenn bloß ein einziger Faktor sich vergrößern läßt, und im Gegentheil kleiner, wenn die einzelnen Faktoren kleiner werden. Es ist natürlich, daß, wenn F größer gemacht wird, die Leistungsfähigkeit eines Verdampfungsapparates sich erhöhen muß. Es ist aber ebenso richtig, daß, wenn man C oder d vergrößert, dasselbe eintritt. F kann man nur in der Art vergrößern, daß man neue Fläche hinzubringt, wogegen aber C vergrößert werden kann, ohne etwas Anderes zu thun, als die Transmissionsfähigkeit der Fläche durch Reinhaltung derselben von Kondensationswasser zu erhöhen. Dieses ist aber auch der einzig mögliche Fall der Vergrößerung von C und kann durch eine heftige Strömung des Heizdampfes erzielt werden. Die Reinhaltung der Heizfläche von Inkrustation bedingt deren Transmissionsfähigkeit und verhindert das Kleinerwerden von C .

Was den Temperaturunterschied d anbelangt, so liegt es vollständig in unseren Händen, die Leistung eines Verdampfungsapparates in dieser Richtung zu erhöhen, vorausgesetzt, daß wir nicht schon die Maximalgrenze erreicht haben. Wie dieses geschehen kann, werden wir sofort erörtern.

Die Vergrößerung von d ist nach zwei Richtungen möglich, und zwar:

1. Durch Erniedrigung des Siedepunktes der siedenden Flüssigkeit.
2. Durch Erhöhung der Temperatur des Heizdampfes.

Was die Erniedrigung des Siedepunktes anbelangt, so sind derselben enge Grenzen gezogen. Sie hängt von der Verminderung des Luftdruckes ab, der auf der kochenden Flüssigkeit lastet.

Könnten wir im letzten Körper eines Verdampfapparates eine solche Luftleere erzeugen, daß wir nur einen absoluten Druck von 0.1 Atmosphäre behielten, so würde die Flüssigkeit bei etwa 46° C. statt bei 60° kochen. Wir würden dadurch 14° C. Temperaturunterschied gewinnen und bei einem Gesamt-Wärmegefälle von 52°, wie wir in unseren Rechnungen annehmen, die Leistungsfähigkeit des betreffenden Verdampfapparates um 27% erhöhen. Da dieses aber nicht möglich ist und eine durchschnittliche 608 mm große Luftleere schon eine gute Luftleere genannt werden muß, so müssen wir uns so weit als möglich an den 2. Punkt halten. Die Ursache, warum wir keine höhere Luftleere erzeugen können und nicht einmal die Luftleere der Kondensationsmaschine erreichen, liegt darin, daß während des Kochens des Zuckersaftes Zerlegungsprodukte aus den dem Saft beigemengten organischen Körpern entstehen, die gasförmig sind, sich mit dem zu kondensirenden Wasserdampfe mischen und entweichen, somit auch zur Kondensation gelangen. Wasserdämpfe, denen Gase und Luft beigemengt sind, können nur schwer kondensirt werden. Und dieses ist auch die Ursache, daß keine hohe Luftleere zu erzeugen möglich ist. Daß sich atmosphärische Luft den zu kondensirenden Dämpfen ebenfalls beimischt, braucht nicht weiter ausgeführt zu werden.

Gehen wir nun zum 2. Punkte über. Versuchen wir den Temperaturunterschied zu erhöhen, indem wir dem Heizdampfe eine höhere Temperatur geben. Dies können wir verschieden bewerkstelligen.

Zur Verdampfung der Zuckersäfte verwendet man so lange Rückdampf von Dampfmaschinen, als man ihn hat, und nimmt dann erst seine Zuflucht zu direktem Dampfe, wenn der Rückdampf nicht mehr ausreicht. Wir haben es somit mit 2 Heizdampfquellen zu thun.

Verwenden wir Rückdampf zur Verdampfung, so können wir die Temperatur desselben nur dann erhöhen, wenn wir ihn mittelst einer billigen Wärmequelle überhizen, oder indem wir ihn unter größerem Drucke auspuffen lassen. Ersteres führt gewöhnlich nicht zum Ziele, da meistens die billige Wärmequelle fehlt, letzteres ist gefährlich. Erhöhung des Rückdampfdruckes hinter dem Kolben bedeutet Vermehrung des Dampfverbrauches vor dem Kolben, d. h. mit anderen Worten, man giebt den direkten Dampf nicht unmittelbar in den Verdampfapparat, sondern man läßt ihn durch den Dampfzylinder der Dampfmaschine dahin gelangen. Wenn wir eine Spannung des Rückdampfes auf $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Ueberdruck zugeben,

so geschieht dies nur deshalb, damit die Flächen der Verdampfungsapparate nicht gar zu groß ausfallen und man durch das hohe Anlagekapital nicht verliert, was man an direktem Dampf erwart hat. Wir werden später bemerken, daß ¹, Ansohn'sche Rücklauf auf die Maschine vollständig genügt und daß man nur die Einrichtung der Verdampfung dem entsprechend machen muß. Wir sehen, daß wir uns auch hier in ziemlich engen Grenzen bewegen müssen.

Die Vergrößerung des Temperaturunterschiedes durch Erhöhung der Heizdampf-temperatur, wenn wir mit direktem Dampf abgefeuert heizen, haben wir vollständig in der Hand, da mit dem Druck des direkten Dampfes auch dessen Temperatur steigt.

Der Temperaturunterschied hängt aber noch von anderen Umständen ab, die noch näher beleuchtet werden sollen.

Wenn wir eine Flüssigkeit, die nicht kocht, erwärmen, so werden wir finden, daß die Transmissionsfähigkeit derselben Heizfläche außerordentlich frukt und zwar unter Umständen sogar um 60—80%, so daß, wenn 1 qm Heizfläche bei kochender Flüssigkeit einen Transmissionskoeffizienten von 25 hat, dieser Koeffizient sehr klein werden kann, wenn die Flüssigkeit bloß aufgewärmt wird. Hier ist aber nicht die Heizfläche die Schuld, denn diese ist dieselbe geblieben; es ist dies der Mangel an Temperaturunterschied. Man muß sich die zu erwärmende oder zu verdampfende Flüssigkeit in konzentrische Schichten eingetheilt denken, die das Heizrohr umhüllen. Diese Schichten sind am heißesten in unmittelbarer Nähe des Heizrohres. Wenn sie stillstehen, verursachen sie, daß der direkte Temperaturunterschied bedeutend kleiner ist, als wenn diese Schichten durch irgend ein mechanisches Hilfsmittel stets erneuert werden und so kältere Theile der Flüssigkeit mit der Heizfläche in Berührung kommen. Dieses Letztere geschieht beim Kochen durch die heftige Bewegung der Flüssigkeit. Je lebhafter das Kochen, desto mehr Kalorien werden übertragen, weil der Temperaturunterschied erhalten bleibt.

Der Temperaturunterschied kann aber auch kleiner werden, wenn die Temperatur des Heizdampfes sinkt, d. h. wenn dessen Druck kleiner wird. Dieses geschieht dann, wenn der Druck des Heizdampfes in den Heizröhren durch keinen Gegendruck erhalten bleibt. Läßt man die Heizschlangen offen ausmünden, wie es bei den ersten Körpern der Verdampfungsapparate vielfach Regel ist, so ist kein Druck in denselben und die Wärme des Heizdampfes wird in Folge dessen auch bedeutend geringer sein. Der Temperaturunterschied ist ein täuschender. Wir werden überhaupt alle diese Erscheinungen später nochmals behandeln.

14. Einschaltung von Vorwärmern in die Brüdenleitung zum Kondensator.

Bei der ein- sowie mehrfachen Anwendung des Dampfes zur Verdampfung unter Luftleere geht stets die vom letzten Körper abgehende Dampfmenge nicht nur verloren, sondern es muß noch zur Kondensation derselben eine entsprechende Menge Kühlwassers herangezogen werden, welches die frei werdende Wärme des niedergeschlagenen Dampfes aufzunehmen hat. Der abgehende Dampf besitzt aber immer noch eine genügend hohe Temperatur, um als Heizmittel dienen zu können. Man hat bereits früher versucht, die Wärme dieser Brüdenämpfe auszunützen, indem man zwischen dem letzten Körper eines Verdampfapparates und dem Kondensator einen Oberflächenkondensator einschaltete. Der erste Kondensator bestand aus vertikal aufgestellten Schlangen, welche wie bei Verdampfapparaten angeordnet waren. Solche Schlangen wurden 5 bis 6 Stück aufgestellt, und oberhalb einer jeden Schlange befanden sich kleine Rinnen, welche das zu erwärmende Wasser in dünnen Strahlen auf die Schlangentropfen ließen. Die zu kondensirenden Brüden bewegten sich innerhalb der Schlangen und gingen theilweise kondensirt zur Luftpumpe. Später führte man Röhrenvorwärmer wie beistehende Figur 55 ein,

deren Anordnung aber ungünstig getroffen war; dieselben wurden gewöhnlich in Form eines Zylinders ausgeführt, in dessen beiden Böden Röhre

eingezogen waren. Um die Röhre zog der Dampf, in den Röhren die zu erwärmende Flüssigkeit, so daß die Berührungsdauer der Flüssigkeit mit dem Dampf eine sehr kleine war. Ebenso war die Zirkulation der Flüssigkeit eine minimale und da eine Flüssigkeit, die angewärmt werden soll, unterhalb des Siedepunktes Wärme nur

schwer aufnimmt, so war auch der Transmissionskoeffizient der Heizfläche ein sehr geringer. Um denselben zu erhöhen, muß man die Flüssigkeit in

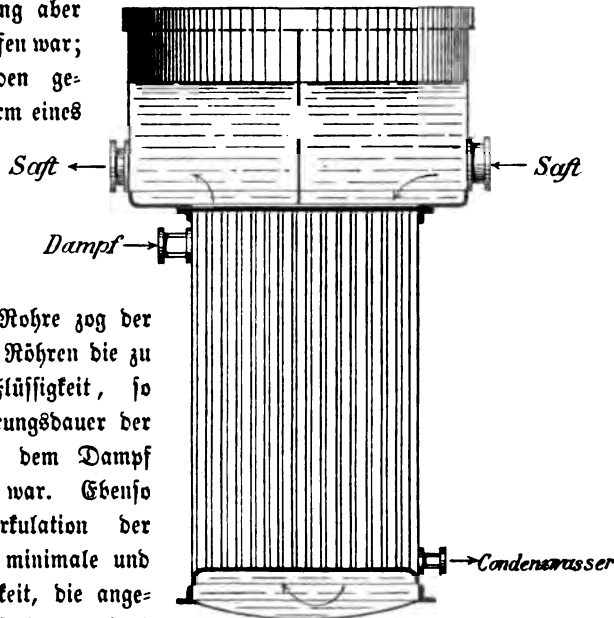


Fig. 55.

dem Anwärmpapparat möglichst rasch bewegen lassen, was am besten dadurch geschieht, daß man sie, wie den Dampf in den Verdampfapparaten Wellner-Jelinet, in Schlangenzügen durch die Rohre führt und die Summe der

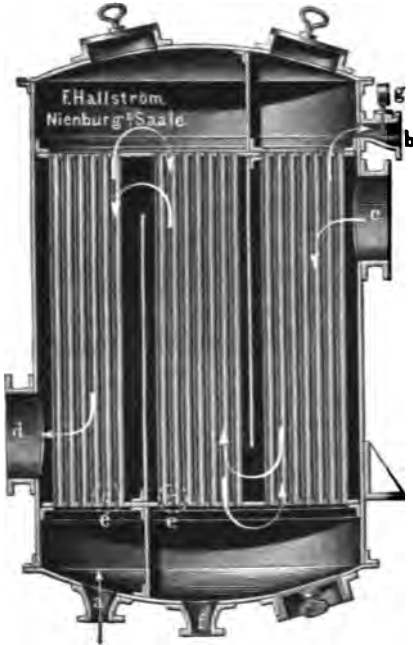


Fig. 56.



Fig. 57.

Querschnitte der einzelnen Züge oder Rohrbündel gleich macht dem Querschnitte des Heizrohres. Den Dampf führt man außerhalb der Röhren der Flüssigkeit entgegen, so daß er dort eintritt, wo die erwärmte Flüssigkeit austritt und man aus der ganzen Fläche des Vorwärmers das Maximum des Temperaturunterschiedes und damit auch das Maximum der Leistung erzielt. So entsteht der Gegenstrom-Kalorifator, der sich vollkommen bewährt hat. Der Durchmesser der Rohre soll so klein als möglich sein, um dem Saft viel Berührungsfläche mit dem Brüden zu bieten, soll jedoch so groß gemacht werden, daß der Reinigung keine Hindernisse bereitet werden. Es ist selbstverständlich, daß man diesen Kalorifator nicht nur mit Dampf aus dem letzten Körper, sondern auch mit jenem aus den ersten Körpern eines Mehrkörpers sowie mit Rück- oder direktem Dampf heizen kann. Bei der Anlage solcher Kalorifatoren ist zu berücksichtigen, daß die Flüssigkeit nur auf eine Temperatur gebracht werden kann, die sich jener der Dampftemperatur nähert. Bei der Anwärmpung mit Dampf des letzten Körpers wird man daher nur

die auf etwa 55° anwärmen können, da Dampftemperatur hier nur 60° beträgt. Ein in Zuckerfabriken öfter vorkommenden Kalorifator mit stehenden

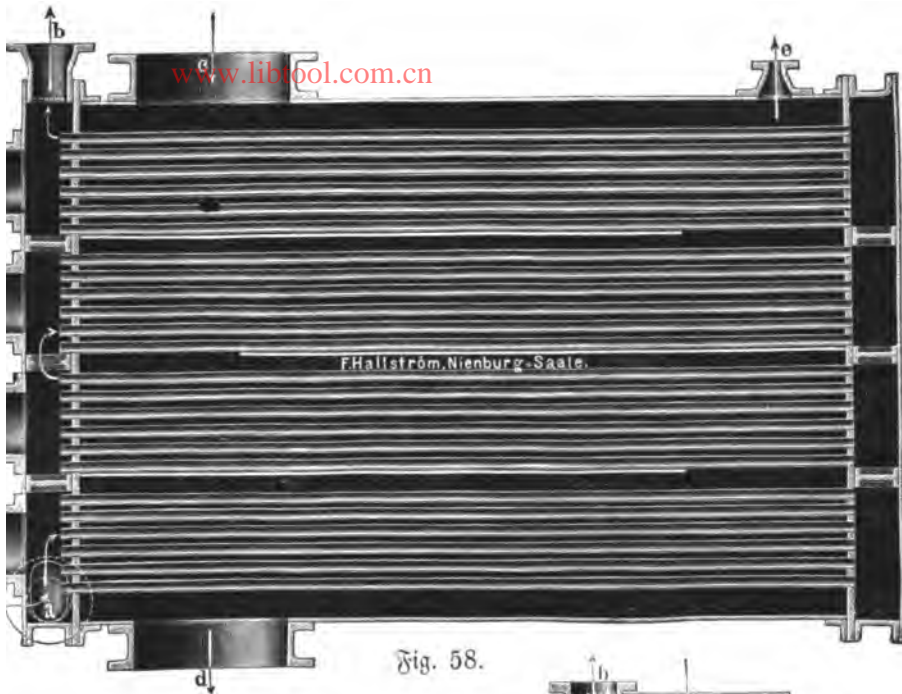


Fig. 58.

Röhren zeigen Figur 56 und 57 (Seite 74). Die Flüssigkeit steht hier innerhalb der Röhre, der Dampf umspielt die Röhre. Dadurch, daß die Flüssigkeit so zu sagen gar keine Bewegung macht, findet eine ungünstige Art der Erwärmung statt. Ein anderer mit horizontalen Röhren ist in Figur 58 und 59 abgebildet; die Einrichtung beider ist leicht verständlich.

Die Art, wie die verschiedene Brüden-
dampf-Verwendung ausgeführt werden kann, stellt beispielsweise Figur 60 (Seite 76) an einen stehenden Zweiförper-Verdampf-
apparat mit Saftwärmer und Saturations-
pfannen-Erheizung dar.

A und B sind die beiden Verdampf-
apparate, deren Bauart etc. aus dem
Früheren bekannt ist.

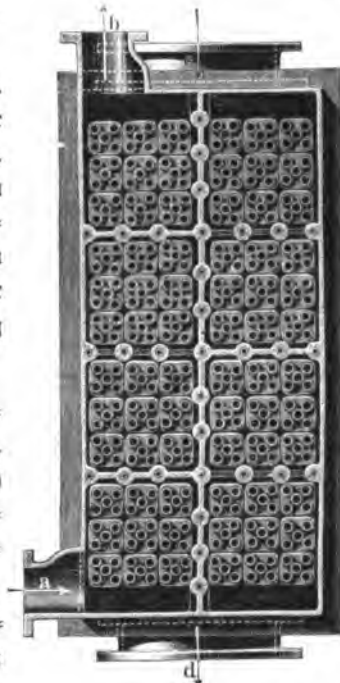


Fig. 59.

C ein Uebersteiger als Sauffänger zwischen den Apparaten.

D ein Heddlicher Sauffänger.

G ein Kalorifator mit Heizröhrenem, ähnlich wie bei den Verdampfungsapparaten.

F ein Ginstig-Kondensator.

S S S säulenförmige Saturatortare.

Der aus B durch D kommende Brüden kann je nach Stellung der in der Leitung befindlichen Ventile entweder unmittelbar nach dem Kondensator F oder durch den Kalorifator G dorthin geleitet werden.

Der von der Zisternenbatterie nach der Saturation geleitete Saft gelangt, ehe er dort hinkommt, durch den Stutzen H bei geschlossenem Ventil 8 und geöffnetem Ventil 9 in den Kalorifator, erwärmt sich und steigt bei

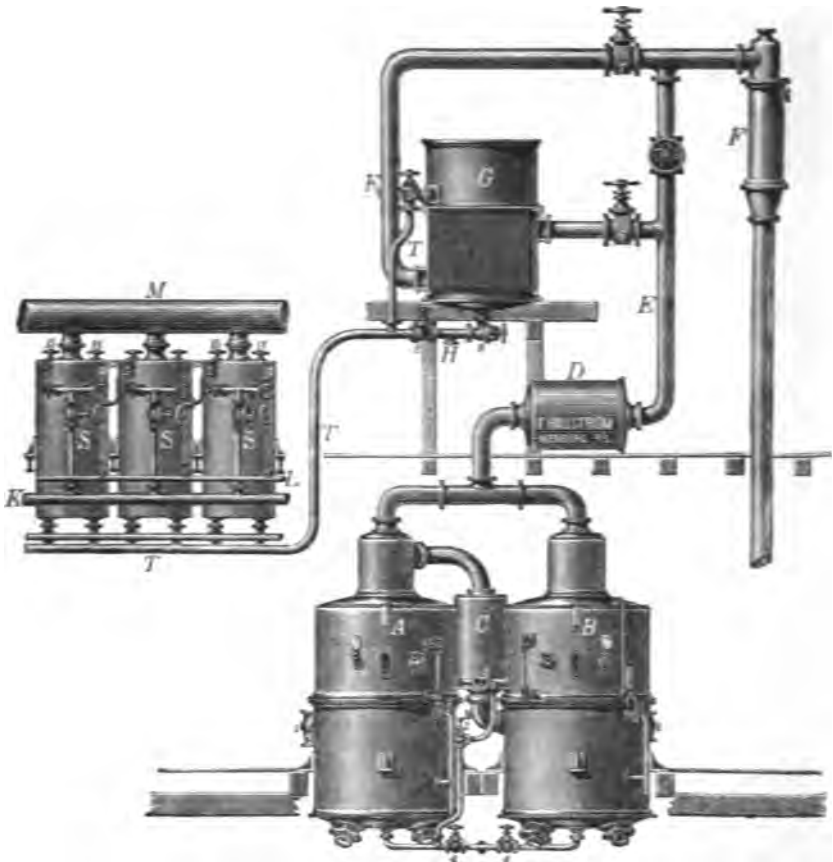


Fig. 60.

offenem Ventil 10 über in die Rohrleitung T und von dieser bei Öffnung der Ventile 14 in die Saturationspfannen.

Ventil 8 dient zur Entleerung des Kalorifators oder auch bei geschlossenen Ventilen 9 und 10 unter Ausschluß der Vorwärmung zur direkten Beschickung der Saturationspfannen. Brückenventil 6 und 7 ist in diesem Falle geschlossen, Ventil 5 geöffnet.

Bei der Saturationsbatterie bedeutet:

- K die Kohlen säureleitung,
- L „ Dampfleitung,
- M „ Abdampfleitung aus den Pfannen ins Freie,
- 11 das Kohlen säureventil,
- 12 und 13 Dampfventile,
- 14 „ 15 Saft-Ein- und Auslaßventile.

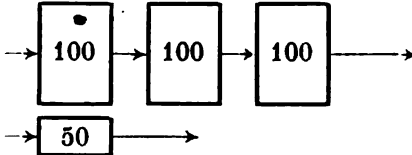
15. Anwärmungen und Heizungen mit Dampf der verschiedenen Körper eines Verdampfapparates.

Eine weitere Ersparniß im Betriebe kann man auch dadurch erzielen, daß man Apparate (Vakuum oder Sirupkocher), deren Speisung früher ausschließlich mit direktem oder allenfalls Rückdampf erfolgte, auch mit Dämpfen aus den ersten Körpern der Verdampfapparate speist. Dadurch ist der Vortheil geboten, daß der direkte oder Rückdampf, nachdem er bereits im ersten oder im ersten und zweiten Körper eines Mehrkörpers zur Ausnützung gelangte, noch im Vakuum oder Sirupkocher ein zweites oder ein drittes mal benützt wird. Der Vortheil liegt dann ebenso wie bei Anwendung eines Gegenstrom-Kalorifators hauptsächlich darin, daß weniger Dämpfe der Kondensation zugeführt werden, indem die ersten Körper entsprechend der geschaffenen Wärmeabzugsquelle mehr Dampf entwickeln müssen, während der letzte dann nur das Uebrige zu verdampfen hat. Nehmen wir zur Erläuterung dieses Vorganges an, daß wir in einem einfachen Dreikörper 300 k Wasser in der Minute zu verdampfen haben, so wird jeder Körper, da sich die Leistung der einzelnen Körper nahe wie 1 : 1 : 1 verhält, 100 k Wasser in der Minute zu verdampfen haben, und wir werden an Heizdampf benöthigen, da 1 k Heizdampf 2,85 k Wasser verdampft, $300 : 2,85 = 105,3$ k Heizdampf. Dabei gehen aus dem letzten Körper 100 k Dampf in der Minute zur Kondensation, daher verloren. Außerdem hätten wir einen zweiten Apparat (das Vakuum) der aber nur als Einkörper arbeitet und der z. B. 50 k Wasser in der Minute zu verdampfen hätte und auch mit Dampf von 112° gespeist wird und daher an Heizdampf benöthigen wird: $50 : 0,9 = 55,5$ k Dampf und gehen 50 k unbenützt zur Kondensation. Gesamtdampf-

verbrauch $105,3 + 55,5 = 160,8$ k. Nun nehmen wir an, daß jener Apparat, der bisher als Einkörper gearbeitet hat, seinen Dampf aus dem ersten Körper erhält, so wird derselbe vor Allem zur Erzielung einer gleichen Leistung in der Heizfläche vergrößert werden müssen und zwar im verkehrten Verhältniß der Temperaturunterschiede. War die Heizfläche früher $= X$, bei einem Temperaturunterschied von $112 - 60 = 52^\circ$, so wird, da die Heizung nun aus dem ersten Körper erfolgt, also mit Dampf von $94,6^\circ$, der Temperaturunterschied jetzt $94,6 - 60 = 34,6$ sein. Daher muß die neue Heizfläche $= \frac{52}{34,6} X = 1,50 X$ sein. Es muß demnach eine Heiz-

fläche von $\frac{X}{2}$ neu aufgestellt werden. Sehen wir nun, welche Ersparnisse

hier stattfinden. In den Verdampfungsapparaten müssen verdampft werden 300 k in der Minute, 50 k müssen aus dem ersten Körper dem Vakuum zu-



geführt werden (siehe nebenstehende Skizze), welches man als Zweikörper arbeitend denken kann, von welchen also der erste Körper 50 k und der

zweite Körper 50 k verdampft. Es werden daher für den Dreikörper nur $300 - 50 = 250$ k zu verdampfen bleiben, welche auf die drei

Körper in gleiche Theile vertheilt ergeben $250 : 3 = 83,3$ k

Wasserverdampfung. Nebenstehende Skizze wird das

erklären. Die Heizfläche des Dreikörpers ist dieselbe ge-

blieben, wie im ersten Falle, nur mit dem Unterschiede, daß

die einzelnen Körper nicht

mehr gleich sind, sondern daß der erste Körper um jene Heizfläche größer geworden ist, die nöthig ist, um die 50 k in der Minute für das Vakuum

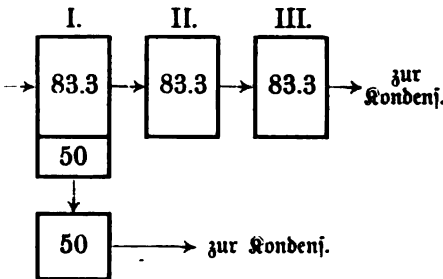
zu erzeugen, und welcher Zuschuß in gleichen Theilen den beiden anderen Körpern entzogen würde. Nun sind also $50 + 50$ k Wasser im Zwei-

körper zu verdampfen und $83,3 + 83,3 + 83,3 = 250$ k im Dreikörper. Der nöthige Heizdampf wird daher sein:

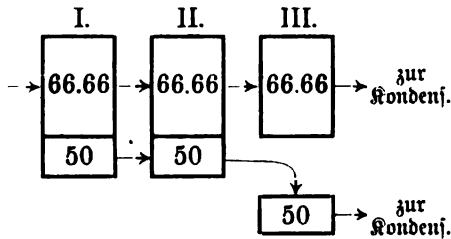
$$100 : 1,96 = 51,0 \text{ k Dampf für den Zweikörper,}$$

$$250 : 2,85 = 87,7 \text{ " " " " Dreikörper.}$$

zus. 138,7.



Es werden also gegen den früheren Fall $160,8 - 138,7 = 22,1$ k Dampf erspart, wobei bloß die Heizfläche des Vakuums vergrößert zu werden braucht. Noch auffallender ist diese Ersparniß, wenn wir den früheren Einkörper aus dem zweiten Körper heizten. Die Heizfläche müßte dann aber noch mehr erhöht werden, da im zweiten Körper nur die Temperatur von $77,4^\circ$ herrscht, also bloß ein Temperaturunterschied von $77,4 - 60 = 17,4^\circ$ sein würde; es müßte also die Heizfläche dann sein: $\frac{52}{17,4} X = 2,98 X$. Die Anordnung wäre dann nach



nebenstehender Skizze durchzuführen. Im ganzen Dreikörper sind 300 k zu verdampfen; da nun aber im ersten wie im zweiten Körper 50 k zur Erzeugung des Dampfes für den eingeschalteten Körper abgenommen

werden, so verbleiben $300 - (50 + 50) = 200$ auf die Körper in gleiche Theile zu vertheilen, daher $200 : 3 = 66,66$. Es arbeiten dann eigentlich zwei Dreikörperapparate: Der nöthige Heizdampf ist dann:

$$200 : 2,85 = 71,16$$

$$150 : 2,85 = 52,62$$

$$\text{auf. } 123,78 \text{ k}$$

also eine Ersparniß gegen den einfachen Dreikörper:

$$160,8 - 123,78 = 37,02 \text{ k}$$

$$\text{und gegen den 1. Fall: } 138,7 - 123,78 = 14,92 \text{ k}$$

Dampf in der Minute.

Dieselbe Rechnung kann man auch bei einem Vier- oder Fünfkörper vornehmen und die Ersparniß ist immer dann größer, je näher der Körper dem letzten ist, dem der Dampf entnommen wird. Am richtigsten und besten wäre es freilich, den zum Kondensator abziehenden Dampf voll auszunützen; das einzige Mittel, die Erwärmung von Flüssigkeiten, welche übrigens auch nur, wie wir gesehen haben, auf höchstens 50° C. erwärmt werden können. Theilweise kann das allenfalls geschehen, um jedoch die Wärme sämtlicher Dämpfe, die bei einer ökonomischen Anlage der Verdampfstation erübrigt werden, voll auszunützen, dazu stehen uns in der Zuckersfabrikation nur wenig Säfte zur Verfügung (Diffusions säfte und Saturations säfte) und man wird daher immer zur Kondensation dieser Dämpfe Kühlwasser heranziehen müssen. Die Ausführung solcher Dampfbenutzungen wird später eingehend erläutert werden.

IV. Hälftheile der Verdampfapparate.

www.lit16.de **Ableitung der Kondensations- und Bräudenwässer.**

Die Leistungsfähigkeit eines Verdampfapparates hängt, wie wir gesehen haben, hauptsächlich von der Größe des Temperaturunterschiedes zwischen dem Heizdampf und der siedenden Flüssigkeit ab. Je größer dieselbe ist, desto größer wird auch die Menge des verdampften Wassers im Apparate. Dieser Temperaturunterschied soll aber auf der ganzen Heizfläche derselbe sein, zu welchem Zwecke die Kondensationswässer in richtiger Weise aus dem Verdampfapparate entfernt werden müssen. Mit der Temperatur muß auch die Spannung im ganzen Heizraum eine möglichst gleichförmige sein. Es müssen daher bei richtiger Konstruktion die Abwässer mit einer Temperatur und Spannung abfließen, welche der des eintretenden Heizdampfes gleich ist. Welchen Einfluß dies auf die Größe der Heizfläche ausübt, ist bereits in einem früheren Kapitel ausgeführt worden. In Beziehung auf Rückwirkung der Heizoberfläche ist es längst als vortheilhaft erkannt, in dem Behälter, wohin das Kondensationswasser abfließt, einen gewissen Druck zu veranlassen, und in dem unteren Theile desselben ein Ventil anzubringen, welches sich mit Hilfe eines Schwimmers öffnet, wenn der Wasserstand eine gewisse Höhe erreicht hat.

Es ist demnach ganz fehlerhaft, das Kondensationswasser aus Heizschlangen, Heizrohren und den verschiedenen Heizvorrichtungen in die atmosphärische Luft, oder in einen Behälter, dessen Spannung kleiner ist als die des Heizdampfes, treten zu lassen. Es erfolgt dann durch die allmälige Kondensation des Wasserdampfes Erniedrigung des Druckes und der Temperatur in jenen Theilen der Heizvorrichtung, die vom Einstromungspunkte am weitesten entfernt sind, wodurch es geschehen kann, daß schließlich das Ende der Heizvorrichtung nur vom Kondensationswasser eingenommen wird, welche der Apparat mit der Temperatur der siedenden Flüssigkeit verläßt.

Die Betriebsmaschinen der Zuckerfabriken arbeiten gewöhnlich mit einem Rückdruck von 0,5 Atm. Ueberdruck, d. h. der Rückdampf hat diese Spannung und dementsprechend 112° C. Temperatur. Diese Temperatur muß nun im ganzen Heizsystem beibehalten werden, was dadurch erreicht wird, daß man auch in dem Raum, in dem die Dampfwässer ablaufen, eine Spannung von 0,5 Atm. Ueberdruck erzeugt. Dasselbe gilt von den Heizvorrichtungen mit Kesselbampf; die Kondenswasserableitungen dieser Apparate sollen einem Behälter zugeführt werden, dem Haupt-Druckvertheiler oder sogenannten

Hauptautomaten,

in welchem ein Druck herrscht, der gleich dem des in die Heizvorrichtungen mit direktem Dampf betriebenen eintretenden Dampfes ist, also nahe gleich

der Kesselspannung, wozu aber nöthig ist, daß alle Rücklaufrohre zu diesem Hauptautomaten ein gewisses Gefälle haben.

An jeder Heizvorrichtung, ob sie nun mit Maschinen- oder Kesseldampf geheizt wird, muß sich möglichst nahe dem Ende derselben ein Rücklaufwasserventil befinden. Von diesem führt ein entsprechend weites Rohr zu dem Rückdampfsammler; es ist gut, wenn das Rohr vor dem Eintritt in einen Heber geführt wird, um durch die in den beiden Schenkeln des Rohres stehen bleibende Wassermenge einen gewissen Abschluß zu haben und zu verhindern, daß Dampf aus dem Rückdampfsammler durch diese Leitung der Heizvorrichtung zuströmt. Gleichen Zweck erreicht man auch durch ein Rückschlagventil (Retourventil).

Der Rückdampfsammler

Ist ein zumeist zylindrisches Gefäß, liegend oder stehend angeordnet. In demselben haben die Rückdampfrohre sämtlicher Dampfmaschinen der Fabrik einzumünden, sowie auch die Rückwasserleitungen sämtlicher Heizvorrichtungen, die mit Rückdampf gespeist werden, in oben beschriebener Weise.

Im Rückdampfsammler wird ein Druck unterhalten, der etwa $\frac{1}{2}$ Atm. Ueberdruck beträgt, in gewissen Fällen auch höher oder tiefer sein kann. Das sich ansammelnde Wasser wird entweder direkt aus dem Dampfsammler mit Hilfe einer Pumpe in die Kessel gepumpt oder aber früher in einen offenen Rückwasserammler (Retour d'eau) abgelassen, welcher auch zugleich jene Brüdenwässer durch die Brüdenpumpe zugeführt erhält, welche zur Kesselspeisung verwendet werden sollen. Ein selbstthätiges Ventil im Rückdampfsammler regelt den Wasserabfluß in der Weise, daß nur Wasser und nie Dampf übertreten kann. Am Rückdampfsammler oder an irgend einer Stelle des Hauptrückdampfrohres befindet sich ein Sicherheitsventil, welches bei einem größern Drucke als dem für die Rückleitung bestimmten, Dampf abbläst und den sich im Dampfsammler anhäufenden Gasen und der Luft, welche der Dampf aus den Kesseln mitbringt, Abzug gestattet und zugleich als Meldung dafür gilt, daß überschüssiger Rückdampf vorhanden ist, der anderweitig verwendet werden soll. In ganz derselben Weise wie der Rückdampfsammler ist auch der Hauptautomat eingerichtet, nur richtet sich die Spannung in demselben nach der bestehenden Kesselspannung und ist stets nahe derselben zu halten. Der Abzug der gesammelten Wässer geschieht meist auch hier durch ein selbstthätiges Ventil; das Wasser wird, um allenfalls noch seine Wärme abzugeben, in den Rückdampfsammler geführt und verläßt gemeinschaftlich mit

dem Rückwasser des Rückdampfes den Dampffammler, um in den Rückwasserfammler zu gelangen.

In ganz derselben Weise ist die Anordnung bei direktem und Rückdampf bei richtiger Konstruktion auch für Brüdenämpfe zu treffen. Man hat zu dem Zwecke Brüdenwasserfänger gebaut, die im Prinzip ganz dieselbe Einrichtung haben wie Rückdampffammler und Hauptautomat, und von welchen schon früher die Rede gewesen ist (siehe Hülfsteile der Dampfkessel). Die Figur 61 stellt einen Rückwasserfänger und die Figur 62 einen dazu gehörigen Automaten dar (siehe Beilage 4).

Die einzelnen Theile sind durch folgende Buchstaben bezeichnet:

A Schwimmerautomat, E Wassereintritt, F Wasseraustritt, V entlastetes Ventil, S Schwimmerkugel, m Stutzen zur Verbindung mit den Kondenswasserabzügen der Dampfheizungen, K Druckausgleichsventil, R Wasserfammelgefäß, M Manometer, Z Wasserstandzeiger.

Der Brüdenwasserfänger

ist ein Gefäß von beliebiger Form, das stehend und liegend angeordnet werden kann; an seinem oberen Theile befindet sich das Einlassventil für Brüdenwasser und ein Luftventil zum Abzug der Gase und nicht kondensirten Dämpfe, am unteren Theile das Ablassventil, im Anschluß daran ein Rohr zur Brüdenpumpe. Die Brüdenpumpe nimmt das Brüdenwasser auf und drückt es entweder in den Rückwasserfänger oder

in einen Behälter zu beliebiger Verwendung. Nebenstehende Figur stellt einen Brüdenwasserfänger dar; es bezeichnen A Wasserstandglas, B Lichtloch, C Brüdenwassereintritt, D Stutzen zur Verbindung mit einem Raume von niedrigerer Spannung, E Brüdenwasseraustritt, F Ablasshahn, S Schwimmerkugel, V entlastetes Ventil.

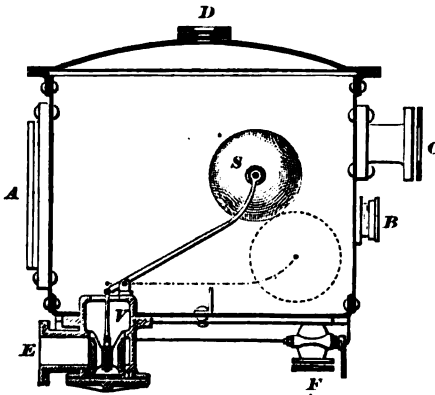


Fig. 63.

Das Einlassventil für Brüdenwasser ist mittelst einer Rohrleitung in direkter Verbindung mit dem Heizsystem des zweiten oder dritten oder vierten Körpers, je nachdem man einen Zwei-, Drei- oder Vierkörper vor sich hat.

www.libtool.com.cn

LIBTOOL
A BETA RELEASE

www.libtool.com.cn

Erwähnt sei noch, daß man die Gase und die Luft, deren Ableitung durch das auf dem Brüdenfänger stehende Ventil erfolgt, stets in den Heizraum des folgenden Körpers leitet, um noch allenfalls mitgerissene Dämpfe zur Ausnützung zu bringen. Vom Brüdenfänger des letzten Körpers geht die Ableitung zum Kondensator.

Brüdenpumpe.

Die Berechnung derselben erfolgt als gewöhnliche Wasserpumpe und es erscheint nur angezeigt, ihr, da sie heißes Wasser aus einem mehr oder weniger luftleeren Raum zu saugen hat, ein mindestens 3 bis 6 faches Volumen zu geben als für die berechnete Brüdenwassermenge genügt. Die Menge des Kondensationswassers ist stets gleich der Menge des entwickelten Dampfes des vorhergehenden Körpers, kann also leicht bestimmt werden. Es ist anzurufen, für jeden eigenen Heizraum nicht nur einen eigenen Brüdenwasserfänger, sondern auch eine besondere Brüdenpumpe anzuordnen, da Verbindungen in dieser Richtung nur zu Störungen im Betriebe Veranlassung geben.

Das Dampfventil.

Wir unterscheiden hier das Dampfzuführungsventil für Kesselampf und dasjenige für Rückampf am ersten Körper. Diese Ventile sollen so groß sein, daß sie dem durchströmenden Dampfe gestatten, mit einer Geschwindigkeit unter 30 m durchzufließen. Die Menge des nötigen Heizdampfes findet man nach der früher bestimmten Formel $Dg = \frac{Q}{r_2}$, worin Dg das Dampfgewicht in Kilogrammen, welches im Heizraum kondensiert wird, bedeutet.

Es bedeutet ferner:

Q die Menge der für x qm und in der Minute übertragenen
 W. E. = $FC (t_2 - t_1)$, und
 r_2 die latente Wärme, welche bei der Kondensation im Heizraume abgegeben wird = $607 - 0.708 t_2$.

Hat man mit Hilfe dieser Formel die Dampfmenge Dg in der Minute gefunden, so ergibt sich die Durchgangsfläche des Dampfventiles in qm aus der Formel:

$$f = \frac{Dg}{30 \times 60 \times 0.8874} \text{ *)}$$

*) 30 = Schnelligkeit des Dampfes in Metern.

60 = Reduktionszahl für Sekunden.

0.8874 = Gewicht eines cbm Dampf von $\frac{1}{2}$ Atm. Ueberdruck.

Es ist von Wichtigkeit, die Durchgänge dementsprechend groß zu machen und es müssen somit auch die Verbindungsrohre von Körper zu Körper verhältnißmäßig größer werden. Da die Gewichtsmenge des in jedem Körper erzeugten Kochbrüdens bekannt ist, so braucht man nur Folgendes als Richtschnur dienen zu lassen, um auch die richtige Abmessung dieser Verbindungsrohre zu erzielen.

Durch Versuche wurde festgestellt, daß die Verbindungsrohre von einer Weite welche den Dämpfen eine Schnelligkeit von 60 Meter in der Sekunde gestattet, noch keinen schädlichen Einfluß ausüben, indem der Rückdruck auf die im vorhergehenden Körper kochende Flüssigkeit nicht nennenswerth erhöht wird.

Es ist anzupfehlen, die Schnelligkeit der Kochbrüden bei Berechnung der Verbindungsrohrdurchmesser nicht höher als 20—30 m in der Sekunde anzunehmen, und nur bei Verdampfapparaten mit sehr großer Heizfläche bei den letzten Körpern 40—50 m in Rechnung zu stellen. Dieses letztere nur deshalb, damit die Durchmesser der Rohre nicht gar zu groß ausfallen. Es ist natürlich, daß man bei Anordnung der Rohrverbindungen für die Kochbrüdenübergänge so viel als möglich Kniee vermeiden muß, da diese die Reibung der Kochbrüden bedeutend vermehren und somit den Rückdruck auf die Kochflüssigkeit erhöhen oder die Luftleere der vorhergehenden Körper vermindern. Es sei

Dg das Gewicht des Dampfes (Kochbrüden), welches ein Verdampfkörper für 1 Minute und 1 qm entwickelt,

q der Querschnitt des Rohres, welcher zum nächsten Verdampfapparate die Kochbrüden zu leiten hat, in qm,

S die Schnelligkeit des Kochbrüdens in der Sekunde, in m,

F die Heizfläche des Verdampfapparates, welcher die Kochbrüden entwickelt, in qm,

Kg das Gewicht eines cbm Dampf bei demjenigen Drucke, welcher der Luftleere des Verdampfapparates entspricht, so ist:

$$q = \frac{F Dg}{60 S Kg}$$

Bekannt ist F, S und Kg; berechnet wird Dg aus den nach der früheren Berechnung bekannten Größen. Setzt man die Werthe in obige Formel ein, so erhält man den Querschnitt des betreffenden Verbindungsrohres, aus welchem auf bekannte Weise der Durchmesser gefunden wird.

Diese Berechnungsart würde dem theoretischen Physiker natürlich nicht genügen, reicht aber vollkommen für unsere Zwecke und die praktische Ausführung hin.

Die Hauptsache ist: S stets so klein als möglich anzunehmen. Wie weit man gehen darf, zeigt das Resultat der Rechnung selbst.

Die Kondensation.

Ein sehr wichtiger Bestandtheil einer Verdampfstation ist die Kondensation, indem dieselbe auf die Luftleere im letzten Körper entscheidenden Einfluß übt, und so den guten oder schlechten Gang des ganzen Apparates bedingt.

Aus diesem Grunde ist dieser Gegenstand etwas ausführlicher zu behandeln.

Die Kondensation der sich aus dem letzten Körper entwickelnden Brüden kann man auf doppelte Weise bewirken:

- a) durch direkte Einspritzung von kaltem Wasser in die Brüden,
- b) durch Kühlung der Wandungen von außen (Oberflächenkondensation).

Die Kondensation mittelst direkter Einspritzung ist auf zweierlei Arten zu erzielen:

1. Direkte Einspritzung des kalten Wassers in die Brüden, Wegschaffung der kondensirten Brüden und des Kondensationswassers mittelst einer barometrischen Röhre oder Wasserpumpe und Absaugung der Luft und Gase, welche nicht kondensirbar sind, mittelst einer trocken erhaltenen Luftpumpe.
2. Die Brüden treten in einen Kondensator ein, werden hier mittelst kalter Wassereinspritzung kondensirt und von einer sogenannten nassen Luftpumpe sammt dem Kondensationswasser abgefogen.

Bei beiden Arten tritt das Wasser mittelst Brausen oder Sieben vertheilt in den Kondensationsraum, um hier so innig als möglich mit den Brüden gemengt zu werden und deren Kondensation zu bewirken.

Ob man in einer Zuckersabrik die erstere oder letztere Art der Kondensation anwenden soll, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab.

Liegt die Fabrik nicht zu hoch über der Wasserbezugsquelle, ist das Wasser weich und rein, das Brennmaterial theuer, so ist es angezeigt, die Kondensation mit nasser Luftpumpe anzulegen. Man erspart nicht nur die besondere Wasserpumpe, sondern auch den ganzen Apparat für die sogenannte trockene Kondensation. Die Leitungen zur Kondensation werden kürzer und so auch von der Kondensation zur Luftpumpe.

Ist das Wasser jedoch nicht frei von mineralischen Substanzen und setzt dasselbe Wasserstein ab, so wird man die Kondensation mit barometrischem Rohre und trockener Luftpumpe vorziehen.

Was die Betriebskosten beider Kondensationen in Rücksicht auf Brennmaterialverbrauch anbelangt, so ist das zur Kondensation nöthige Wasser bei der Kondensation mit trockener Luftpumpe um etwa 10 m höher zu heben als bei der nassen Luftpumpe; dagegen ist bei der Kondensation mit nasser Luftpumpe die Arbeit der Luftpumpe eine größere.

Wie wir später sehen werden, hat man zur Kondensation der Brüendämpfe deren 20 — 40faches Gewicht an Kondensationswasser notwendig, woraus sich der Mehraufwand von Brennmaterial berechnet wie folgt: Bei einer Zuckerfabrik die 10000 k Rüben in der Stunde verarbeitet, kommen rund 18000 k Wasser in der Stunde im Dreikörper zur Verdampfung. Es entfällt somit auf den dritten Körper 6000 k Wasser für eine Stunde, welches ebenfalls 6000 k zu kondensirendem Brüben entspricht. Nehmen wir als Durchschnitt den dreißigfachen Wasserverbrauch an, so wären in der Stunde $6000 \times 30 = 180.000$ k Wasser 10 m hoch zu heben, wozu 6.6 Pferdekraft theoretisch nöthig sind, welche sich durch Korrektion, den Verlustkoeffizienten berücksichtigend, auf 8 Pferdekraft erhöhen.

Bei unseren jetzigen Dampfmaschinen, wie sie in den Zuckerfabriken üblich sind, verbraucht man für eine Pferdekraft und Stunde zum mindesten 40 k Dampf.

Dieses entspricht somit 320 k Dampf in der Stunde oder bei 7facher Verdampfung 45.7 k guter Kohle. Auf die verarbeiteten Rüben berechnet würde das in unserem Falle einen Mehraufwand von etwa $\frac{1}{2}\%$ Kohle vom Rübengewichte gegen die nasse Kondensation erfordern.

Legen wir jedoch wieder in die Waagschale die Entlastung der trockenen Luftpumpe und die Trennung der Wasserpumpe von derselben und die anderen Vortheile, welche eine trockene Luftpumpe bietet, so werden wir finden, daß bei halbwegs niedrigem Preis der Kohle und mittlerer Güte derselben der Vortheil auf Seite der Kondensation mit trockener Luftpumpe liegt, während hoher Kohlenpreis empfindliche Betriebsausgaben herbeiführen kann.

Für den Fall, daß man eine neue Fabrik einrichtet, und das Prinzip schnellgehender Dampfmaschinen mit hoher Spannung annimmt, kann man den Dampfverbrauch einer Dampfmaschine bis auf 15 k für eine Stunde und Pferdekraft herabsetzen, wodurch der Kohlenaufwand geringer wird, und zwar in diesem Falle im Verhältnisse wie 40 : 15, wonach dann nur ein Mehraufwand an Kohle von

$$\frac{15 \times 0.457}{40} = 0.17\%$$

vom Rübengewichte nöthig wäre.

Wir haben den Kondensationswasseraufwand mit dem 20—40fachen Gewichte des zu kondensirenden Brüdens veranschlagt und zwar auf Grund der Formel:

$$q_1 = q \frac{550 + t - t_2}{t_2 - t_1}$$

Hierbei bedeutet:

- q das Gewicht des zu kondensirenden Brüdens von der Temperatur t,
- q_1 das Gewicht des nöthigen Einspritzwassers von der Temperatur t_1 ,
- t_2 die Temperatur, bei welcher die Kondensation erfolgen soll.

Zu Anfange der Kampagne in den warmen Herbstmonaten wird das Einspritzwasser selten unter 20° C. zeigen, es ist demnach in unserem Falle $t_1 = 20$.

Die Temperatur t_2 , bei welcher die Kondensation stattfinden soll, wird wohl mit 35° C. angenommen werden müssen; denn je höher dieser Temperaturgrad steigt, desto schwieriger ist die Kondensation und desto geringer die Luftleere im letzten Körper.

Die vom letzten Körper abgehenden Brüden sollen eine Temperatur von 60° C. besitzen, wie wir schon in früheren Beispielen als Mittelwerth angenommen haben.

In obiger Gleichung die Werthe eingesetzt, erhalten wir:

$$q_1 = q \left(\frac{550 + 60 - 35}{35 - 20} \right) = 38 q$$

d. h. unter diesen Umständen ist das nöthige Kondensationswasser das 38fache des Brüdengewichtes.

Dagegen wird sich im Winter, wenn $t_1 = 0$ wird, der Wasserverbrauch viel niedriger stellen, denn:

$$q_1 = q \left(\frac{550 + 60 - 35}{35} \right) = 16.4 q$$

d. i. das 16.4fache Gewicht des Brüdendampfes wird in diesem Falle nöthig sein. Bei der Berechnung von Verdampfstationen muß man immer den ungünstigsten Fall in Rechnung ziehen, und wenn man auch nicht den Fall von 38 q annehmen will, so wird es doch stets gut sein, nie unter 30 q zu gehen:

Aus obiger Formel ersehen wir Folgendes:

Je niedriger die Temperatur des zur Kondensation verwendeten Wassers, desto weniger braucht man von demselben. Je niedriger die Temperatur angenommen wird, bei der man kondensiren will, desto mehr Wasser braucht man.

Diese Zahlen sind jedoch nur theoretisch zutreffend, in der Praxis erhöht sich der Kondensationswasserverbrauch, je nachdem die Kondensationsvorrichtung mehr oder weniger vollkommen eingerichtet ist.

Kondensatoren, die das Injektionswasser nicht fein genug vertheilen, die den Brüendämpfen nicht genug Raum bieten, um in großer Oberfläche mit dem Kondensationswasser in Berührung zu kommen, verbrauchen bedeutend mehr Kondensationswasser, um vollständige Kondensation zu bewirken. In der Regel jedoch ist bei derartigen Kondensatoren die Folge eine unvollkommene Kondensation und eine niedrige Luftleere im letzten Körper des Verdampfapparates.

Wir wollen nun an dieser Stelle die Fehler der bis jetzt üblichen Kondensatoren prüfen. Der größte Fehler, der den meisten Kondensatoren anhaftet, ist der, daß sie mittelst einer Brause gespeist werden oder daß die Brüden unter Sieben sich fortbewegen und einem künstlichen Regen ausgesetzt werden, der durch diese Siebe erzeugt werden soll. Die Brause wirkt so lange, als ihre Löcher nicht durch mechanische Verunreinigungen verstopft oder durch Wasserstein verlegt werden. Bei den Sieben ist derselbe der Fall.

Man ist gezwungen, während der Kampagne öfters, sogar mehrmals im Tage, die Kondensatoren zu öffnen, um die mechanischen Verunreinigungen zu entfernen, welche die Siebe oder die Brausen verstopfen. Dies führt zu unangenehmen Aufhalten und zur baldigen Zerstörung der Kondensationsvorrichtung.

Abgesehen hiervon, ist auch der Weg zu kurz, den die Brüden im Wasserregen zurücklegen, und die Oberfläche zu klein, welche den Brüden zur Wasserberührung geboten wird. Manche Fabriken helfen sich bei schlechter Kondensation dadurch, daß sie in die Brüdenleitung eine Oberwasserkondensation einschalten, welche nachhelfen soll und oft auch bedeutend nachhilft, da der Weg, den Brüden und Wasser zusammen in der Brüdenleitung zurücklegen, bedeutend länger ist, als in den Kondensatoren gewöhnlicher Konstruktion.

Alle diejenigen Kondensatoren, die für Zuckerfabriken konstruirt werden, haben den außerordentlichen und gemeinschaftlichen Fehler, zu klein zu sein und dem Brüden Dampf zu wenig Kondensationsfläche zu bieten. — Die Kondensation der Dämpfe soll doch im Kondensator stattfinden. Es muß also soviel Raum in demselben vorhanden sein, daß die Brüden und das Kondensationswasser hier verweilen können, um Zeit zur Kondensation zu gewinnen. Bei Kondensationsdampfmaschinen schreibt man vor, daß der

三
二
一
目
录
一
二
三
四
五
六
七
八
九
十
十一
十二
十三
十四
十五
十六
十七
十八
十九
二十
二十一
二十二
二十三
二十四
二十五
二十六
二十七
二十八
二十九
三十
三十一
三十二
三十三
三十四
三十五
三十六
三十七
三十八
三十九
四十
四十一
四十二
四十三
四十四
四十五
四十六
四十七
四十八
四十九
五十
五十一
五十二
五十三
五十四
五十五
五十六
五十七
五十八
五十九
六十
六十一
六十二
六十三
六十四
六十五
六十六
六十七
六十八
六十九
七十
七十一
七十二
七十三
七十四
七十五
七十六
七十七
七十八
七十九
八十
八十一
八十二
八十三
八十四
八十五
八十六
八十七
八十八
八十九
九十
九十一
九十二
九十三
九十四
九十五
九十六
九十七
九十八
九十九
一百

www.libtool.com.cn



Kondensa
Verdamp
man oft
innen.
doppelt
er Naux
folge
ab best
aufleere
Dreiförp
sch zu
rückficht
Verdam
zwischen
Apparat
ich be
weide
der S
Abant
welch
gemei
Gefä
Brit
selbe
und
stücke
stücke
sehr
Ring
stehe
von
mögl
Bei

denfator das 1,5fache Volumen der Luftpumpe haben soll, und bei Dampfstationen, wo die Kondensation bedeutend schwieriger ist, findet oft Kondensatoren, die so klein sind, daß sie nahezu gar nichts nützen. Es ist zu empfehlen, stets mindestens das 1,5fache, besser das doppelte Volumen der Luftpumpe für dieselben anzunehmen. Denn je größer Raum im Kondensator, je vollkommener der Wasservertheilungsapparat, umso eher kann derselbe eingerichtet werden, desto besser ist die Kondensation, desto leichter vollzieht die nachfolgende Luftpumpe ihre Aufgabe. Hohe Temperatur des letzten Körpers, große Temperatur-Unterschiede am ganzen Körper und höchste Leistung desselben ist das Resultat. Hierbei ist zu bemerken, daß bei Aufstellung eines Kondensators immer darauf Rücksicht genommen werden soll, daß derselbe so nahe als möglich beim Dampfkörper steht. Je näher derselbe ist und je weniger Rohrleitungen zwischen beiden sich befinden, desto höher ist die Luftleere im Verdampfer.

In Figur 67 (siehe Beilage 5) ist ein Kondensator dargestellt, der bereits durch mehrere Jahre sehr gut bewährt hat, und bei welchem die oben erwähnten Uebelstände nicht vorkommen. Derselbe kann auch bei Kondensation mit trockener Luftpumpe, in diesem Falle mit einiger Veränderung verwendet werden.

Der Kondensator besteht aus einem äußern zylindrischen Gefäße, in welchem ein zweites zylindrisches Gefäß eingesetzt ist. Beide haben eine eiserne Grundplatte.

Sowohl der Deckel des äußeren, wie auch der Deckel des inneren Gefäßes ist abnehmbar.

An dem äußeren Gefäße ist der Stutzen für die zu kondensirenden Dämpfe, und der Stutzen für das Kondensationswasser angebracht.

Im Innern des Gefäßes sind Ringe eingesetzt, welche mit an dem inneren angeordneten Füßen aufeinander stehen.

Zwischen diesen Ringen sind an einer Stange, die auf Füßen steht, die Teller angebracht, welche durch kurze Rohre auseinander gehalten werden. Die Teller sowohl, als die Rohre sind abnehmbar, und so läßt sich der ganze innere Apparat leicht herausnehmen, nachdem man die Deckel abgeschraubt hat. Die Teller sowohl, als auch die Rohre dürfen nicht aus gelochten Blechen bestehen, damit das ganze Wasser als Wasserfall von Ring zu Teller und Teller zu Ring fällt, mit den Brüden gemeinschaftlich den größtmöglichen Weg macht und zur Kondensation derselben eine sehr große Fläche darbietet.

An dem ganzen Kondensator ist keine Brause und kein Sieb. Es kann keinerlei Verstopfung stattfinden und man braucht denselben die ganze Kampagne nicht zu öffnen, selbst wenn das Wasser Wasserstein absetzt. Er arbeitet stets gleich vortrefflich.

Die Brüden treten bei A ein, das Kondensationswasser kommt durch den Stutzen C und steigt in der Doppelwand des Kondensators von unten nach oben. Dasselbe trifft bei der oberen Oeffnung des inneren Zylinders mit den Brüden zusammen, wird mit denselben innig gemischt und stürzt dann, wie früher beschrieben, in außerordentlich feiner Vertheilung, die Brüden vollständig kondensirend, dem Ausgange B zu, welcher zur Luftpumpe führt.

Ist dieser Kondensator mit einer nassen Luftpumpe versehen, und saugt sich derselbe das Kondensationswasser direkt an, so ist darauf zu sehen, daß der Punkt A sich nicht höher über dem niedrigsten Wasserstande der Bezugsquelle befinde, als 5 Meter.

Die Oberflächen-Kondensatoren findet man in Zuckersabriken nur selten. Sie werden jedoch zum Zwecke der Wärmeausnützung vielfach angewendet und können alsdann auch, in die Leitung zur Luftpumpe eingeschaltet, als wirkliche Kondensatoren betrachtet werden. Es ist schon früher davon die Rede gewesen und es kann daher auf Seite 73 und ff. verwiesen werden.

Greiner empfiehlt seinen Gegenstrom-Kondensator, welcher in Figur 68 (Seite 99) im Durchschnitt dargestellt ist. B ist der Brüdeneingang; die Vertheilung des Brüdens um einen eingehängten Zylinder, und der Eintritt desselben in diesen Zylinder, von unten aus dem Wasser entgegen, der Wasserzugang W und der Wasserweg ist neuartig.

Draußen und Wasserglocken versehen sich leicht durch kleine mit dem Wasser eingeführte Bestandtheile (Raub, Stroh etc.) und geben das Wasser in zu schneller Bewegung ab.

Für das Wasser ist daher der freie Fall, der Regen, gewählt. Der im Zwischenraume der beiden Zylinder vorgekühlte Brüden durchstreicht zuerst das aus dem Innenzylinder nach dem Fallrohre F abfließende Wasser, an welches er einen Theil seiner Wärme, so weit das noch möglich ist, abgiebt. Von hier aus steigt er dem frei aus dem Boden einer offenen Schüssel abfallenden Wasser entgegen und wird kondensirt. Der weitere Weg für die verbleibenden Gase führt zum Luftpumpenstutzen L abermals durch das fallende Wasser um die Schüssel herum und durchzieht hier die Stelle der tiefsten Temperatur.

Die Schüssel, in welche das Wasser von unten eintritt, enthält in ihrem Boden (je nach Größe des Kondensators) 3 bis 6 Kreise von Röhren,

deren Höhe nach außenhin wächst. Durch diese Röhren fällt das Wasser nach unten frei ab. Wird viel Wasser eingelassen, so werden mit steigender Fläche sämtliche Röhren von oben gefüllt; tritt wenig Wasser ein, so können nur die tiefer gestellten Röhren aus dem niedrigeren Wasserspiegel Füllung erhalten. Bei jedem Wasserzufluß werden, auch wenn die Horizontale bei Aufstellung des Kondensators nicht getroffen ist, Kreise von Wasserstrahlen fallen, welche, geschlossene Zylinder bildend, die Bedingung der innigen Mischung von Brüden und Wasser erfüllen.

Zugleich ist das in die Schüssel ein tretende Wasser gezwungen, von unten aus an den Röhren in die Höhe zu strömen und so die Öffnungen derselben von fremden Gegenständen frei zu halten.

Mit Entfernung des Deckels (wobei keine Rohrverbindung gelöst zu werden braucht) liegt die Schüssel mit ihren Röhren offen vor Augen. Auch die Schüssel selbst ist leicht abzuheben, um das ganze Innere des Kondensators freilegen zu können.

Eine Beleuchtung der grundsätzlichen Unterschiede zwischen gewöhnlicher Parallelstrom-Kondensation mit warmer Luftpumpe und der Gegenstrom-Kondensation entnehmen wir einem Vortrag von F. J. Weiß,^{*)} wobei wir nicht vermeiden können, zum Theil schon Bekanntes des Zusammenhanges wegen zu wiederholen:

„Eine jede Kondensation besteht immer aus zwei zusammenarbeitenden Theilen:

- a) dem eigentlichen Kondensator, dessen Aufgabe es ist, durch eingeführtes Kühlwasser die ankommenden Dämpfe möglichst vollständig niederzuschlagen, zu tropfbarer Flüssigkeit zu verdichten;
- b) einer Luftpumpe, welche die Luftverdünnung im Kondensator herstellt und unterhält, indem sie die dort vorhandene Luft absaugt.

^{*)} gehalten in der Hauptversammlung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute zu Köln am 30. Juni 1889, abgedruckt in der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ 1889, Nr. 8.

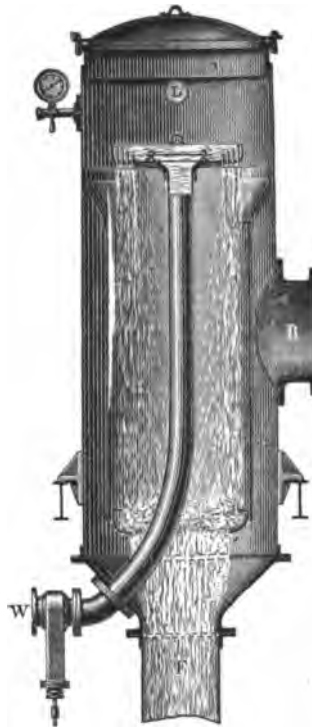


Fig. 68.

Diese Luft hat zweierlei Herkunft: einestheils ist es die im Kühlwasser eingesaugt gewesene Luft, die sich bei dem verminderten Druck im Kondensator frei macht; andertheils bringt auch immer Luft durch undichte Stellen von außen ein.

Wenn die Luftpumpe zugleich mit der Luft auch das warme Wasser aus dem Kondensator zu schaffen hat, so nennt man sie eine nasse Luftpumpe: das ist beispielsweise der Fall bei den meisten jetzt bestehenden Dampfmaschinenkondensatoren.

Wenn aber die Warmwasserabfuhr aus dem Kondensator getrennt von der Luftabfuhr stattfindet (entweder durch eine besondere Warmwasserpumpe, oder aber einfacher und selbstthätig durch ein mindestens 10 m hohes Wasserbarometerrohr oder Abfallrohr), die Luftpumpe also nur die Luft aus dem Kondensator zu schaffen hat, so nennt man sie eine trockene Luftpumpe.

Der in einem jeden Kondensator herrschende Gesamtdruck p_0 setzt sich zusammen aus zwei Theilen:

1. dem Druck d des im Kondensator anwesenden Dampfes,
 2. dem Druck l der im Kondensator anwesenden Luft, und zwar so, daß
- $$p_0 = d + l \dots \dots (1).$$

Diesen Gesamtdruck p_0 mit möglichst kleinen Mitteln (kleiner Kühlmengen, kleiner Luftpumpe, geringer Betriebskraft) so niedrig als möglich zu halten, ist die Aufgabe einer guten Kondensationsanlage.

Der eine Theil dieses Gesamtdruckes p_0 , nämlich der Dampfdruck d , hängt — zweckentsprechend gute Vertheilung des Kühlwassers vorausgesetzt — nur von der Temperatur t des ablaufenden Warmwassers ab, und diese wiederum nur von der Menge (und Temperatur) des zur Verfügung stehenden oder in Verwendung genommenen Kühlwassers. Dieser Theil des Gesamtdruckes hat also unter gegebenen Verhältnissen ein für allemal eine bestimmte Größe, von der nichts abzuziehen ist.

Den andern Theil jenes Gesamtdruckes p_0 , den Druck l der anwesenden Luft, können wir aber durch Anwendung richtiger Mittel beliebig weit herabmindern; er hängt wesentlich ab von der Art und Weise, wie diese Luft aus dem Kondensator geschafft wird, d. h. wie und wo die Luftpumpe am Kondensator angreift, und hier kommen wir auf den Kernpunkt der Sache. Während bei richtiger Anlage die Luftpumpe ein Gasgemenge aus dem Kondensator saugt, das nur aus Luft bestehen soll, ist sie bei der gewöhnlichen Kondensation so angelegt, daß jenes Gasgemenge zum weitaus größten Theil aus Dampf und nur zum geringsten Theil aus Luft besteht. Dampfabzugen aus dem Kondensator hat aber durchaus keinen Zweck; da-

durch wird das Vakuum nicht erhöht, weil Dampf im Kondensator in einer für die Luftpumpe unerschöpflichen Menge vorhanden ist bezw. aus dem vorhandenen Wasser sich sofort wieder erzeugt. Der Dampf soll eben im Kondensator möglichst vollkommen kondensiert werden, und zwar vor Eintritt in die Luftpumpe.

Dies kann nun auf eine höchst einfache Weise dadurch bewirkt werden, daß man den Dampf unten, das kalte Wasser aber oben in den Kondensator treten, und daß man die Luftpumpe ebenfalls oben am Kondensator die Luft absaugen läßt. Der zu kondensierende Dampf strömt somit dem niedergehenden Kühlwasser entgegen und die Luftpumpe saugt ihre Luft an der Stelle aus dem Kondensator, wo er am kältesten ist, weil eben dort auch das frische Kühlwasser eintritt, und wo in Folge der Kälte kein bezw. nur wenig kondensierter Dampf vorhanden ist.

Im Gegensatz zu dieser Gegenstromkondensation darf man die gewöhnliche Kondensation mit nasser Luft- bezw. Warmwasserpumpe, wo Wasser und Luft zusammen abgeführt werden, als Parallelstromkondensation bezeichnen.

An einem Beispiel soll nun die grundverschiedene Wirkungsweise der beiden Kondensationsarten dargethan werden:

Man habe Kühlwasser von $t_0 = 15^\circ$ und gebe soviel davon zu, daß die Temperatur des ablaufenden warmen Wassers $t' = 40^\circ$ werde; dabei zeige das Vakuummeter einen Gesamtdruck von $p_0 = 0,10$ Atm.

Hat man es nun mit gewöhnlicher Kondensation zu thun (also Parallelstrom und nasse Luftpumpe), so herrscht hinter dem Kolben der Luftpumpe während ihres Saugens natürlich auch der Kondensatordruck $p_0 = 0,10$ Atm. (abgesehen von kleinen Unterschieden, herrührend von Widerständen der Ventile u. s. w.). Da aber außer der Luft auch noch Wasser in der Luftpumpe ist, und zwar warmes Wasser von $t' = 40^\circ$, so beträgt der Druck des Dampfes aus diesem warmen Wasser nach Regnault's Dampftabellen allein schon $d_{40} = 0,072$ Atm.

Für den Luftdruck in der Pumpe bleibt sonach nur ein Druck übrig von $p_{\text{par.}} = p_0 - d_v = 0,100 - 0,072 = 0,028$ Atm.

Wir saugen also die Luft in sehr verdünntem Zustande ab; damit wir genügend Luft absaugen, nämlich in der Zeiteinheit gerade so viel, als in derselben in den Kondensator eintritt, muß die Luftpumpe verhältnißmäßig sehr groß sein, oder mit anderen Worten: Weil an dem Orte, wo man mit nasser Luftpumpe die Luft aus dem Kondensator absaugen muß, warmes Wasser vorhanden ist, so muß man dort nutzlos eine Masse Dampf mit absaugen, in welchem die zu entfernende Luft, auf welche es einzig und allein abgesehen sein sollte, aufgelöst oder vermischt ist.

Haben wir nun aber einen Gegenstrom-Kondensator mit trockener Luftpumpe, so wird oben, wo das Kühlwasser eintritt, und wo die Luftpumpe ihr Gasgemenge absaugt, der kühlfte Ort im Kondensator sein; es wird sich also dort oben der Dampf — bis auf einen ganz geringen Rückstand — kräftig niederschlagen; dadurch nimmt aber dort der Druck ab; es entsteht daher — um diesen Druck wieder herzustellen — eine lebhaftere Strömung des — unteren — Gasgemenges dorthin, aus dem sich immer wieder der Dampf kondensiert, so daß schließlich die Luft dort oben so dicht ist, daß sie nahezu allein schon den Gesamtdruck p_0 ausübt.

In einem Gegenstromkondensator konzentriert sich also die schädliche Luft nach oben, wo sie in konzentriertem Zustande von der (trockenen) Luftpumpe weggeholt wird, während der Dampf nach unten gedrängt wird; wir haben in dem Gegenstromkondensator:

unten, beim Dampfeintritt, wo es heiß ist: dichten Dampf plus dünne (event. gar keine) Luft = Gesamtdruck p_0 ; und

oben, beim Eintritt des Kühlwassers, wo es kalt ist, und von wo die Luftpumpe die schädliche Luft absaugt: dünnen Dampf plus dichte Luft = demselben Gesamtdruck p_0 ,

wie das schematisch in dem Diagramm neben Figur 69 (Seite 103) verfinbildlicht ist.

Es können nun offenbar die Verhältnisse immer derart gewählt, d. h. der oben abzusaugenden Luft genügend Oberfläche zur Abkühlung am kalt eintretenden Kühlwasser gegeben werden, daß die Temperatur t'' oben im Kondensator gleich oder nur wenige Grade höher ist als die Temperatur t_0 des eintretenden Kühlwassers. Angenommen, diese Temperatur t'' sei in unserm Falle $t'' = 20^\circ$; dem entspricht ein Dampfdruck $d_t = 0,023$ Atm. Da wir sonst nichts geändert haben, so wird der Gesamtdruck p_0 im Kondensator derselbe geblieben sein wie vorhin, d. h. wieder $p_0 = 0,10$ Atm. Also bleibt jetzt für die Luft im oberen Theile des Kondensators, von wo aus die Luftpumpe ihr Gasgemisch absaugt, ein Druck l übrig, der sich wieder aus Gleichung (1) ergibt:

$$l = p_0 - d_t = 0,10 - 0,023 = 0,077 \text{ Atm.}$$

Die Luft ist also im oberen kühleren Theile des Gegenstromkondensators in einem $\frac{0,077}{0,028} = 2,75$ mal dichteren Zustande vorhanden als bei Parallelstrom; die trockene Luftpumpe bei Gegenstrom saugt also ihre Luft in diesem 2,75 mal dichteren Zustande aus dem Kondensator ab; ihr Hubvolumen kann also 2,75 mal kleiner sein als derjenige Theil des Hubvolumens der nassen Luftpumpe, der auf Förderung der Luft verwendet wird.

Wenn aber das Hubvolumen für die Zeiteinheit unserer trockenen Luftpumpe bei Gegenstrom $2^{3/4}$ mal kleiner ist, so ist auch ihre Arbeit $2^{3/4}$ mal kleiner, weil natürlich die Arbeit der Luftpumpe direkt gleichmäßig ist dem in der Zeiteinheit zusammenzubrückenden Luft- bezw. Gasmenge (Luft + Wasserdampf).

Das ist der eine prinzipielle Vortheil von Gegenstromkondensation gegenüber Parallelstromkondensation:

Ganz bedeutend kleinere Luftpumpe und dementsprechend ganz bedeutend verminderte Betriebsarbeit für dieselbe.

Nun kommen wir zum andern Vortheil des Gegenstroms über Parallelstrom: es betrifft das die Kühlwassersparniß, die durch ersteren bewirkt wird.

Im Fall einer nassen Luftpumpe (also Parallelstrom) saugt die Pumpe die Luft und das warme Wasser am selben Orte ab. Die Luft

bezw. das Gasgemenge, bestehend aus Luft + Wasserdampf, hat natürlich den Gesamtdruck p_0 , der im Kondensator herrscht. Dieser Gesamtdruck p_0 besteht aus der Summe: Luftdruck l + Dampfdruck d . Der Luftdruck l ist dabei immer vorhanden, weil eben dort die Luftpumpe die Luft absaugt. Also muß der Druck d des Dampfes des warmen Wassers nothwendigerweise um eben diesen Luftdruck l kleiner sein als der Gesamtdruck p_0 (oder das Vakuum) im Kondensator. Von diesem Dampfdruck d hängt aber unmittelbar die Temperatur t' ab, auf welche sich das ablaufende Wasser erwärmen kann; und da dieser Dampfdruck d kleiner ist als der Gesamtdruck p_0 , so folgt nothwendig, daß auch die Temperatur des ablaufenden Wassers kleiner ist, als dem Vakuum im Kondensator entsprechen würde.

Nehmen wir beispielsweise an, wir hätten im Kondensator einen Gesamtdruck (oder ein Vakuum) von $p_0 = 1,10$ Atm., so würde diesem Druck eine Dampftemperatur, also auch eine Temperatur des ablaufenden warmen Wassers von 46° C. entsprechen. So warm kann aber hierbei das ablaufende Wasser nicht werden; denn seine Dämpfe würden

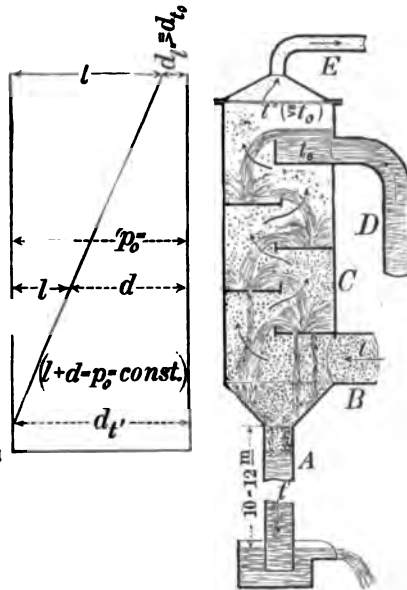


Fig. 69.

allein schon den Gesamtdruck $p_0 = 0,10$ Atm. ausüben, für die Luft ~~bleibe nichts mehr übrig~~. Es darf und kann sich nicht bis auf jene Temperatur erwärmen, sondern nur darunter, damit der Druck seiner Dämpfe kleiner bleibe, also nur einen Theil des Gesamtdruckes ausmache, den Druck der Luft dem andern Theil überlassend.

Ganz anders bei Gegenstrom: Hier wird aus dem unteren Theile des Kondensators, wo das warme Wasser ihn verläßt, die Luft nach oben verdrängt. Und wenn die Luftpumpe eine bestimmte zu berechnende Größe hat, die zu überschreiten nichts nützt, so wird die Luft vollständig aus dem unteren Theile des Kondensators nach oben verdrängt. Es ist also $l = 0$ geworden, und der Gesamtdruck p_0 besteht lediglich aus Dampfdruck. Alsdann aber kann sich das ablaufende warme Wasser bis vollständig auf die dem Vakuum entsprechende Temperatur erwärmen (was bei Parallelstrom eben grundsätzlich nicht möglich ist), und es erwärmt sich dann auch vollständig bis zu jener höchst möglichen Temperatur, wenn nur für eine gute Kühlwasserzerteilung gesorgt ist; denn jedes Wassertheilchen kommt am Ende seines Weges im Kondensator, bevor es denselben verläßt, noch mit den eben anlangenden heißesten Dämpfen in innige Berührung, und der Wärmeaustausch von Wasserdampf und Wasser, wenn sich beide unmittelbar berühren, ist ungemein energisch.

Wenn sich aber das Kühlwasser bis völlig auf die dem Vakuum im Kondensator entsprechende Temperatur erwärmt, so ist klar, daß dann die Kälte des Kühlwassers vollständig ausgenützt wird, und daß man also unter diesen Umständen die geringstmögliche Menge davon braucht. Die Arbeit, die zur Förderung dieses Wassers erforderlich ist, und zwar sowohl in den Kondensator hinein, als aus demselben hinaus, wird dann dabei ebenfalls die kleinstmögliche.

Ein richtig angelegter Gegenstromkondensator erfüllt folgende zwei Bedingungen:

1. Sein oberer Theil, und insbesondere das Verbindungsrohr zur Luftpumpe hin, soll sich vollständig kalt anfühlen; alsdann ist man sicher, daß die Luftpumpe möglichst nur Luft absaugt, weil eben in einem kalten Gemenge von Luft und Wasserdampf naturgemäß der letztere nur in einem sehr verdünnten Maße enthalten sein kann. Die nöthige Größe der Luftpumpe — und damit auch deren Arbeit — wird also eine möglichst kleine.
2. Das ablaufende Warmwasser erwärmt sich vollständig bis auf die dem Vakuum entsprechende Temperatur, d. h. man braucht nur so viel Wasser zu geben, daß es sich wirklich bis auf diese

Temperatur erwärmt, womit auch der Kühlwasserverbrauch und der Kraftverbrauch für Förderung des Wassers ebenfalls sein Minimum erreicht.

Es sei hier beispielsweise eine Beobachtung an einem gewöhnlichen Dampfmaschinenkondensator (also mit Parallelstrom und nasser Luftpumpe) mitgetheilt, welche sehr einfach ist, von Jedermann sofort leicht wiederholt werden kann, und welche doch einen rechten Einblick in das technische Wesen der Kondensation verschafft.

Wenn man nämlich nur die Temperatur des Kühlwassers (t_0) und die des ablaufenden warmen Wassers (t') an einem Kondensator mißt, so erhält man sofort durch Einsetzen dieser beiden Werthe in die bekannte Formel

$$n = \frac{625 - t'}{t' - t_0}$$

das thatsächlich zur Verwendung gelangte Kühlwasserverhältniß n , d. h. das Verhältniß des thatsächlich in den Kondensator eingeführten Kühlwassers zu dem gleichzeitig eingetretenen Dampfe (beides in Kilogramm für die Zeiteinheit gemessen), und ohne daß man nöthig hätte, Dampfmenge und Kühlwassermenge jede für sich zu messen, was immer mit Umständen verbunden ist.

Liest man dann auch noch den Vakuummeterstand ab, so hat man den Druck p , der zur Zeit der Beobachtung im Kondensator herrscht. Mit diesem Druck findet man nach den Regnault'schen Dampfstabellen die diesem Drucke entsprechende Temperatur gesättigten Wasserdampfes; und diese Temperatur (t') ist nach den vorhergehenden Entwicklungen diejenige, auf die sich das Wasser im Kondensator erwärmen könnte und würde, wenn man Gegenstromkondensation verwendet hätte. Setzt man dann auch diese Temperatur in die Formel für das Kühlwasserverhältniß n ein, so findet man nun, wie viel oder vielmehr wie wenig Kühlwasser bei Gegenstrom gebraucht worden wäre anstatt bei Parallelstrom, und zwar unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleicher Temperatur des Kühlwassers und bei gleicher Höhe des Vakuums.

So zeigte sich beispielsweise an einem gewöhnlichen Kondensator:

Kühlwassertemperatur $t_0 = 18^\circ \text{ C. konstant}$
 und dann Temperatur des ablaufenden Warm-
 wassers $t' = 29^\circ, 36^\circ \text{ und } 57^\circ.$

Die erste Temperatur von $t' = 29^\circ$ war vorhanden bei der Stellung des Einspritzhahnes (also derjenigen Zugabe von Kühlwassermenge), die der Wärter der betr. Maschine als die nach seiner Meinung vortheilhafteste von

sich aus ausgewählt hatte, die er immer einhielt und wobei er ein Vakuum von 64 cm erhielt. Bei Zufuhr von mehr und von weniger Wasser wurde das Vakuum geringer.

Die zweite Temperatur $t' = 36^\circ$ ergab sich, als man zur Probe den Einspritzhahn etwas mehr zudrehte und wartete, bis wieder Beharrungszustand eingetreten war; und die dritte Temperatur $t' = 75^\circ$ wurde erhalten durch noch weiteres Abschließen des Kaltwasserhahnes.

Setzt man nun diese Werthe der Temperaturen t_0 und t' in die Formel für n ein, so erhält man:

$$n = 66 \quad 33 \quad 14,5.$$

Im ersten Fall, den der Maschinist für den günstigsten hielt und auch noch hält, nämlich wo mit „höchstem Vakuum“ gearbeitet wurde, gebrauchte also der Kondensator eine enorme Kühlwassermenge, nämlich das 66fache Gewicht von dem in derselben Zeit kondensirten Dampf.

Es waren dann auch gleichzeitig die Vakuummeterstände abgelesen worden und ergaben für die 3 Fälle:

$$\begin{array}{ccc} 64 & 62,5 & 51,5 \text{ cm.} \\ \text{also } p_0 = & 0,15 & 0,18 \quad 0,32 \text{ Atm.} \end{array}$$

Diesen Druckhöhen entsprechen aber nach Regnault's Dampftabellen Temperaturen von

$$t'_{\text{gegenstr.}} = 55^\circ \quad 58^\circ \quad 71^\circ,$$

auf welche das Kühlwasser bei Gegenstrom sich hätte erwärmen können und sollen.

Setzt man nun diese Werthe von t' (und den gleichbleibenden Werth von $t_0 = 18^\circ$) in die Formel für n ein, so erhält man:

$$n_{\text{geg.}} = 15 \quad 14 \quad 10,5.$$

Anstatt, daß man also bei Parallelstrom das 66-, 33- und $14\frac{1}{2}$ fache vom Dampfgewicht thatsächlich gebraucht hat, hätte man bei Gegenstrom nur das 15-, 14- und $10\frac{1}{2}$ fache gebraucht, man hätte also im ersten Fall nicht einmal $\frac{1}{4}$, im zweiten Falle nicht ganz $\frac{1}{2}$ und im dritten Fall etwa $\frac{2}{3}$ soviel Wasser in Verwendung nehmen müssen, wie bei nasser Luftpumpe und Parallelstrom.

Man könnte nun sagen — und hört das thatsächlich auch oft sagen —, daß dort, wo Wasser in reichlicher Menge vorhanden ist, es auch nichts mache, wenn man mehr davon brauche, da es ja nichts koste! Diese Meinung ist aber nicht richtig. Der Nutzen der Kondensation für die Dampfmaschine (oder des Verdampfapparats), an der sie wirkt, besteht in der Arbeitssteigerung der letzteren durch vermehrten Druckunterschied auf Vorder- und Hinterseite der Dampfkolben, jedoch minus der Arbeit, die der Betrieb der Kondensation

selber wieder erfordert; oder in der durch die Anbringung der Kondensation erzielten Dampf=~~also Kohlenersparniß~~ minus dem Dampf — also auch den Kohlen —, die man für den Betrieb der Kondensation selber wieder ausgeben muß. Man hat also natürlich darauf zu sehen, daß der Betrieb der Kondensation selber möglichst wenig Arbeit erfordere. Nun ist — auch ohne Anstellung von rechnerischen Entwicklungen, die hier zu weit führen würden, — leicht einzusehen, daß der Kraftverbrauch einer jeden Mischkondensation (man darf hier auch an ganz andere Formen derselben denken, z. B. an Körtings Strahlkondensator) direkt gleichmäßig dem Kühlwasserverbrauch ist.

Die Arbeit zum Betriebe einer jeden Mischkondensation setzt sich nämlich immer aus zwei Theilen zusammen: erstens der Arbeit zur Wasserförderung in den Kondensator hinein, und aus demselben heraus, wobei die eine oder die andere Arbeit auch = 0 sein kann; zweitens der Arbeit zur Luftförderung aus dem Kondensator hinaus.

Die Arbeit zur Förderung des Wassers in den Kondensator hinein ist dann = 0, wenn der Kondensator sein Wasser selber ausjaugt, die Arbeit zur Förderung des Wassers aus demselben hinaus mit nasser Luftpumpe ist — wenn nicht gleichzeitig auch noch ein Heben der Wassermasse stattfindet — die gleiche, die es erfordert hätte, das Wasser auf eine Höhe zu heben, die gerade der Saugkraft des Kondensators entspricht. Herrscht also in einem Kondensator ein Druck von z. B. 0,10 Atm. Druck, könnte er also sein Wasser auf 9 m Höhe saugen, so erfordert das Hinausschaffen dieses Wassers aus dem Kondensator mittelst Pumpe ins Freie die gleiche Arbeit, als ob das Wasser im Freien um 9 m gehoben werden müßte.

Die Gesamtarbeit zur Bewegung des Wassers ist jedenfalls gleichmäßig der Wassermenge.

Aber die Arbeit zur Förderung der Luft — nämlich die Kompressionsarbeit, um die Luft vom niedrigen Kondensatordruck auf den Druck der vollen Atmosphäre zu bringen, und sie in diese hinauszuschieben, — ist auch gleichmäßig der verwendeten Kühlwassermenge; denn mit doppelt soviel Kühlwasser bringt man auch doppelt soviel absorbirte Luft in den Kondensator, welche wieder hinausgeschafft sein muß.

Da aber die Gegenstromkondensation mit der jeweiligen kleinstmöglichen Kühlwassermenge auskommt, so ist schon aus diesem Grunde ihr Kraftbedarf zum eigenen Betrieb der kleinstmögliche.

Zu dieser Verminderung des Kraftverbrauches der Gegenstromkondensation gegenüber Parallelstrom, welche von vermindertem Kühlwasser-

verbrauch herrührt, kommt dann noch eine weitere Verminderung dieses **Kraftverbrauches** hinzu, welche davon herrührt, daß das Subvolumen der Luftpumpe auch noch kleiner sein kann, weil sie die Luft in konzentriertem Zustand absaugt, anstatt vermischt mit einer vollständig unnützen Menge Dampf, auf dessen Kompression in der Luftpumpe natürlich auch Arbeit — aber vollständig nutzlos — verwendet werden muß. Die Arbeit der Luftpumpe ist ihrem Subvolumen auch immer direkt gleichmäßig, gleichgiltig, ob das letztere nützlicher Weise nur mit Luft, oder unnützer Weise auch mit Dampf erfüllt sei.

Der Gesamtaufwand an Arbeit zum Betrieb an Kondensation selbst ist bei Gegenstrom ganz bedeutend kleiner als bei Parallelstrom, überhaupt der kleinstmögliche; also ist auch der entfallende Nutzen dieser Art Kondensation für die Dampfmaschine der überhaupt mit Mischkondensation höchsterreichbare.“

Für solche Fälle, wo man die nothwendige Kühlwassermenge nicht zur Verfügung hat, wird von Zelinck der sogenannte Theisen'sche Kondensator (D. R.-P. 37534) empfohlen.*)

Dieser Kondensator verbraucht, um 1 k Dampf zu kondensiren, anstatt 20—35 k, nur 1 k Wasser. Es ist dies ein bedeutender Unterschied und doch ganz natürlich. Ja er braucht sogar nicht einmal 1 k Wasser, sondern $\frac{3}{4}$ — $\frac{8}{10}$ k, wie praktische Resultate gezeigt haben. Dieser Kondensator ist in Anwendung und zwar ohne jeden Anstand bei großen Kondensationsmaschinen, die 1000—3000 Pferdekkräfte haben und wo man die Wassermassen, die man in der Sekunde brauchen würde, nicht bewältigen kann. Dort hat man diesen Kondensator in Anwendung gebracht und es arbeitet derselbe vollkommen zweckentsprechend.

Es wurden Versuche gemacht mit diesem Kondensator in seiner veralteten Form, welche in Deutschland angestellt wurden, und in einer neueren Form in der Zuckerfabrik Smiric in Böhmen, wo er den Anforderungen als solcher genügt hat, wo aber noch Mängel hervorgetreten sind, die eben in der Art und Weise der zu kondensirenden Dämpfe lagen, weil die Zuckerfabrik nicht nur Dämpfe, sondern auch Gase zu bewältigen hat.

Es ist aber zu erwarten, daß auch diese Frage sich lösen lassen wird, nachdem man Alles entfernt hat, was schädlich einwirkte.

Die Einrichtung dieses Kondensators beruht auf der Benutzung von verdampfendem, nicht von sich erwärmendem Kühlwasser; bekanntlich nimmt 1 k Wasser, welches sich um 1° erwärmt, nur eine Kalorie auf, während

*) Böhmisches Zeitschr. für Zuckerindustrie, Bd. 14 (1889), S. 1.

solches, welches verdampft, 635 Kalorien dazu nöthig hat und aufnimmt. Der Apparat ist demnach so eingerichtet, daß die Abkühlung und Kondensation des Dampfes durch verdampfendes oder verdunstendes Wasser geschieht.

Die Dämpfe, welche aus dem 4. oder 5. Verdampfkörper sich entwickeln, gehen durch ein Rohrsystem. Das Rohrsystem liegt in einem Kasten; auf die Rohre strömt Wasser und wird erwärmt durch die vom vierten Körper strömenden Dämpfe.

Zwischen diesen Rohren bewegen sich Scheiben. Diese Scheiben tauchen in das Wasser ein und werden durch das Wasser erwärmt; zwischen den Scheiben hindurch wird Luft geblasen, die Luft verdunstet das Wasser, das verdunstete Wasser entzieht die Wärme den Scheiben und die Scheiben entziehen die Wärme dem Wasser, welches in den Kondensator zufließt und von den Rohren und dem zu kondensirenden Dampfe erwärmt wird, wodurch dieser sich kondensirt.

Da aber hierbei stets Wasser zur Verdunstung gelangt, so entzieht auch 1 k auf solche Art verdunsteten Wassers indirekt dem zu kondensirenden Dampfe etwa 635 W. E. und ist somit zur Kondensation desselben auch nur 1 k Wasser nöthig.

Der Kondensator wirkt auch dann noch, wenn die hineingeblasene Luft ganz mit Wasserdampf gesättigt ist, da deren Temperatur im Kondensator erhöht wird und dieselbe somit aufnahmefähig für mehr Wasserdampf macht. Die Luft kann bis etwa 50° C. im Apparate erwärmt werden. Die Erwärmung geschieht durch die Scheiben, welche demnach so groß konstruirt werden müssen, um die nöthigen Wärmemengen liefern zu können.

Jelinek berechnet, daß der Apparat etwa 725 Kalorien benöthigt und daß er dann noch 18% Wasser mehr kondensirt, als man Wasser zur Kondensation nothwendig hat.

Schon Pecllet hat einen nach demselben Prinzip eingerichteten Kondensator beschrieben und empfohlen und später sind mehrfach solche Apparate, namentlich zum Gebrauch in der Bierbrauerei, hergestellt und patentirt worden, die von jenem ersten nur wenig abweichen; die mit denselben gemachten Erfahrungen haben dann neuerdings zu einer etwas abgeänderten Einrichtung, eben dem Theisen'schen Kondensator, geführt, welcher unter gewissen Verhältnissen mit Vortheil zu benutzen ist, nämlich in Zuckerfabriken dann, wenn es entweder an dem nöthigen kalten Wasser zur Einspritzkondensation fehlt oder wenn noch geringwerthige Flüssigkeit mit wenig Kosten verdampft werden soll.

Die Figuren 70 und 71 stellen diesen Apparat in äußerer Ansicht (nach Entfernung des Abzuges h) und im Durchschnitt dar.

Der zu kondensirende Dampf und Brüden gelangt in horizontal gelagerte Bündel dünnwandiger Metallrohre *i*, welche, durch den unteren Theil eines Kastens *a* hindurch gesteckt, von Kühlwasser umspült werden. Der Dampf, welcher durch die die Rohrbündel auf der einen Seite zusammenfassende Dampfkammer *b* zunächst eintritt, kondensirt sich in den Rohren.

Das Kondenswasser sowie beigemengte Luft werden von der Pumpe durch die am anderen Ende die Rohre vereinigende Kammer *c* abgeführt, um als etwa 50° C. warmes, reines Wasser direkt zur Kesselspeisung oder anderen Zwecken verwandt zu werden.

Wie aus der Zeichnung ersichtlich, sind die Zu- und Abführungsstutzen an den Dampfkammern *b* und *c* derart gelegt, daß diese, an den Stirnseiten durch leicht abnehmbare Deckel *d* geschlossen, zugänglich sind und so gestatten, die ausziehbar eingefügten Rohre zur Reinigung auf das schnellste herauszunehmen und wieder einzusetzen. In dem Kühlwasser zwischen den Rohren dreht sich eine große Anzahl verzinkter Eisenblechscheiben *e*, welche auf der wagerechten Welle *F* befestigt sind und nur mit der unteren Hälfte in das Wasser tauchen, mit der oberen aber in den

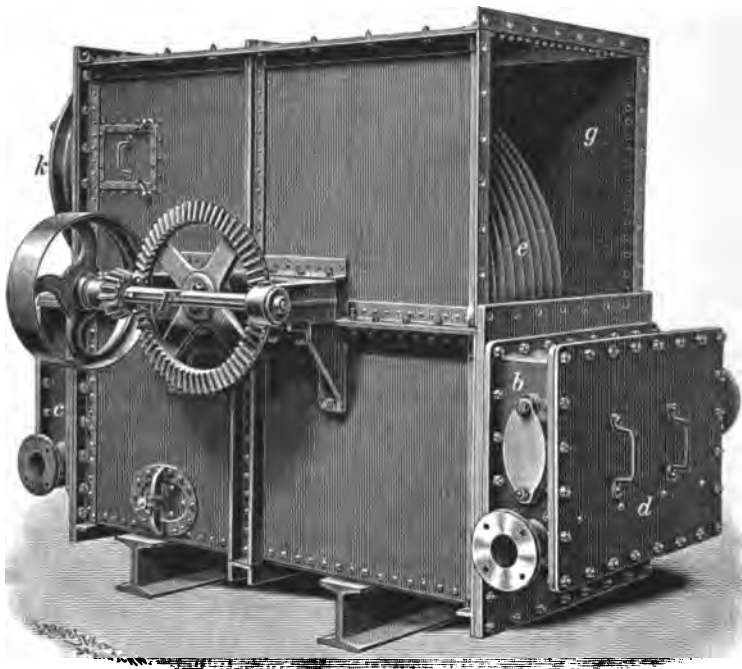


Fig. 70.

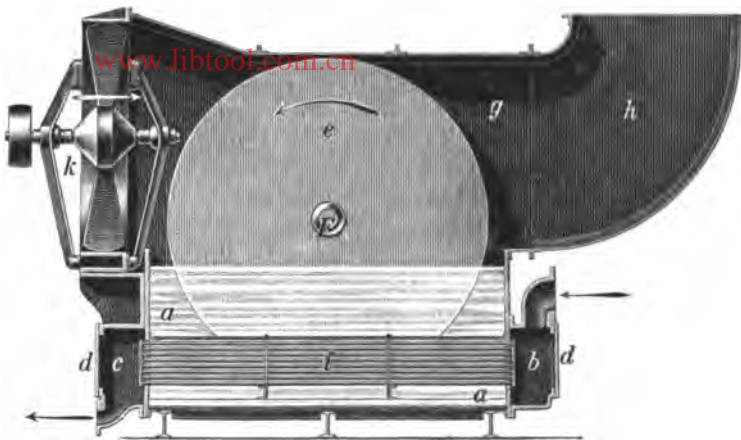


Fig. 71.

über dem Wasser befindlichen Verdunstungsraum g ragen. Daß die Scheiben neigende Wasser verdunstet hier und entzieht die dazu nöthige Wärme dem Metall der Scheiben. Wenn diese nun bei ihrer Umdrehung mit den gekühlten Stellen wieder in das Wasser tauchen, kühlen sie dasselbe, indem sie die vom kondensirten Dampfe herrührende Wärme aufnehmen. Die starke Belüftung der Scheiben geschieht durch Schraubenventilatoren k , welche, über den Dampfkammern c angebracht, die Luft in den Verdunstungsraum pressen. Diese streicht zwischen den Scheiben hindurch, nimmt den Wasserdampf auf und tritt gesättigt durch den Schlot h aus.

Die kalorischen Vorgänge im Kondensator sind von Mrazek, in dessen Vortrag in der Hauptversammlung deutscher Eisenhüttenleute vom 30. Juli 1889, wie folgt dargestellt worden.

Die an das Kühlwasser abgegebene Wärme in der Minute ist

$$D (606,5 - 0,695 t) = K (t - T) c \dots I$$

wenn D die zu kondensirende Dampfmenge in Kilogramm für die Minute,

t die dem zu erreichenden Vakuum entsprechende Temperatur,

K die Größe der Kühlfläche in qm ,

T die Temperatur des Kühlwassers,

c den Transmissionskoeffizienten für ein qm für 1° Temperaturunterschied in der Minute bedeutet.

Diese an das Kühlwasser übergehende und abzuführende Wärme wird verwendet:

1) Zur Erwärmung der in den Verdunstungsraum des Apparates eintretenden äußeren Luft, und es ist der Wärmearaufwand hierfür

$$L_0 \cdot 1,293 \cdot 0,237 \left(1 - \frac{S_0}{760}\right) (t_a - t_0) =$$

www.libtool.com.cn

$$= 0,3 \left(1 - \frac{S_0}{760}\right) (t_a - t_0) L_0 \dots \text{II}$$

wenn L_0 das Volumen derselben in cbm in der Minute,

S_0 das Spannungsmaximum in Millimeter Quecksilbersäule des darin enthaltenen Wasserdunstes ist, bei der Temperatur t_0 der äußeren Luft, welche sich auf die Temperatur t_a erwärmt auf ihrem Wege durch den Verdunstungsraum des Apparates.

1,293 ist das Gewicht eines cbm trockener Luft bei 0° Temperatur und 760 mm Barometerstand,

0,237 die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck.

2) Zur Erhöhung des der Temperatur t_0 entsprechenden Spannungsmaximums S_0 der in der eintretenden Luft enthaltenen Wasserdünste auf das der Temperatur t_a entsprechende Spannungsmaximum S_a der in der austretenden Luft enthaltenen Wasserdünste und ist der hierzu nötige Wärmeaufwand:

$$L_0 \cdot 1,293 \cdot 0,6225 \frac{S_0}{760} \frac{273}{273 + t_0} \cdot 0,305 (t_a - t_0) =$$

$$= 0,0882 \frac{S_0}{272 + t_0} (t_a - t_0) L_0 \dots \text{III}$$

dabei ist 0,6225 das spezifische Gewicht von Wasserdampf bezogen auf Luft.

3) Zur Verdunstung des die Verdunstsscheiben benetzenden Kühlwassers und ist der hierzu nötige Wärmeaufwand:

$$W (606,5 + 0,305 t_a - T) \dots \text{IV}$$

wenn W die minutlich zu verdunstende Wassermenge in Kilogramm,
 T die mittlere Temperatur des Kühlwassers bedeutet.

Die Summe der durch II, III und IV bestimmten Wärmemengen muß nun gleich sein der durch das Kühlwasser dem kondensirten Dampfe entzogenen Wärmemenge I und ist somit

$$0,3 \left(1 - \frac{S_0}{760}\right) (t_a - t_0) L_0 + 0,0882 \frac{S_0}{273 + t_0} (t_a - t_0) L_0$$

$$+ W (606,5 + 0,305 t_a - T) = D (606,5 - 0,695 t) \dots \text{V.}$$

Die Temperatur des Kühlwassers an der Austrittsstelle der Verdunstungsscheiben aus demselben beträgt erfahrungsgemäß bei normaler Leistung des Kondensators etwa 55° C., die die Verdunstungsscheiben bestreichende Luft erwärmt sich auf 40 bis 45° C. und ist bei Annahme auch vollständiger

Sättigung der äußeren Luft bei einer Temperatur derselben von selbst 25° C. und der Annahme, daß die dem Verdunstungsraum verlassende Luft wieder voll gesättigt ist

$$L_0 = 25 W \dots \text{VI.}$$

Mit Benutzung dieses Werthes folgt aus Gleichung V:

$$W = 0,782 D \dots \text{VII,}$$

wenn die einem zu erreichenden Vakuum von 65 cm Quecksilbersäule entsprechende Temperatur von etwa 54° für t eingesetzt wird.

Somit wäre $L_0 = 20 D \dots \text{VIII,}$

es ist also die nöthige Luftmenge bei oben angeführten Annahmen in Kubikmetern gleich dem zwanzigfachen zu kondensirenden Dampfgewichte, beides auf dieselbe Zeiteinheit bezogen, und die Menge des verdunsteten Kühlwassers ist kleiner als die zu verdichtende Dampfmenge.“

Mit Rücksicht auf die Höhe der Luftdruckverminderung dürfte zu empfehlen sein, diesen Kondensator nicht allein anzuwenden, sondern in demselben nur den größten Theil der Dämpfe verdichten zu lassen, das übrige aber in einem hinter demselben aufzustellenden, kleinen, nur einen geringen Bruchtheil der sonst nothwendigen Wassermenge bedürfenden Einspritzkondensator schließlich niederzuschlagen. Gerade dieser letzte Antheil wird von dem beschriebenen Kondensator am schwierigsten bewältigt werden und die meisten Kosten verursachen, während immerhin schon die Verdichtung des größten Theils der Dämpfe mit wenig Wasser, die Gewinnung der entsprechenden Menge warmen Wassers (welche bei Einspritzeinrichtungen immer verloren ist) und die Möglichkeit der Verdampfung von zu verwerthenden Flüssigkeiten, auch bei unvollständiger Ausnutzung in vielen Fällen sehr annehmbare Vortheile darbieten wird.

Auf einen eigenthümlichen Wärme- und Kühlapparat hat die Firma Klein, Schanzlin & Becker ein Patent erhalten, welcher mannichfacher Verwendung fähig sein dürfte. Die Apparate dienen dazu, um mit Abdampf von Maschinen Wasser anzuwärmen, oder Dampf durch Kühlwasser zu kondensiren. Sie bestehen aus gerippten, gußeisernen, flachen Hohlkörpern, welche mit Dampf gefüllt und von dem zu erhitzenden oder kühlenden Wasser umspült werden. Von den Hohlkästen werden eine beliebige Anzahl an abgehobelten Flächen zusammengesetzt und mittelst einer Schraubenspindel aufeinander gedichtet und zu einem größeren Apparat (Figur 72) vereinigt, welcher nach dem Gegenstrom-Prinzip ausgeführt ist. Es folgen hintereinander je eine Dampfkammer und eine Wasserkammer. Diese Kammern bilden einen fortlaufenden langen Kanal, in dem Dampf und Wasser in die mit einander verbundenen Kammern übertreten.

Denkt man sich den Dampf- und Wasserkanal ausgebreitet und nebeneinander gelegt, so tritt da kaltes Wasser ein, wo der abgekühlte Dampf den Apparat verläßt und das gewärmte Wasser tritt aus, wo der

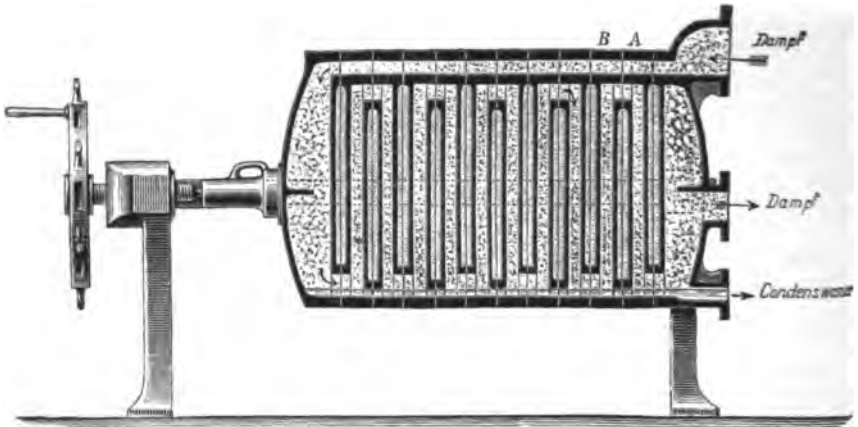


Fig. 72.

heiße Dampf einströmt. Es besteht darum überall ein sehr großer Unterschied zwischen der Wasser- und Dampftemperatur und es ist die Wärmeüberführung deswegen eine bedeutende.

Nach Versuchen wurden auf das Quadratmeter Kühlfläche 70 k Dampf kondensiert; also soviel wie bei dünnen Messingröhrchen. Die Wände der Wasserkammern überziehen sich mit der Zeit mit Schleim, welcher die Wärmeüberführung behindert; es müssen deswegen diese Wände ab und zu gereinigt werden. Dies kann in sehr einfacher Weise geschehen, indem man die Schraubenspindel zum Zusammenpressen der Platten löst und letztere wie bei einer Filterpresse auseinander schiebt. Die gerippten

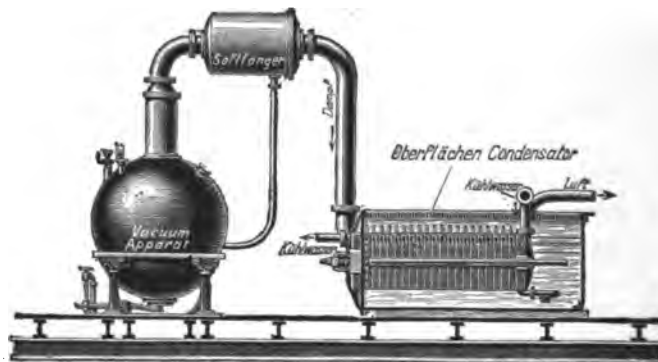


Fig. 73.

Wasserflächen werden alsdann gut zugänglich. Das Wiederzusammenpressen und Abdichten der Platten geschieht mittelst Luchstreifen, welche auf der einen Seite durch Asphaltlack auf die Platten aufgeklebt sind und es macht das Zusammensetzen der Platten keinerlei Schwierigkeiten.

Den größten Vortheil bietet der Apparat als Oberflächen-Kondensator. Ein solcher braucht, da er Gegenstrom besitzt und das Kühlwasser mit 65° abgibt, fast nur $\frac{1}{3}$ soviel Kühlwasser, als ein Einspritz-Kondensator. Dieses Kühlwasser enthält kein Fett und kann deswegen für die verschiedensten Zwecke verwendet werden. Bei Verwendung des Apparates als Kondensator wird das ganze zusammengesetzte Gehäuse in einen Wassertrog gesetzt. Die einzelnen Platten sind dann ganz von Wasser umgeben und letzteres schützt gegen Eintritt von Luft in den Dampfraum bei etwaigem Undichtwerden einer Verpackung zwischen den Rahmen. Solche Kondensatoren lassen sich beispielsweise bei Vakuum-Apparaten anwenden (Fig. 73) und thun besonders gute Dienste, wenn das zur Verfügung stehende Wasser zum Einspritzen nicht geeignet ist.

Die Luftpumpe.

Die Luftpumpe ist eben so wichtig wie der Heizapparat, ja wenn derselbe in der besten Ordnung ist, kann eine unrichtig angeordnete Luftpumpe die Leistung einer Verdampfstation bedeutend herabsetzen.

Die Luftpumpen werden in verschiedenen Anordnungen ausgeführt, die bekanntesten Arten sind folgende:

1. Liegende, doppelwirkende Kolben-Luftpumpenmaschinen mit Riemenscheiben, Guß-, Holz- oder Federkolben als nasse und trockene Luftpumpen konstruirt, meist in Oesterreich gebräuchlich.

2. Liegende Luftpumpenmaschinen mit doppelwirkendem Plunger als nasse Luftpumpen, meist in England gebräuchlich.

3. Stehende, doppelwirkende trockene Kolben-Luftpumpen, meist in Deutschland gebräuchlich.

4. Einfach wirkende, stehende nasse Luftpumpen mit Gitterkolben, nun meist verlassen.

Es handelt sich hauptsächlich darum, die richtige Größe einer Luftpumpe für eine betreffende Verdampfstation festzustellen.

Die nasse Luftpumpe hat die Aufgabe, zuerst das sämmtliche zur Kondensation nothwendige Wasser hinwegzuschaffen, und kommt hierzu noch die Fortschaffung des Wassers, welches durch Kondensation der Drüden des letzten Körpers des Dreikörpers entstanden ist. Ferner hat dieselbe zu entfernen:

Die Luft, welche in dem Kondensationswasser enthalten war.

Die Luft und die Gase, welche sich beim Kochen des Saftes im ersten, zweiten und dritten Körper des Dreikörpers aus dem Rübensafte entbinden, und durch das Heizsystem des zweiten und dritten Körpers und deren Brühenwasserfänger in die Kondensation gelangen.

Die Luft, welche wegen der Porosität des Materials, aus welchem die Apparate, Kondensatoren und Rohrverbindungen hergestellt sind, in die Verdampfapparate eindringt.

Von diesen Faktoren sind uns bekannt:

Die Menge des Kondensationswassers. Es ist rund das 20- bis 40fache Gewicht des im dritten Körper verdampften Wasserquantums.

Die Luft, welche im Einspritzwasser enthalten ist, und welche nach Bunjen in folgenden Verhältnissen im Wasser aufgelöst ist:

Wasser löst bei C° und 760 mm Barometerstand Volumina Luft:

0° . . .	0,02471
5° . . .	0,02179
10° . . .	0,01953
15° . . .	0,01795
20° . . .	0,01704

Die Luftmenge, welche sich aus den kochenden Säften entbindet, ist uns unbekannt, ebenso die Menge der Gase, welche beim Kochen gebildet werden. Ebenso ist uns jene Luftmenge unbekannt, welche durch die Poren der Verdampfapparate in dieselben gelangt. Eine jede direkte Berechnung ist demnach ausgeschlossen, da dieselbe nur von problematischem Werthe wäre.

Bei Kondensationsdampfmaschinen benöthigt man zur Kondensation des Auspuffdampfes etwa das 28fache seines Gewichtes und konstruirt die Luftpumpen so groß, daß für jedes Kilo Dampf, welches in einer Minute zu kondensiren ist, der Luftpumpenkolben 0,12 — 0,15 cbm Raum zu durchlaufen hat. Hierbei erzielt man ein besseres Vakuum, als wir in unseren Verdampfapparaten aufzuweisen haben.

Die einer Kondensationsdampfmaschine entströmenden Auspuffdämpfe enthalten Luft, welche mit dem Speisewasser in die Dampfkessel gelangt. Das Einspritzwasser enthält dieselben Luftmengen wie das Einspritzwasser bei Verdampfapparaten und doch findet eine bedeutend bessere Kondensation statt. Die Dämpfe einer Kondensationsmaschine enthalten jedoch keine derartigen Gase, wie die Dämpfe des kochenden Saftes und man kann es somit nur diesem bis jetzt noch nicht qualitativ und quantitativ bestimmten Gasgemenge zuschreiben, daß trotz kalten Kondensationswassers, trotz der besten Kondensatoren nicht ein so hohes Vakuum in den Verdampfapparaten erzeugt werden kann als bei Kondensationsmaschinen, wenn man obige Dimension der Luftpumpe beibehält.

Somit kann nur die Erfahrung maßgebend sein, es wird nach der Praxis für nöthig gehalten, obige Zahl von 0,12—0,15 cbm unbedingt auf 0,3 oder zum Mindesten auf 0,25 cbm zu erhöhen, um ein Vakuum zu erzielen, welches beständig 600 mm beträgt.

Nur unter äußerst günstigen Verhältnissen kann man unter dieses Maß herunter gehen, was jedoch nicht zu rathen ist.

Dieses gilt nicht nur für nasse, sondern auch für trockene Luftpumpen, da der Unterschied des Raumbedarfes zwischen beiden nur etwa $\frac{1}{15}$ weniger zu Gunsten der trockenen Luftpumpe betragen würde, d. i. die Menge des Einspritzwassers, welches eine trockene Luftpumpe nicht wegzuschaffen hat. Dagegen hat die trockene Luftpumpe schädliche Räume, die nicht mit Wasser ausgefüllt werden, und hauptsächlich längere Rohrleitungen, die zur Zuleitung der Luft und Gase dienen, welches Beides reichlich obigem $\frac{1}{15}$ gleichkommt.

V. Das Vakuum.

Allgemeines.

Wir haben an früherer Stelle gesehen, daß das Vakuum im heutigen Sinne derjenige Apparat der Zuckerfabrik ist, in welchem das Abdampfen der Säfte bis zum Erreichbaren getrieben und also vollendet wird. Während dieser Arbeit scheidet sich bei zunehmender Dichte der Säfte der Zucker aus, soweit er nicht durch Gegenwart gewisser fremder Bestandtheile vom Ausscheiden verhindert wird.

Seiner Bestimmung und Thätigkeit nach ist das Vakuum also ein Verdampf-Apparat; jedoch konnte es wegen abweichender physikalischer und mechanischer Eigenthümlichkeiten seines Produktes und der Behandlung derselben nicht in die Reihe der Verdampfer aufgenommen werden.

Es ist nöthig, daß wir die Unterschiede zwischen den Thätigkeiten in den bis dahin behandelten Verdampfkörpern und denen im eigentlichen Vakuum kennen lernen, um die Bedingungen der Konstruktion des Letzteren zu verstehen.

- 1) Je weniger Wasser eine Zuckerlösung enthält, desto höher liegt ihr Siedepunkt. Ursache dieser Erscheinung ist die größere Schwere und vor Allem die größere Kohäsion der konzentrirteren Lösungen. Wir werden diese beiden Eigenschaften noch näher zu behandeln haben.
- 2) Namentlich die Beschaffenheit der fertigen Füllmasse ist es, welche dem Vakuum ganz andere Bedingungen bezüglich seiner Form und inneren Einrichtung stellt, als die Säfte in leichtflüssiger Gestalt den Verdampf-Apparaten.

Den Anforderungen gerecht zu werden, welche im Vakuum eine an Menge, Schwere und Zähigkeit während eines Sudes zunehmende Masse stellt, und zwar nicht nur bezüglich einer gleichmäßigen Durchheizung, sondern auch einer leichten Entleerung — das sind die Konstruktionschwierigkeiten, welche dem Vakuum anhaften, und die zu überwinden als Kern der heutigen Arbeiten auf diesem Felde angesehen werden muß.

17. Einflüsse auf das Verkochen im Vakuum.

a) Einfluß der Schwere der Saftsäule im Vakuum.

Der Einfluß der Schwere der siedenden Masse allein ist unschwer zu bestimmen. Nehmen wir an, daß ein Sud unter einer Leere von 0,79 Atm. = 60 cm Quecksilber, d. i. unter einem absoluten Drucke von 0,21 Atm. stehe, so ist dieser Druck der gleiche auf der ganzen Oberfläche der siedenden Flüssigkeit. Für eine tiefergelegene Horizontalebene kommt derjenige Druck hinzu, welcher durch die Schwere der oberhalb dieser Ebene stehenden Saftsäule ausgeübt wird. Dieser Druck ist also abhängig von der Höhe und der spez. Schwere des jeweiligen Saftes. Um mit dem vorhingenannten Luft- (bzw. Dampf-) Drucke summiert zu werden, muß er in dem Werthe „Atmosphäre“ ausgedrückt werden.

Hat der Saft z. B. bei einer 2 m hohen Säule das spez. Gewicht von 1,13, so ist der Druck, der 1 m Wasser so viel als 1 Zehntel Atmosphäre bedeutet: $0,1 \cdot 2 \cdot 1,13 = 0,226$. Nach dieser Anschauung ist die unten folgende Tabelle (S. 119) zusammengestellt. Sie giebt für Zuckerslösungen von 40 bis 100% Zuckergehalt, und für Tiefen von 0, 1, 2 und 3 m den jebeßmaligen Atmosphärendruck an, summiert diesen mit dem beständigen Oberflächendruck, und zieht daraus die Siedetemperaturen in Grad C., welche hier nur in ganzen Zahlen angegeben sind, während die Zwischenglieder hinzugebacht werden müssen.

Wenn wir die so gefundenen Siedetemperaturen der Säfte — es sind reine Zuckerslösungen angenommen, und die Angaben stimmen also mit der Wirklichkeit nicht ganz genau überein — bei den verschiedenen Höhen untereinander vergleichen, so begreifen wir leicht, wie wichtig es ist, in den Verdampfkörpern thunlichst niedrige Saftschichten anzuwenden. Denn es handelt sich in der Verdampfung um die ergiebigste Ausnutzung eines gegebenen beschränkten Wärmegefälles, innerhalb dessen eine möglichst oftmalige Theilung der verfügbaren Temperaturskala mit praktischem Erfolge durchgeführt werden soll.

	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Essige von % Zucker													
Spezifisches Gew. derselben	1,180	1,201	1,223	1,256	1,290	1,320	1,351	1,383	1,416	1,450	1,485	1,521	1,558
Druck an der Oberfläche bei 0,21 Atm.	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Druck der Sauffäule von 1 m	0,118	0,120	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	0,142	0,145	0,149	0,152	0,156
" " " 2 m	0,236	0,240	0,246	0,252	0,258	0,264	0,270	0,276	0,284	0,290	0,298	0,304	0,312
" " " 3 m	0,354	0,360	0,369	0,378	0,387	0,396	0,405	0,414	0,426	0,435	0,447	0,456	0,468
Summe der Druckgrößen													
an der Oberfläche, 0 m	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
bei einer Sauffäule von 1 m	0,328	0,330	0,333	0,336	0,339	0,342	0,345	0,348	0,352	0,355	0,359	0,362	0,366
" " " 2 m	0,446	0,450	0,456	0,462	0,468	0,474	0,480	0,486	0,494	0,500	0,508	0,514	0,522
" " " 3 m	0,564	0,570	0,579	0,588	0,597	0,606	0,615	0,624	0,636	0,645	0,657	0,666	0,678
Siedetemperatur C.													
an der Oberfläche, 0 m	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
bei einer Sauffäule von 1 m	72	—	—	—	—	—	73	—	—	—	—	—	74
" " " 2 m	79	—	—	—	80	—	—	—	81	—	82	—	83
" " " 3 m	85	—	—	—	86	—	87	—	88	—	89	—	90

Dabei ist denn wohl zu beachten, daß der Verlust, welcher durch Ueberwindung von äußeren Widerständen hervorgerufen wird, unter denen die hohe Saftsäule eine hervorragende Rolle spielt, auf das niedrigste Maas beschränkt bleibt.

Dieser Grund, eine niedrige Saftsäule inne zu halten, fällt beim Vakuum fort, so lange bei demselben als einem Einzel-Apparate Rücksicht auf Temperaturlage nicht zu nehmen ist, da ihm Dampf von solcher Temperatur zur Verfügung steht, welche weit mehr als ausreichend ist, auch bei höheren Saftsäulen, als hier angeführt sind, das Sieden zu erzielen. Erst wenn die Beheizung des Vakuums mit Saftdampf erfolgen soll, wenn also gewissermaßen das Vakuum in die Reihe der Verdampfer eintritt (wie wir später besprechen werden), erst dann wird eine gleiche Abhängigkeit hervorgerufen, die nicht übersehen werden darf.

Wir erfahren für jetzt aus der vorstehenden Tabelle, daß am Schlusse eines Subes, wenn es sich nur um den Einfluß der Schwere der Saftsäule handelt, auf eine Eigentemperatur der Füllmasse von 62 bis 90° C., je nach der Höhe der Saftsäule bis 3 m, zu rechnen ist.

b) Einfluß der Kohäsion der Säfte beim Kochen.

Wir haben nun einen anderen Widerstand gegen ein verlustloses Abdampfen in Betracht zu ziehen.

Wir besitzen eine Tabelle von Florens, welche uns folgende Angaben macht:

Eine Lösung von	69,1%	Zucker	siedet	unter	Atmosph.	bei	105°	C.
"	"	"	79,5	"	"	"	"	110°
"	"	"	85,3	"	"	"	"	115°
"	"	"	88,5	"	"	"	"	120°
"	"	"	91,2	"	"	"	"	125°
"	"	"	92,3	"	"	"	"	130°

Diese Zahlen sind offenbar aus Experimenten entnommen, bei denen das Kochen unter anderen Umständen als im Vakuum, abgesehen vom Atmosphärendruck, stattgefunden hat. Wir können — wie wir bald sehen werden — ihre Richtigkeit zugeben, ohne zu behaupten, daß sie für die Fragen, die uns hier vorliegen, maßgebend sein sollen und nach ihrer Bedeutung fragen.

Sie zeigen, daß mit zunehmender Dichte der Säfte ein auffallend stark steigender Widerstand gegen das Sieden erwächst. So würden z. B. Säfte von 92,3% Zuckergehalt bei 130° kochen, d. i. bei einer Temperatur, welche dem unter 1,6 Atm. Ueberdruck siedenden Wasser entspricht. Dieser

Widerstand ist die Kohäsion, das Widerstreben der Saftmoleküle, sich zu trennen oder sich trennen zu lassen. Es gehört also ein gewisser Wärmeaufwand dazu, das Kochen im rein mechanischen Sinne hervorzurufen, und Dampfbläschen entstehen zu lassen, deren Erscheinen das Zusammenhalten der Moleküle überwinden.

Dabei ist zu bemerken, daß dieser Widerstand unabhängig ist von der Druckhöhe; er ist derselbe in jeder Höhenlage, und ist eine innere dem Materiale gehörige Eigenschaft; der Widerstand steigert sich — in diesem Falle — nur mit der Zunahme der Säfte an Zucker. Dieses zu beachten ist für einen später zu ziehenden Schluß von Wichtigkeit, und wir kommen darauf noch zurück.

Sehen wir uns unterdessen um, was sonst über diese Frage bekannt ist.

Wenn Wasser in einer Schale erhitzt wird, so scheiden sich bald Luftbläschen aus, welche sich an der Wandung und auf dem Boden der Schale ansetzen. Sind diese groß genug geworden, so überwindet das Uebergewicht des Wassers das Bestreben der Bläschen, an der Wandung haften zu bleiben (die Adhäsion), und sie steigen auf. Sie leiten das Kochen ein, und an derselben Stelle, wo Luftbläschen aufstiegen, folgen auch unmittelbar hinter diesen die Dampfbläschen.

Die Luftbläschen bilden Hohlräume, an deren Wandungen es dem Wasser überhaupt erst ermöglicht wird, unterhalb der Oberfläche Dampf zu bilden und abzugeben. Ist diese Erscheinung erst ins Leben getreten, so dauert sie fort: das Wasser siedet bei 100° C., abgesehen von dem sehr geringen Unterschiede, den die kleine Drucksäule in der Schale verursacht.

Wird in einiger Zeit, nachdem man vermuthen kann, daß alle Luft aus dem Wasser entwichen ist, der Sud unterbrochen, so ist es nicht möglich, das Sieden bei 100° wieder beginnen zu lassen, vielmehr wird eine Temperaturerhöhung nöthig, die man bei sorgfältiger Handhabung schon auf mehr als 5° steigern konnte.

Es entsteht also die Abwesenheit von Luft, oder anderen Gasen, eine Siebe-Erschwerung, die ihre Begründung in der Schwierigkeit findet, die Moleküle der Flüssigkeit zu trennen um Dämpfe entstehen und entweichen zu lassen. Der Widerstand der Kohäsion, muß durch Aufwand höherer Temperatur überwunden werden.

Wenn wir jetzt die Zahlen der Florens'schen Tabelle (f. S. 120) wieder ansehen, so drängt sich uns die Frage auf: unter welchen Umständen sind dieselben gewonnen?

Sucht man die Zahlenreihe dieser Tabelle weiter, als es Flourens verfolgt hat, zu konstruieren, so gelangt man mit steigender Konzentration der Zuckertlösung auf sehr starke Temperaturhöhen für die vermeintliche Lage der Siedepunkte. Man müßte daraus schließen, nicht nur, daß die genannten Temperaturen nach beschriebener Unterbrechung eines Sudes, also nach Austreibung der Luft und bei Wiederbeginn des Siedens ohne Luft, gefunden sind, sondern auch, daß unter diesen Umständen ein Sieden wenn auch nicht gerade unmöglich, so doch jedenfalls ungemein schwer zu erzwingen sei.

Es ist nicht nöthig, und auch wegen Mangel an greifbaren Angaben nicht ersprießlich, dieser Frage weiter nachzugehen: wir können den Zahlen von Flourens die Wahrheit zugestehen, wie vorher bemerkt, und können uns der Praxis zuwenden, indem wir versuchen, für diese aus dem Vorhergehenden unsere Schlüsse zu ziehen.

Das Kochen im Vakuum geschieht, wenn und so lange Saft eingezogen wird, auch unter Zuthat von Luft, denn der Saft wird stets lufthaltig sein. Und wenn ohne weiteren Saftzug der Sud „fertig gekocht“ wird, so war doch das Kochen durch Luft eingeleitet und lange erhalten worden.

Bestreiten wir also einerseits den Zahlen von Flourens für die Praxis die Bedeutung, die sie in ihren Angaben beanspruchen, so ist doch andererseits nur zuzugestehen, daß die Kohäsion eine Größe bleibt, welche eine Berücksichtigung allen Ernstes fordert. Je mehr sich ein Sud seiner Vollendung naht, desto anspruchsvoller tritt die Kohäsion auf. Das heftige und fortwährende Stoßen in der Masse ist ein Zeichen luftarmen Kochens und sich steigender Widerstände in der Dampsentwicklung, unter Forderung höherer Temperatur.

Wir kommen nun zur Anwendung und zu dem Schlusse, auf welchen wir vorhin aufmerksam gemacht hatten.

In der Tabelle über die Siedepunkte bei verschiedenen Druckhöhen erfahren wir, daß im Vakuum eine 100-prozentige Zuckertlösung — angenommen es gäbe eine solche — bei 1 m Saftsäule unter 74° C., eine solche von 3 m unter 90° C. findet. Bei dieser Bestimmung war von Kohäsion noch nicht die Rede.

Wenn wir der wirklichen Füllmasse nur die gleichen, das Sieden erschwerenden, Eigenschaften zuerkennen, wie einer 100-prozentigen Zuckertlösung, so erübrigt allein noch bezüglich der Kohäsion zuzugeben, daß zur Ueberwindung derselben eine Temperaturerhöhung von 16° C. nöthig sei, um sogleich zu dem Ergebnis zu gelangen, daß ein Sud von 3 m Höhe nicht schwerer kocht, als ein solcher von 1 m Höhe.

So auffallend dieser Schluß auch erscheint, so wahr ist er dennoch. Denn, wie vorher betont, ist die Kohäsion nicht abhängig vom Druck; wir sagten deshalb, sie sei eine innere Eigenschaft der Kochmasse. Danach läßt sich der Vorgang, welcher als Dauerzustand anzusehen ist, so darstellen.

Das Auseinanderreißen der Moleküle der Kochmasse erfordert in sich einen gewissen Wärmearaufwand. Ist dieser Widerstand gebrochen, so wird ein Dampfbläschen frei, welches sich im Werden und ferneren Wachsen unter den Einfluß des Druckes stellt, welcher von der Saftsäule ausgeübt wird. Der eine Widerstand (Druckhöhe) addirt sich nicht zum andern (Kohäsion), sondern beide liegen ineinander. Ist, um bei unserem Beispiele zu bleiben, die Temperatur von 90° C. diejenige, welche ein Sieden der Masse unter dem Drucke von 0,21 Atmosph. + dem von 3 m Saftsäule zuläßt; und ist ferner dieselbe Temperatur von 90° C. auch diejenige, welche den nöthigen Ueberschuß an Wärme zur Ueberwindung der Kohäsion in sich trägt; so ist kein Grund vorhanden, die Saftsäule niedriger als 3 m zu gestalten, etwa in dem Glauben, es könne mit geringerer Temperatur ein Sieden hervorgerufen werden; es ist solche Erleichterung nicht möglich, da vorerst die entsprechende Temperatur vorhanden sein muß, um den Widerstand der Kohäsion zu brechen.

Wir wählten einen bestimmten Fall, um verständlich zu sein. Allgemein könnte man sagen: Der Druck einer siedenden Flüssigkeitssäule kann (und sollte) durch Höhe derselben soweit gesteigert werden, bis zu seiner Ueberwindung diejenige Temperatur nöthig ist, bei welcher auch der Widerstand der Kohäsion der betreffenden Flüssigkeit aufgehoben wird.

Die Betrachtung der Einflüsse, welche im Vorigen besprochen sind, Druck und Kohäsion, läßt den Unterschied in den Bestrebungen der Neuzeit erkennen, den Vakuumapparaten eine den Bedingungen ihres Zweckes entsprechende Gestalt zu geben. Zelinek betont beim Vakuum wie bei den Verdampfkörpern *) die niedrige Füllmassensäule, und giebt daher diesem wie jenen eine Kofferform, in der er die Füllmasse mehr ausbreitet. W. Greiner ist bei der zylindrischen Form stehen geblieben, weil nach seiner Ansicht (genaue Beweise ermangeln noch dafür) die gewohnte Füllmassenhöhe noch

*) Wir wollen noch einmal zurückgreifen und wiederholen, daß die niedrige Saftsäule bei den Verdampfkörpern, als einer Reihe innerhalb eines gegebenen Temperaturgefälles, von großer Wichtigkeit ist. Und da auch die Kohäsion bei dünneren Säften an Intensität ganz wesentlich einbüßt, so liegt in dieser Forderung eine nach jeder Richtung hin zu bekräftigende Richtigkeit. Die Beeinflussung des Kochens durch die Kohäsion drängt sich erst mit zunehmender Konzentration der Säfte mehr und mehr in den Vordergrund, wie auch die Florensz'schen Zahlen zeigen.

weit genug innerhalb derjenigen Grenzen liegt, über welche hinaus ein Nachtheil, geringeren Höhen gegenüber, vielleicht gefunden werden könnte. Während Ersterer die größere Abdampf-Oberfläche hervorhebt, beruft sich Letzterer auf die Flächen, welche die durch höhere Schichten steigenden Blasen bilden, und einen mindestens genügenden Ersatz für jene bieten. Gemeinsam ist ihnen Beiden das Streben nach großen Heizflächen, dessen Berechtigung wir noch näher zu erläutern haben werden.

18. Der Wärme-Aufwand beim Kochen im Vacuum.

Aus den besprochenen Eigenschaften der Säfte ist ein Ergebnis unschwer abzuleiten, welches wir jedoch in Anbetracht des Umstandes, daß wir noch diesen oder jenen Widerstand wegen Unkenntnis außer Acht lassen mußten, als untere Grenze des Wärme-Aufwandes bezeichnen müssen.

Die Widerstände, welche durch das Gewicht der Saftsäule erwachsen, haben wir kennen gelernt und tabellarisch zusammengestellt; die dazu gehörigen Siedepunkte sind dabei vermerkt. Wir haben uns ferner genöthigt gesehen, uns wegen Mangel an besseren Unterlagen mit der Annahme zu begnügen, daß in den betreffenden Temperaturen, welche durch Druckverhältnisse bedingt wurden, der Ueberschuß an Wärme zur Ueberwindung der Kohäsion bereits vorhanden sei —, kurz, daß die gefundenen Temperaturen dasjenige Material sind, mit dem wir zu rechnen haben. Einstweilen nehmen wir an, daß außer diesen genannten Widerständen etwa unbekannte von wesentlichem Einflusse nicht mehr vorhanden sind.

Wenn wir den Wärme-Aufwand beim Kochen im Vacuum ermitteln wollen, müssen wir uns gewisse Verhältnisse vorstellen, die wir als mittlere bezeichnen können.

Der Saft, welcher im Vacuum zum Verkochen gelangt, habe 45 % Ball. und eine Temperatur vom 75° C.

Um aus Säften von 45% 100 Theile Füllmasse von 5—6% Wassergehalt zu erhalten, sind aus 210 Theilen Saft 110 Theile Wasser abzubampfen. Wir theilen diese Arbeit in Perioden und nehmen daraus:

1) Zur Eindickung von 45 bis 55% : 210.	$\frac{55-45}{55} = 38,2$, abger. 38 k Wasser
2) " " " 55 bis 65% : 172.	$\frac{65-55}{65} = 26,5$, " 26 k " "
3) " " " 65 bis 75% : 146.	$\frac{75-68}{75} = 19,5$, " 20 k " "
4) " " " 75 bis 85% : 126.	$\frac{85-75}{85} = 14,8$, " 15 k " "
5) " " " 85 bis 94,5% : 111.	$\frac{345-85}{99,5} = 11,2$, " 11 k " "

110k Wasser:

und zwar haben wir dannach zu verdampfen

38 k	aus im Mittel 50%	Säften unter einer Druckfäule von 1,2 m, d. i. bei 74° C.
26 k	" " 60%	" " " " " " " " " 1,7 m, " " " 78° "
20 k	" " " 70%	" " " " " " " " " 2,2 m, " " " 82° "
15 k	" " " 80%	" " " " " " " " " 2,7 m, " " " 86° "
11 k	" " " 90%	" " " " " " " " " 3,0 m, " " " 90° "

Hierbei wird Wärme verbraucht:

38	(606,5 + 0,305 . 74 — 75) = 38 . 554 = 21052 W.E.
+ 26	(606,5 + 0,305 . 78 — 75) = 26 . 555 = 14430 "
+ 20	(606,5 + 0,305 . 82 — 75) = 20 . 556 = 11120 "
+ 15	(606,5 + 0,305 . 86 — 75) = 15 . 558 = 8370 "
+ 11	(606,5 + 0,305 . 90 — 75) = 11 . 559 = 6149 "
<hr/>	<hr/>
110	61121 W.E.

d. i. = für 1 k verdampftes Wasser $\frac{61121}{110} = 555$ W.E.

Wird nun weiter die Annahme gemacht, daß der Heizdampf 120° C. Temperatur habe, so daß in diesem für 1 k : 607 — 0,708 . 120 = 522 W. E. nutzbar wären, so folgt, daß 1 k verdampftes Wasser $\frac{555}{522} = 1,063$ k Heizdampf benötigt.

Ein altes Wort, wohl auch auf Messungen beruhend und ohne genannten Autor, stellt den Dampfverbrauch auf 1.1 k fest. Wenn wir also unser obiges rechnerisches Resultat um 0,037 k für Wärmeabgabe nach außen und für solche Verhältnisse, wo von vornherein stärkere Säfte eingezogen werden, vermehren, so können wir als Normalwerth 1,1 k annehmen. Zugleich wollen wir dabei jeden Dampf von beliebiger Temperatur innerhalb der gebräuchlichen Grenzen verstehen, da die Unterschiede bezüglich des Reichthums ihrer nutzbaren Wärme zu geringfügig ist.

Gehe wir diese Berechnung schließen, wollen wir noch einen Vergleich anstellen.

Sieht man nämlich von jeder Erschwerung des Kochprocesses ab, welchen die Saftfäulen und die Art der Säfte hervorrufen, betrachtet man also gewissermaßen ein ideelles Kochen, so ergibt sich ein Wärme-Aufwand. $110 (606,5 + 0,305 . 62 — 75) = 110 . 550,4 = 60544$ W. E.

d. h. 1 k verdampftes Wasser $\frac{60544}{110 . 522} = 1,054$ k Dampf.

dazu, wie vorhin, — — — — — 0,037 k " ergibt 1,091 k Dampf.

Es ergibt sich an Mehrverbrauch von Heizdampf, wenn wir das Kochen unter einer bei 3 m Höhe abschließenden Saftfäule mit dem ideellen Kochen vergleichen,

faum 1%. —

Es ist schon bemerkt, dass die Temperatur auf 100° zu bestimmten
 Zeiten zwischen 100° und 105° schwanken kann (siehe S. 17 und 18).
 Die Temperatur des Wassers ist während der Zeit abnehmend worden, was
 die Temperatur des Wassers, die zu bestimmten Zeiten abnehmend
 werden konnten, ist zu verstehen. Die Temperatur des Wassers ist nicht
 der Zeit zu verstehen, weil nur die Temperatur des Wassers ist.
 Aber nur kann die Zeit die Temperatur des Wassers abnehmend zu
 bestimmten Zeiten werden.

III. Der Dampfdruck.

Es ist schon bemerkt, dass die Temperatur des Wassers abnehmend
 werden kann, was die Temperatur des Wassers ist. Die Temperatur des
 Wassers ist nicht der Zeit zu verstehen, weil nur die Temperatur des
 Wassers ist. Aber nur kann die Zeit die Temperatur des Wassers
 abnehmend zu bestimmten Zeiten werden.

Die Temperatur des Wassers ist nicht der Zeit zu verstehen, weil nur
 die Temperatur des Wassers ist. Aber nur kann die Zeit die Temperatur
 des Wassers abnehmend zu bestimmten Zeiten werden.

- 1) die Temperatur des Wassers ist nicht der Zeit zu verstehen, weil nur
 die Temperatur des Wassers ist.
- 2) die Temperatur des Wassers ist nicht der Zeit zu verstehen, weil nur
 die Temperatur des Wassers ist.

Die Temperatur des Wassers ist nicht der Zeit zu verstehen, weil nur
 die Temperatur des Wassers ist. Aber nur kann die Zeit die Temperatur
 des Wassers abnehmend zu bestimmten Zeiten werden.

Ein Umstand darf dabei nicht vergessen werden, nämlich der: In
 demselben Verhältnis, wie der Unterschied zwischen der Temperatur des

Heizdampfes und derjenigen der Füllmasse abnimmt, muß die Heizfläche wachsen, vorausgesetzt, daß die Zeit eines Sudes dieselbe bleiben soll. Die Heizfläche steht zur Zeit im umgekehrten Verhältnisse: wie die eine zunimmt, kann sich die andere verkleinern.

Hierin liegt natürlich eine Beschränkung in der Verwendung des Heizdampfes von niedriger Temperatur.

Im Allgemeinen beginnt der Sud unter 70—75° C., und beansprucht gegen den Schluß zu eine Steigerung bis auf 90° C., deren Begründung wir früher kennen lernten.

Es ist wohl zu beherzigen, daß demnach der Dampf, welcher den Sud vollenden soll, wenigstens eine Temperatur von 100° C. haben muß. In der That gelingt es, mit solchem Dampfe Sude fertig zu kochen, wenn es die Zeit — wie schon hervorgehoben — zuläßt. *)

Bei den Verhältnissen, unter denen unsere Verdampfung gewöhnlich und auch mit Recht arbeitet, ist es nicht möglich, mit Saftdampf — selbst aus dem ersten Körper — einen Sud fertig zu kochen, wohl aber denselben bis zu einem gewissen Grade zu bringen, um dann nach Schließung dieser Dampfleitung direkten Dampf einzusetzen und damit den Sud zu vollenden. Immerhin bleibt die Größe der Heizfläche als Frage bestehen.

Die mittlere Temperatur eines Sudes ist nach früherer Betrachtung und zugleich unter Berücksichtigung der Verdampfungs-Arbeit:

$$\frac{38 \cdot 74 + 26 \cdot 78 + 20 \cdot 82 + 15 \cdot 86 + 11 \cdot 90}{110} = 79,7, \text{ abgerundet: } 80^\circ \text{ C.}$$

Dieser gegenüber sind wir eine Heizdampf-temperatur von 140° gewöhnt, so daß sich ein Unterschied von 140 — 80 = 60° C. ergibt. Eine Verkleinerung dieses Unterschiedes durch Einführung weniger heißen Heizdampfes verlangt also eine Steigerung der Heizfläche in demselben Verhältnisse. Dampf von 100° würde einen Unterschied von 100 — 80 = 20° ergeben, und die Heizfläche des Vakuums würde dementsprechend — unter Voraussetzung gleicher Sudzeit — die $\frac{60}{20} = 3$ fache der bisherigen sein müssen.

Die Beheizung mit Saftdampf aus dem ersten Körper, dessen Temperatur (im Drei-Körper-Apparat) 90° sein mag, würde eine 6fache

*) Ein Sud Raffinade (260 Ctr.) wird in der Zuderfabrik Tapiou nach H. Grundmann's Mitteilung in einem Greiner'schen Vakuum nur mit Rückdampf von 0 bis 0,25 Atm. Spannung in 4 Stunden vollendet.

Heizfläche bedingen, wenn bei solcher Temperatur — wie nicht möglich — überhaupt ein Sud vollendet werden könnte.

Da wir Vakuumapparate nicht besitzen und nicht besitzen können, welche im Verhältnisse zu einer gewissen Füllmassenmenge so große Heizflächen aufweisen, so bliebe nur übrig, eine größere Anzahl von Apparaten aufzustellen, deren entsprechend längere Sudzeiten ineinander fallen müssten, so, daß sich Beginn und Ende eines Sudes gegen Beginn und Ende eines anderen je nach Anzahl der Apparate verschieben würden. Das würde aber theuer und umständlich werden.

Jedoch wollen wir schon hier bemerken, daß die Beheizung mit Saftdämpfen, wie wir sie gleich behandeln werden, zwei Vakuumapparate als durchaus wünschenswerth erscheinen läßt. Wir werden Gelegenheit haben, diese Forderung noch näher zu begründen.

Schon in seinem Patente No. 3852 vom 20. Febr. 1878 behandelt Millieux die Beheizung des Vakuums mit Maschinen-Abdampf und Saft-Dampf. Da wir aber unter allen Umständen wenigstens in Rohzuckerfabriken keinen Maschinendampf übrig haben, und da die Temperatur der Saftdämpfe aus den Verdampfkörpern kaum genügen, so ist der darin gemachte Vorschlag für uns ohne Werth geblieben.

Besser wäre es geworden, wenn es gelungen wäre, die Spannung der Rückdämpfe auf einen Ueberdruck von „ $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ und mehr Atmosphäre“ zu bringen, wie es das Patent des Genannten, No. 15569 vom 14. Jan. 1881 verlangte. Aber die deutsche Zuckerindustrie hat uns nicht dazu kommen lassen. Auch der Aufbau des Systems in dem Patente No. 29432 hat uns wegen seiner ganzen Temperaturlage, die für uns in den Bereich der Unmöglichkeit gehört, nicht vorwärts bringen können.

Dennoch hat Millieux mit seinen Vorschlägen eine Anregung gegeben, deren Weiterverfolgung unter richtigen Voraussetzungen und praktischen Möglichkeiten ihre Früchte bringen wird. Um dieses Thema mit Erfolg weiter zu behandeln, müssen wir einen Blick auf die Dampfverwendung in der ganzen Zuckerfabrik werfen.

Dabei wollen wir über die Mittel das Ziel nicht vergessen, und wollen Zahlen wählen, die nur im Großen und Ganzen der Wirklichkeit entsprechen, ohne für jeden einzelnen Fall einer Berichtigung entbehren zu können. Es liegt uns mehr an einer einfachen und verständlichen Darstellung, als an absoluter theoretisch-begründeter Wahrheit. Wir thun das in Anbetracht des Umstandes, daß die Praxis vielmehr Abweichungen von den Rechnungen rein theoretischer Natur mit sich bringt, als eine Abrundung von sonst angenäherten Zahlen herbeiführen kann.

Wir nehmen z. B., wie schon früher gesagt, an, daß jeder Dampf innerhalb der Spannungsgrenzen und Temperaturen, in denen wir Dampf verwenden, dieselbe Nutzbarkeit der Gewichtseinheit besitze, er möge reiner Wasser- oder Saftdampf sein. Auf sonstige Eigenschaften und Forderungen des letzteren kommen wir dann bei Gelegenheit zurück.

Wir setzen ferner voraus, daß der Zwei-Körper-Apparat verlassen ist, und gründen unsere weiteren Vergleiche und Vorschläge auf den Drei-Körper-Apparat. Wir kommen dadurch dem jetzigen Zustande unserer Verdampfstationen näher, und machen die endlosen Rechnungen mit kaum noch vorhandenen Verhältnissen überflüssig.

Wir geben nun eine Zusammenstellung des Dampfverbrauchs in der Zuckerfabrik nach Angaben verschiedener Autoren, und ziehen daraus Zahlen als „abgerundeter Mittelwerth“, welche wir als Unterlage für fernere Untersuchungen annehmen wollen. Die Zahlen geben den

Dampf in k für Verarbeitung von 100 k Rüben.

	Naßmus*) Rillieur	Kröger**)	Pauly***)	abg. Mittelwerth
Diffusion	11,83	15,74	7,38	12,00
I. Saturation	13,00	10,20	15,40	13,00
II., III. Saturation, Filter	13,00	14,40	17,18	15,00
Verdampfung (Dreif.-Apparat)	47,90 ¹⁾	43,30 ²⁾	46,60	47,00
Vakuum	14,98	16,40	23,00	23,00
Saftheber, Heizung, Ausstrahlung	2,48	4,80	— ³⁾	5,00
Kraftaufwand	1,47	16,92 ²⁾	— ³⁾	15,00
Summe k Dampf f. 100 k Rüben				130,00

*) Die Deutsche Zuckerindustrie 1885, Nr. 47, besondere Beilage 2.

**) Die Deutsche Zuckerindustrie 1887, Nr. 6, Beilage 1.

***) „Ueber die Anwendung gespannter Saftdämpfe.“ Vereinszeitchrift.

¹⁾ Die Angabe für den Zweikörper-Apparat auf den Dreikörper-Apparat umgerechnet.

²⁾ Kröger berechnet den Maschinenbetriebsdampf auf 42,72 k, aus dem er 25,8 k Rückdampf für die Verdampfung gewinnt. Entsprechend dem Sinne unserer Tabelle entnehmen wir daraus $42,72 - 25,8 = 16,92$ k als Verbrauch der Maschinen in sich, während wir mit dem Uebrigens die Verdampfung belasten. Der Dreikörper-Apparat verbraucht — ebenfalls ungerechnet — 43,3 k, in welcher letzteren Zahl 52,8 k Maschinenabampf und also $43,3 - 25,8 = 17,5$ k Kesselampf inbegriffen ist.

³⁾ Die Abhandlung bespricht nur die Benutzung von Saftdampf, nicht den Dampfverbrauch der ganzen Fabrikation.

Wenn wir 47 k Dampf für die Verdampfung als Gemisch von Maschinenabdampf und Kesselampf annehmen, so erübrigt uns noch, dasselbe in seine beiden Theile, nämlich in etwa 30 k Maschinenabdampf und etwa 17 k Kesselampf zu zerlegen. Unter „Kesselampf“ ist aber nicht nur derjenige verstanden, der als „direkter Dampf“ durch das für denselben bestimmte Ventil in die Heizkammer des Verdampfkörpers eintritt, sondern auch derjenige, welcher über den eigentlichen Kraftbedarf der Maschinen durch dieselben hindurchgeht und zu Rückampf gemacht wird, wobei die Maschinen die Rolle des Reduzirventiles übernehmen; ferner denjenigen Dampf, der, in ganz falscher Anschauung über Beheizung, durch Schlangen von Vakuen, Saturateuren und ähnlichen Heizvorrichtungen in den Rückampfsammler eingeführt wird. Durch solche verkehrte Einrichtungen wird die falsche Vorstellung gebildet und genährt, daß genug und zuviel „Maschinenabdampf“ vorhanden sei, während man in Wahrheit zu einem großen Theile mit (expandirtem) Kesselampfe zu thun hat.

Soll die Dampfverwerthung in einer Fabrik rationell werden, so sind hier zuerst entsprechende Aenderungen zu treffen und alle Heizvorrichtungen mit Kondensstöpfen zu schließen. Man wolle auch bedenken, daß mit dem „Durchblasenlassen“ die Spannung des Heizdampfes, und dadurch der Haupteffekt bei bedingter Heizfläche wesentlich vermindert wird.

20. Dampfverbrauch bei verschiedenen Zusammenstellungen oder Systemen.

Wir gehen nun zum Vergleich mehrerer Systeme über, welche uns ein Bild von dem Dampfverbrauche geben werden, welcher eintritt, wenn die Beheizung des Vakuums mit Saftdampf vorgenommen wird. Wir beginnen mit der Beheizung nach bisheriger Methode:

- 1) Der Verdampf-Apparat A Figur 74 (S. 131) mit seinen drei Körpern A_1 , A_2 , A_3 habe auf 100 k Rüben 135 k Wasser, auf den Körper 45 k, abjudampfen, wozu in Beschickung des Körpers A_1 47 k Dampf verbraucht werden. Das Vakuum V wird mit Kesselampf gespeist und verbraucht auf 100 k Rüben 23 k Kesselampf.

Dampfverbrauch: Verdampfapparat	—	30 k Abdampf	—	17 k Kesselampf
		Vakuum		— 23 k Kesselampf
		Summa		<u>30 k Abdampf und 40 k Kesselampf</u>
				70 k Dampf.

- 2) Der Verdampfapparat A Figur 75 mit seinen drei Körper A_1 , A_2 , A_3 habe $135 - 23 = 112$ k Wasser (für jeden Körper $37,4 - 37,3 - 37,3$) zu verdampfen. Der Körper A, hat in einer

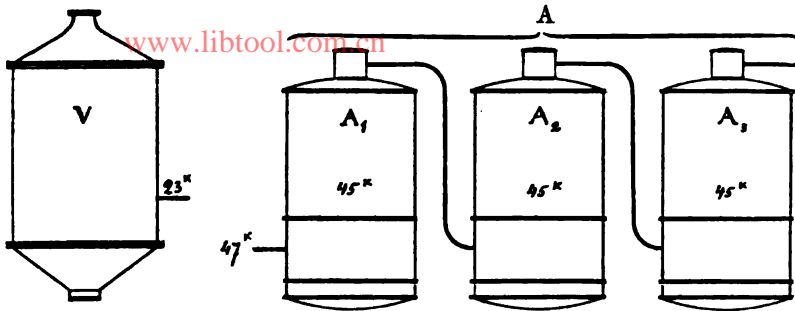


Fig. 74.

Erweiterung B_1 noch 23 k für Beheizung des Vakuums B zu liefern. Die Summe des verdampften Wassers ist wie vorhin $135 - 23 + 23 = 135$ k.

Der Dampfverbrauch in $A_1 + B_1$ ist, da die Bedingungen für die Verdampfung dieselben bleiben, nur proportional der Saft-Dampferzeugung in demselben.

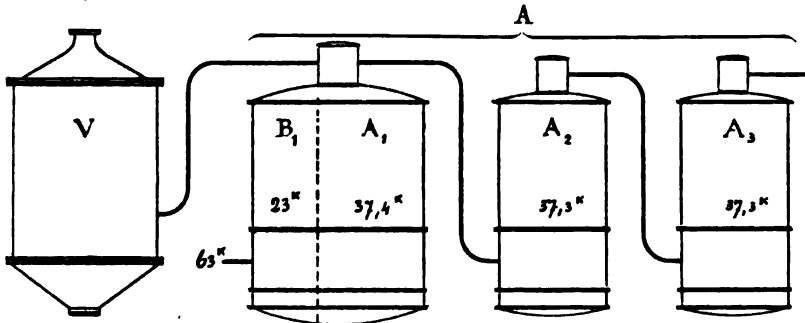


Fig. 75.

Der Dampfverbrauch ist demnach für $A_1 + B_1$ (und für A und V).

$$47 \left(\frac{37,4 + 23}{45} \right) = 63 \text{ k Dampf und zwar}$$

30 k Abdampf und 33 k Kesselampf.

3) Der Verdampfapparat A Figur 76 (S. 131) mit seinen drei Körpern $A_1 A_2 A_3$ habe $135 - 23 - 23 = 89$ k Wasser (für jeden Körper $29,7 - 29,7 - 29,6$) zu verdampfen. Die Körper $A_1 A_2$ haben Erweiterungen $B_1 B_2$, welche je 23 k Dampf, und zwar B_1 für B_2 , B_2 für das Vakuum V zu liefern haben.

Die Summe des verdampften Wassers ist wie vorher $135 - 23 - 23 + 23 + 23 = 135$ k.

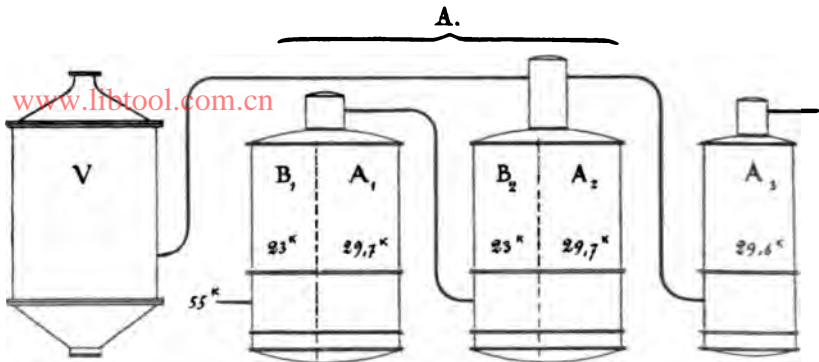


Fig. 76.

Der Dampfverbrauch in $A_1 + B_1$ (und für A und V)

$$47 \left(\frac{29,7 + 23}{45} \right) = 55 \text{ k Dampf, und zwar}$$

30 k Abdampf und 25 k Kesseldampf.

Diese Verteilung der Arbeit, unter denselben Bedingungen auf einen Vier-Körper-Apparat $A_1 A_2 A_3 A_4$ übertragen, ergibt

4) Vakuum mit Kesseldampf gespeist.

Dampfverbrauch: 58,6 k, und zwar: Verdampfung A: 35,6 k

Vakuum V: 23,0 k

58,6 k

b. i. 30 k Abdampf und 28,6 k Kesseldampf.

Im besonderen für die Verdampfung A: 30 k Abdampf und 5,6 k Kesseldampf.

5) Vakuum mit Saftdampf aus A_1 gespeist.

Dampfverbrauch: 53,8 k und zwar

30 k Abdampf und 23,8 k Kesseldampf.

6) Vakuum mit Saftdampf aus A_2 gespeist.

Dampfverbrauch: 47,7 k, und zwar

30 k Abdampf und 17,7 Kesseldampf.

Diese Ergebnisse sind in der Tafel auf folgender Seite zusammengestellt.

So verführerisch diese Resultate auch sind, so müssen wir leider in dieser Form auf ihren Gewinn verzichten, wenn wir bedenken, daß die Temperaturen der Saftdämpfe, im

a) Drei-Körper-Apparat A_1 etwa 91°C ., A_2 78°C .,

b) Vier-Körper-Apparat A_1 etwa 95°C ., A_2 85°C .,

und für die Zwecke des Kochens im Vakuum unzureichend sind.

Es liegt nun nichts näher, als die Verdampfung der Säfte in zwei Theile zu zerlegen: in eine Verdampfung, für welche nur der Maschinen-

Dampf in k für 100 k Rüben-Verarbeitung,
Verdampfung und Verkoehung.

	Abdampf	Kesseldampf	Gesamtdampf
Dreiförper-Apparat			
1) Vakuum mit Kesseldampf gespeist	30 k	40 k	70 k
2) Vakuum mit Saftdampf aus A ₁ gespeist	30 k	33 k	63 k
3) Vakuum mit Saftdampf aus A ₂ gespeist	30 k	25 k	55 k
Vierförper-Apparat			
4) Vakuum mit Kesseldampf gespeist	30 k	28,6 k	58,6 k
5) Vakuum mit Saftdampf aus A ₁ gespeist	30 k	23,8 k	53,8 k
6) Vakuum mit Saftdampf aus A ₂ gespeist	30 k	17,7 k (!)	47,7 k

abdampf (30 k) seine Verwerthung findet, und in solche, für welchem bei höherem Drucke der Saftdämpfe Kesseldampf benutzt wird.

Schon im April 1885 äußerte Greiner in der Versammlung des Technischen Vereins in Magdeburg gelegentlich der Frage:

„Durch welche Veränderungen in der Verdampfung und Verkoehung ist „das Maximum der Kohlenersparniß zu erreichen?“: es sei gar nicht zu verstehen, warum der über den wirklichen Bedarf der Maschinen hinaus benötigte Dampf nicht für sich allein zur Verwendung gebracht würde, da man solchen doch in beliebiger Intensität vielseitiger verwerthen könne; und später*) beschrieb er diese Trennung bezüglich ihres Zweckes ausführlich.

Zur Kampagne 1887—88 wurde auf Vorschlag des Genannten in der Zuckersabrik Grönningen eine so beschriebene Einrichtung, bei welcher ein besonderer Apparat, mit Kesseldampf gespeist, den Heizdampf für die Vakuumstation liefert, getroffen.

Zu gleicher Zeit und für dieselbe Kampagne hat auch in der Zuckersabrik Mühlsberg a. G. auf Veranlassung ihres Direktors Dr. Pauly — unabhängig von der ersteren — ein solcher Verdampfkörper Aufstellung gefunden, welcher zugleich die Beheizung der Anwärme Stationen in seinem Bereich ein-

*) Die deutsche Zuckerindustrie 1886, Nr. 48 und 49.

gezogen hat. Diese Anordnung ist durch den angeführten Bericht des Dr. Pauly „Ueber die Anwendung gespannter Saftdämpfe“ bekannt geworden.

Wenn man unter höheren Temperaturen Saftdämpfe erzeugt, so tritt eine Frage in den Vordergrund, nämlich die: wie weit können Dünnsäfte erwärmt werden, ohne Schaden zu erleiden? Hierüber äußert sich Pauly wie folgt:

„Die Erfahrung hat mich aus den angestellten Versuchen und aus einer nunmehr zweijährigen Praxis gelehrt, daß man, ohne jeden Schaden für die Beschaffenheit oder auch nur die Farbe der Rübensäfte, dieselben in geschiedenem Zustande auf eine Temperatur von 120—125° C. anwärmen kann, wenn sie dieser Temperatur nicht gerade allzulange ausgesetzt wurden. Ja, ich habe im Gegentheil die Erfahrung gemacht, daß es sogar vortheilhaft ist, die schwach alkalischen Rübensäfte eine kurze Zeit auf dieser Temperatur zu erhalten, weil hierbei unter der Einwirkung des Kaltes eine Menge stickstoffhaltiger Körper (die sogenannten Amine und die Proteinsubstanzen) unter Abspaltung von Ammoniak zerlegt werden.“

Desselben Verfassers Urtheil über die gewonnenen Füllmassen lautet sehr günstig.

Es liegt also nicht nur nichts im Wege, sondern wird sogar vortheilhaft sein, eine neue Zusammenstellung einzuführen, die wir wohl nach dem Vorhergesagten am besten mit „Sistem Greiner-Pauly“ bezeichnen. Dieselbe besteht in der vollständigen Trennung der Verdampfstation in zwei Theile: in einen solchen A, der nur für die Benutzung von Maschinen-Abdampf bestimmt ist, und je nach Möglichkeit diesen mehr oder weniger gespannt zu erhalten aus drei oder vier Körpern zusammengesetzt ist; und in einen solchen B, welcher mit Kessel Dampf von etwa 2 Atmosph. Ueberdruck, d. i. 135° C. arbeitet. In letzterem wird der Dünnsaft unter höchstens 125° C. verdampft, wobei die Saftdämpfe entweder unmittelbar zur Beheizung des Vakuums V (und auch anderer Stationen, in welchen Wärme erforderlich ist) dienen, oder einen zweiten Körper B₂ bedienen, von welchem aus dann erst die Wärme-Abgabe zum Vakuum etwa erfolgt.

Ebenso würde es möglich und sehr ergiebig sein, vom ersten Körper B₁ aus das Vakuum V und einen zweiten Körper B₂, von letzterem aus Anwärme Stationen zu beheizen. Unter diesen haben wir vor allen Dingen die Diffusion wegen ihrer niedrigen Temperaturlage im Auge. — Es würde uns über das Thema dieses Kapitels hinausführen, wenn wir alle Möglichkeiten guter und vortheilhafter Wärmebenutzung besprechen wollten, und wir müssen uns hier darauf beschränken, die Bedingungen der Vakuumbeheizung mit Saftdämpfen näher zu beleuchten.

Wenn wir ein Bild des neuen Systems haben wollen, so ist nur nötig, daß wir die Körper A und B, von denen wir bis dahin angenommen hatten, daß sie unter gleichen Bedingungen arbeiteten, von einander trennen.

Wir verfolgen wieder einen bestimmten Fall und wählen für die Besprechung die Theilung 5) (Figur 77 und 78), in welchem wir einen Vierkörper-Apparat für Maschinen-Abdampf, und einen Körper B₁ für die Beheizung des Vakuums V mit Saftdämpfen als geplant oder vorhanden voraussetzen. Auch alle anderen früheren Bedingungen mögen beibehalten werden.

Es sind wieder für je 100 k verarbeitete Rüben 135 k Wasser zu verdampfen, um aus dem Dünnsafte den Dicksaft zu gewinnen. Das Vakuum V erfordert 23 k Saftdampf, welcher aus B₁ geliefert werden muß; B₁ verdampft also 23 k Wasser. Den Körpern A₁ A₂ A₃ A₄ fällt demnach je ein Wasserquantum von $\frac{135 - 23}{4} = 28$ k zur Verdampfung zu.

Der Apparat A ist der durch Maschinen-Abdampf beschickte Verdampfapparat. Im ersten Körper A₁ sind theoretisch nur 28 k Dampf nötig (siehe später B₁), während wir für die Praxis die uns gerade zu Gebote stehende Maschinen-Abdampfmenge von 30 k verwendet denken können.

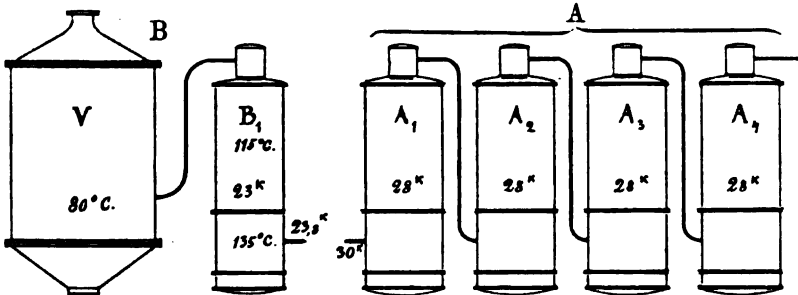


Fig. 78.

Fig. 77.

Dieser Apparat bietet uns weder in seiner Thätigkeit noch in seinen sonstigen Bedingungen etwas Neues, außer daß ihm die Säfte aus B₁ bereits nicht mehr als ursprüngliche Dünnsäfte zugehen; auch unter höherer Temperatur (z. B. 115° statt 75°) fließen sie ein, woraus sich in A₁ eine kleine Ersparnis an Dampf den sonstigen Verhältnissen gegenüber ergibt.

Eine größere Beachtung hingegen sind wir der Verbindung des Verdampfers B₁ mit dem Vakuum V (Figur 78) schuldig.

1) In den Verdampfer B_1 müssen die abzubampfenden Säfte eingepumpt werden, weil auch in dem Sastraum Ueberdruck — bis höchstens 1,2 Atmosph. — herrscht. Die Säfte müssen hier höher als sonst angewärmt werden, und es wird Dampf dafür angewendet, dessen Arbeit uns, wie wir sehen, in A_1 wieder zu gute kommt. Wir gewinnen auch hier aus den höher gespannten Heißdämpfen entsprechend heißeres (135°) Kondenswasser, welches unter Verschluss zur Kesselspeisung verwendet werden muß, wenn nicht ein Theil seiner Wärme verloren gehen soll; es kann auch zur Erhöhung der Temperatur anderen weniger heißen Speisewassers durch Mischung Verwendung finden.

2) Es ist darauf zu achten, daß die Säfte möglichst luftarm sind, und daß mit der Pumpe nicht Luft eingeführt wird, sei es durch Stopfbüchsen eingesogen, sei es durch Freiwerden des Saugrohres über dem Saftspiegel.

Auch eine Selbstregulirung der Pumpe nach dem Saftstande ist am Platze.

Denn durch Zutritt von Luft werden in den Kupferrohren des Vakuums Dryde gebildet, welche durch das in den Saftdämpfen enthaltene Ammoniak angegriffen werden, und auf diese Weise eine fortwährende Korrosion des Kupfers hervorrufen.

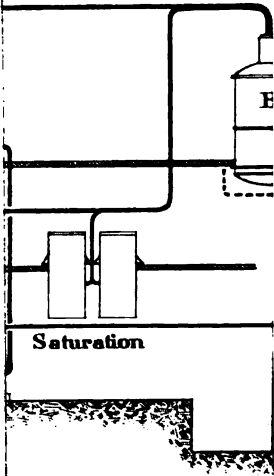
3) An den Ausgängen der Heißgase aus den Heizkörpern des Vakuums in die Kondenswassersammler ist eine Gelegenheit für fortwährendes Abblasen eines kleinen Theiles derselben zu geben, damit nicht Ansammlungen von nichtkondensirbaren Gasen stattfinden können, welche den Heizeffekt der vorhandenen Flächen herabdrücken. Diese Abzugrohre können in die Kammern des Apparates A geleitet werden, wo die sonst verlorenen Dämpfe noch gute Verwerthung finden.

4) Da die ganze Anlage offenbar am besten und sichersten arbeitet, wenn eine annähernde Stetigkeit der Arbeit erreicht ist, so ist es — wie früher schon betont — durchaus rathsam, zwei Vakuen aufzustellen, damit das eine zu arbeiten beginnen kann, wenn das andere zum Ablassen der Füllmasse gelangt, oder schon, wenn letzteres bei zunehmender Dichte der Masse nur noch wenig Dampf aufnimmt.

5) Die Heizflächen des Verdampfers B_1 verhalten sich zu denen des Vakuums V umgekehrt, wie die in beiden Apparaten gewünschten Temperaturunterschiede zwischen den Heißdämpfen und den siedenden Flüssigkeiten; zugleich ist die Fähigkeit der Heizflächen Wärme zu übertragen strengstens zu beachten.

NO. 1711
SUBSCRIPTION

Fig.



www.libtool.com.cn

Das ganze System ist in der Figur 79 (Ausschlagetafel 11) schematisch dargestellt. Die Buchstabenbezeichnungen sind die gleichen wie in Figur 77 und 78. Die übrigen Einrichtungen sind auch ohne Erklärung leicht verständlich.

Die oben aufgeführten Ersparnisse an Dampf zum Verbampfen und Verkochen sind nicht die einzigen. Man hat nur in unsern Figuren die Mengen der Saftdämpfe zu vergleichen, welche den jebeismaltigen letzten Körper A verläßt, so wird man begreifen, wieviel — da nur ein Theil dieser Dämpfe in Anwärmung von Diffusionswasser und Rohsäften nützlich verwerthet werden kann — Wasser für die Kondensation dieser Saft-Abdämpfe (das etwa 25fache ihres Gewichtes) gespart werden muß.

Es muß an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß die unter 6) aufgeführte Zusammenstellung „Vierkörper-Apparat und Vacuum aus A gespeist“ einen Dampfverbrauch aufweist, dessen Oekonomie wir nicht ausnutzen können. (Er ist in der Tabelle mit einem (!) gekennzeichnet). So lange A_1 und B_1 , und A_2 und B_2 unter gleichen Bedingungen arbeiteten und also in der That je einen Körper bildeten, war diese Dampfvertheilung möglich. Die 47,7 k Dampf, von denen 30 k Maschinen-Abdampf und 17,7 k gleichgespannter, also expandirter, Kesselbampf ist, strömten in eine Kammer $A_1 B_1$ und bildeten dort ein gemeinsames Heizmaterial. Wir trennten aber die Körper A und B, um in den B-Körpern eine höhere Temperatur erreichen und wieder verwerthen zu können. Die benötigten 17,7 k Kesselbampf reichen nunmehr einerseits zur Beheizung des Körpers B (B_1 und V) nicht aus, andererseits kann der Ueberschuß an Maschinenabdampf, den wir in der A-Gruppe erübrigen, in B wegen zu geringer Temperatur eine Verwendung nicht finden.

So sind wir also bereits mit dem Schema (5), welches wir eben ausführlicher behandelten, an der Grenze des praktisch-Verwerthbaren angelangt. Diese Grenze wird bestimmt durch die Menge des Maschinenabdampfes. Je mehr wir die Menge des Maschinenabdampfes einzuschränken im Stande sind, desto mehr tritt eine richtige Dampfverwerthung in den Bereich der Ausführbarkeit. Je richtiger die Dampfverwerthung in den Maschinen sein wird, desto weniger Abdampf werden wir erhalten, und damit tritt eine große Freiheit in der Benutzung von Kesselbampf ein, welche uns befähigen wird, den Betrieb der Zuckersabrik wesentlich billiger zu gestalten.

Es sei aber zugleich darauf aufmerksam gemacht, daß sowohl Balancier-Luftpumpen-Maschinen, als auch überhaupt solche Luft- und Gas-Pumpen-Maschinen, deren Dampfkolben- und Pumpenkolben-Hube gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind, nicht geeignet erscheinen, mit kleiner Füllung des

Dampfcylinders betrieben zu werden. Die Kolbenwege müssen vielmehr von Kurbeln abhängen, welche unter einem Winkel zu einander liegen, dessen Größe von der Art der Beanspruchung der Pumpe (Unterschied der Spannungen) bestimmt wird.

Es sei, bevor wir zur Besprechung der Vakuum-Konstruktionen übergehen, noch eine Art der Beheizung des Körpers B_1 gedacht, die mindestens große Annehmlichkeiten bietet; auch Vortheile gewährt, welche aber nicht auf dem Gebiete der Dampf-Verwerthung, sondern auf dem der Dampf-Erzeugung zu suchen sind. Es ist die geschlossene Dampfheizung, wie sie anfangs des Kapitels über Verdampfung erwähnt, und wie sie zur Vakuumbeheizung in der Aktien-Zuckerfabrik Wegeleben ausgeführt ist.

Die Heizkammer B_1 steht in unmittelbarer Verbindung mit einer Kesselgruppe, welche den Dampf in der verlangten Spannung und der benötigten Menge zu liefern hat. Das Kondenswasser fließt selbstthätig in die tiefergelegenen Kessel zurück. Für diesen Zweck eignen sich alle Kessel; jedoch muß denen der Vorzug gegeben werden, welche in dünnen Wandungen die Wärme der Heizgase am leichtesten dem Kesselwasser übermitteln. Da nun von Kesselsteinbildung bei diesem Kreislaufe des Wassers in beiden Aggregatzuständen keine Rede ist, so sind die Rohrketel, bei denen sonst

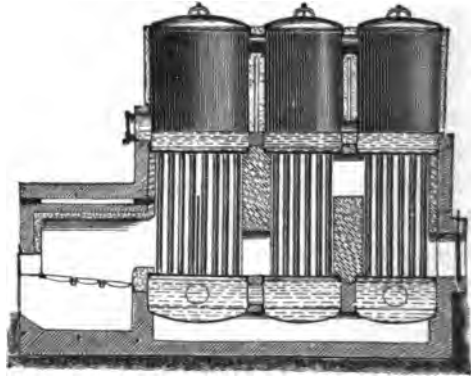


Fig. 80.

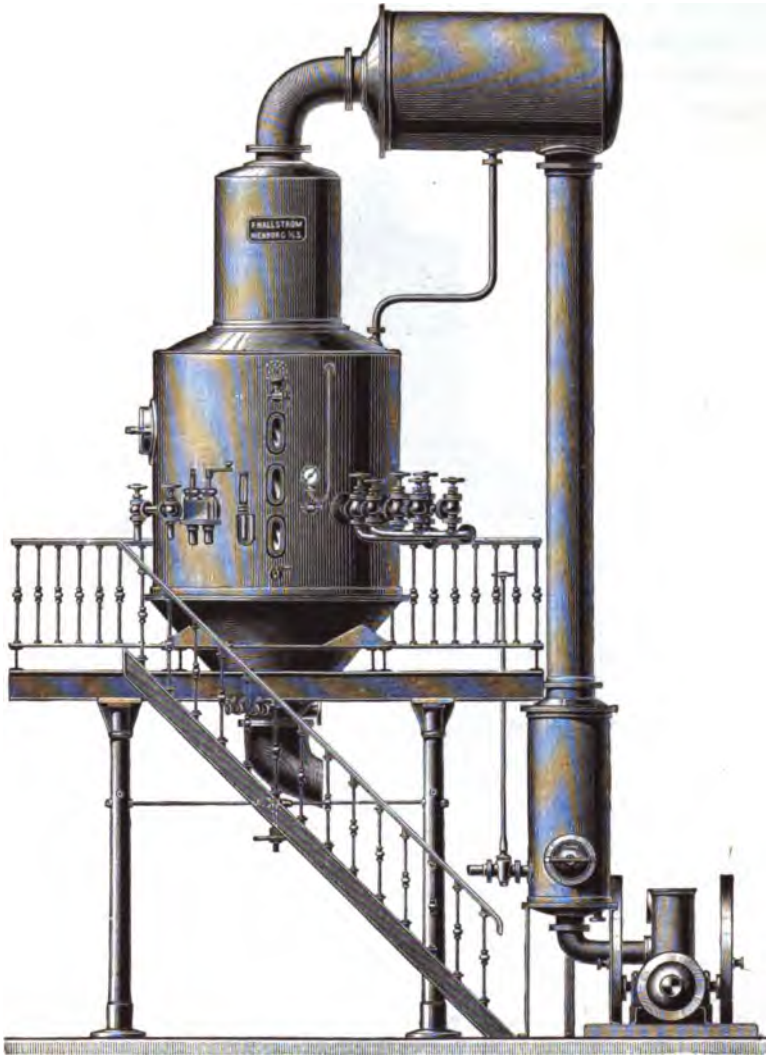
in der Schwierigkeit des Reinigens der einzige Grund ihrer geringeren Verbreitung gefunden werden dürfte, hier ihrer anderen Vorzüge wegen ganz besonders zu empfehlen. Es mag besonders auf die v. Koch'schen stehenden Rohrketel, welche den Verdampfern selbst sehr ähnlich sehen, aufmerksam gemacht werden, Figur 80, von welchem im ersten Theile des Buches ausführlicher die Rede gewesen.

In einem solchen Beheizungssystem ist die größte Sparbarkeit möglich, und ist daher diese Einrichtung zu empfehlen.

21. Verschiedene Einrichtungen von Vakuum-Apparaten.

F. Hallström in Mienburg baut eiserne Vakuumapparate in der in Figur 81 (Seite 139) gezeichneten Gestalt.

www.libtool.com.cn



A. PHOENIX X. A. ZIMMERSCHNEIDER.

Fig. 81.

Die von der Halle'schen Maschinenfabrik gebaute Vakuumeinrichtung zeigen die Figuren 82 und 83 (Seite 140, 141).

a Hauptdampfrohr mit Absperrventil, b Dampfausgang aus den Schlangen, c Rückdampfrohr, d Rückventile, e Kondenswasserablaßleitung, f Saftziehröhr, g Sirupablaß mit Ventilverschluß, h Probehahn, i Ventil zum Ausdämpfen, I II III IV Dampfventile zu den Schlangen, V VI Einziehventile für Saft und Sirup.

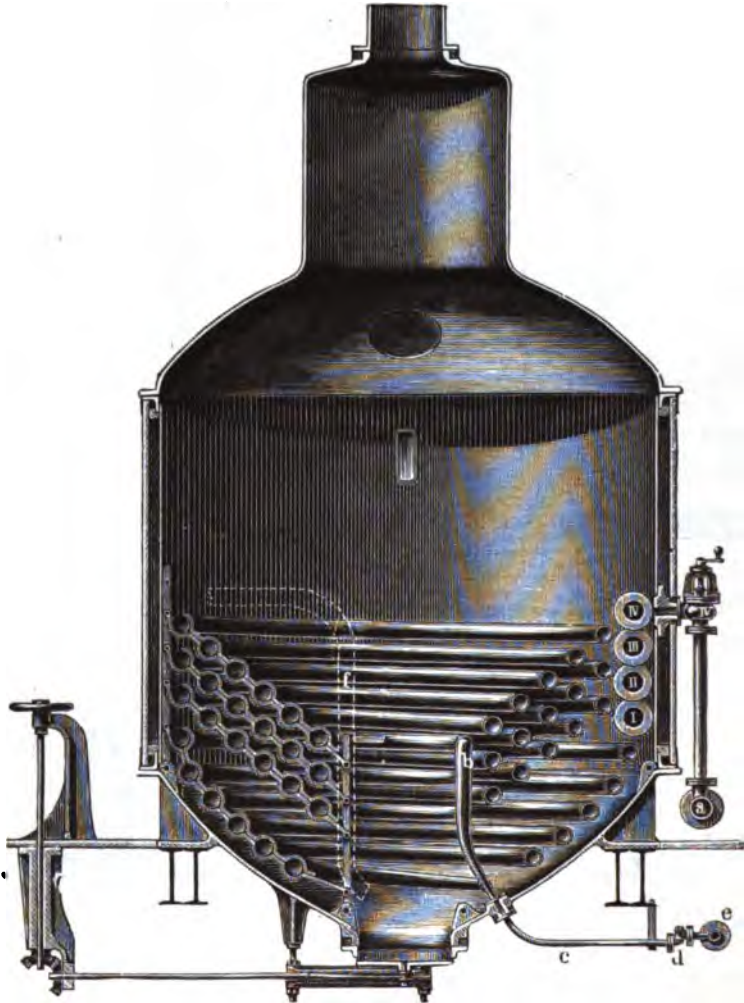


Fig. 82.

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn



Fig. 83.

Um einerseits die Höhe der Flüssigkeitssäule einzuschränken und andererseits das Ueberreißen des konzentrierten Saftes zu verhindern, welchem durch keine Sicherheitsvorrichtung vollkommen gesteuert wird, hat Wellner-Jelinek die zylindrische Form verlassen, und die Gestalt des Vakuums gewählt, welche in den Figuren 83—85 dargestellt ist. Um auch die Heizfläche ökonomisch einzurichten, hat man statt der Röhre von großem solche mit kleinem Durchmesser genommen. Die Figuren 85 und 86 zeigen ein solches Vakuum, wie es sich in der Praxis bereits bewährt hat. Dasselbe gestattet Heizfläche jeden Umfangs und Füllungen von 3—400 M.=Ztr. Füllmasse, ohne dabei außergewöhnliche Dimensionen anzunehmen oder un-

ökonomisch zu arbeiten. Das Vacuum-System Wellner-Jelinek ist in den Figuren 84 und 85 (s. Bell. 6) dargestellt. F ist Saftfänger, V Vacuummeter, H Heizkammern, K Verdampfförper, R Heizrohre, T Tragfüße, Dr Ventil zur Heizung mit Kessel- Rück- oder Brühdampf, C Kondenswasserablaß, L Luftventil, M Mannloch, S Schaulöcher, B Brühdampfabzug, P Taspo-
 tasimeter, A Ausdampfventil, E Verbindungsstutzen zwischen Apparat und Saftfänger, s Füllmasseablaß, p Probebahn.

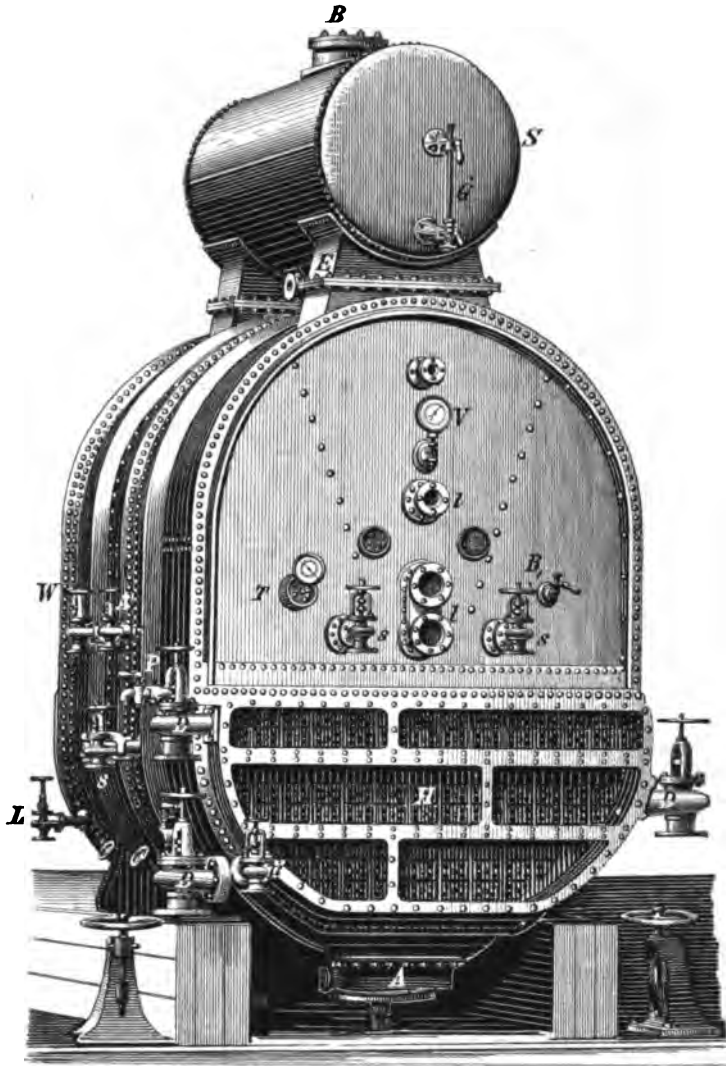


Fig. 86.

www.libtool.com.cn

1) In den Verdampfer B_1 müssen die abjudampfenden Säfte eingepumpt werden, weil auch in dem Sastraum Ueberdruck — bis höchstens 1,2 Atmosph. — herrscht. Die Säfte müssen hier höher als sonst angewärmt werden, und es wird Dampf dafür angewendet, dessen Arbeit uns, wie wir sehen, in A_1 wieder zu gute kommt. Wir gewinnen auch hier aus den höher gespannten Heizdämpfen entsprechend heißeres (135°) Kondenswasser, welches unter Verschluss zur Kesselspeisung verwendet werden muß, wenn nicht ein Theil seiner Wärme verloren gehen soll; es kann auch zur Erhöhung der Temperatur anderen weniger heißen Speisewassers durch Mischung Verwendung finden.

2) Es ist darauf zu achten, daß die Säfte möglichst luftarm sind, und daß mit der Pumpe nicht Luft eingeführt wird, sei es durch Stopfbüchsen eingesogen, sei es durch Freiwerden des Saugrohres über dem Saftspiegel.

Auch eine Selbstregulirung der Pumpe nach dem Saftstande ist am Plage.

Denn durch Zutritt von Luft werden in den Kupferrohren des Vakuums Oxide gebildet, welche durch das in den Saftdämpfen enthaltene Ammoniak angegriffen werden, und auf diese Weise eine fortwährende Korrosion des Kupfers hervorrufen.

3) An den Ausgängen der Heizgase aus den Heizkörpern des Vakuums in die Kondenswassersammler ist eine Gelegenheit für fortwährendes Abblasen eines kleinen Theiles derselben zu geben, damit nicht Ansammlungen von nichtkondensirbaren Gasen stattfinden können, welche den Heizeffekt der vorhandenen Flächen herabdrücken. Diese Abzugsrohre können in die Kammern des Apparates A geleitet werden, wo die sonst verlorenen Dämpfe noch gute Verwerthung finden.

4) Da die ganze Anlage offenbar am besten und sichersten arbeitet, wenn eine annähernde Stetigkeit der Arbeit erreicht ist, so ist es — wie früher schon betont — durchaus rathsam, zwei Vakuen aufzustellen, damit das eine zu arbeiten beginnen kann, wenn das andere zum Ablassen der Füllmasse gelangt, oder schon, wenn letzteres bei zunehmender Dichte der Masse nur noch wenig Dampf aufnimmt.

5) Die Heizflächen des Verdampfers B_1 verhalten sich zu denen des Vakuums V umgekehrt, wie die in beiden Apparaten gewünschten Temperaturunterschiede zwischen den Heizdämpfen und den siedenden Flüssigkeiten; zugleich ist die Fähigkeit der Heizflächen Wärme zu übertragen strengstens zu beachten.

Die äußere Ansicht eines solchen Vakuums zeigt Fig. 86 (S. 142).
 A Füllmasse-Abflasse, B Brüden Dampf zum Kondensator, S Saftfänger,
 G Saftstandsglas, V Vakuummeter, l Schaulöcher, T Talpotasimeter,
 B Butterhahn, s Safteingugventil, W Wasserventil, A Ausdampfventil,
 L Luftventil, P Probehahn, D Ventile für Brüden oder Rückdampf,
 d Ventile für Kesseldampf, E Verbindungsstutzen zwischen Vakuum und
 Uebersteiger, H Heizkammer.

Eine namentlich in Bezug auf den Abfluß der Füllmasse etwas abgeänderte Einrichtung ist in den Figuren 87 und 88 (siehe Beilage 7) dargestellt. Die Buchstabenbezeichnung ist dieselbe wie bei den Figuren 84 und 85. Das Vakuum ist hauptsächlich bestimmt, mit Rück- und Saftdämpfen geheizt zu werden. Es hat einen hohen Steigerraum, erlaubt einen niedrigen Stand der kochenden Flüssigkeit und besitzt doch einen großen Fassungsraum. Die Heizfläche besteht aus kleinen 25—27 mm Durchmesser haltenden Rohren, welche in Schlangenzügen angeordnet sind. Der kleine Durchmesser der Rohre gestattet bei kleinem kubischen Raum der Heizvorrichtung große Heizflächen zu entfalten und diese Rohre setzen der Füllmasse beim Abfließen keinen großen Widerstand entgegen. Die Rohre sind zu demselben Zwecke etwa 100—150 mm auseinandergehalten, während die Schlangen des stehenden Vakuums, um große Heizflächen unterzubringen, so nahe als möglich zusammengeschoben sind. Außerdem sind die Rohre vertikal untereinander gelegt, um der Füllmasse vollständig freien Abzug zu gewähren. Die Heizvorrichtung ist derart angeordnet, daß man beliebig große Sube machen und dieselben beliebig lange kochen kann. Die Rohre sind nämlich in zwei, drei und vier Stufen vertheilt, je nach Größe des Vakuums, und man kann jede einzelne Stufe beliebig mit Rück-, Brüden- oder Kesseldampf heizen oder ganz absperren. Man kann somit den Sub allmählig wachsen lassen und in dem Maße, als er wächst, die folgenden Stufen in Thätigkeit versetzen. Die Heizfläche besteht aus Messingrohren, welche beim Heizen mit Brüden Dampf dem mitgeführten Ammoniak Widerstand leisten. Am schwierigsten wird bei dieser Art Vakuum die Einrichtung der Entleerungsvorrichtung, welche aber sehr einfach durch Anordnung von mehreren mit leicht beweglichen Deckeln versehenen Abflußöffnungen, welche in den beiderseits schräg zulaufenden Boden angebracht sind, gelöst erscheint.

Von der Metallwaarenfabrik in Wolfenbüttel, vormalig Bickert's, werden die Vakuumapparate in der in Figur 89 und 90 (Seite 144, 145) dargestellten Weise gebaut. Beide Figuren sind ohne Weiteres verständlich.



Fig. 89.

Die folgenden Figuren stellen einige der von C. Heckmann gebauten Vakuumeinrichtungen dar. Der Vakuum-Apparat Figur 91 (S. 146) hat einen gußeisernen Körper und ist in sehr großen Abmessungen (3500 mm Durchmesser) ausgeführt. Er dient dazu, um mit Abdampf zu kochen. Die sehr große Heizfläche ist durch Messingrohre gebildet, welche in Bronzeplatten sitzen; diese Rohre haben einen Durchmesser von 100 mm und zur Erzeugung einer guten Bewegung sind 7 sehr große Zirkulationsrohre angeordnet. Der Dampf wird durch ein 300 mm-Ventil zugeführt. Der

www.libtool.com.cn

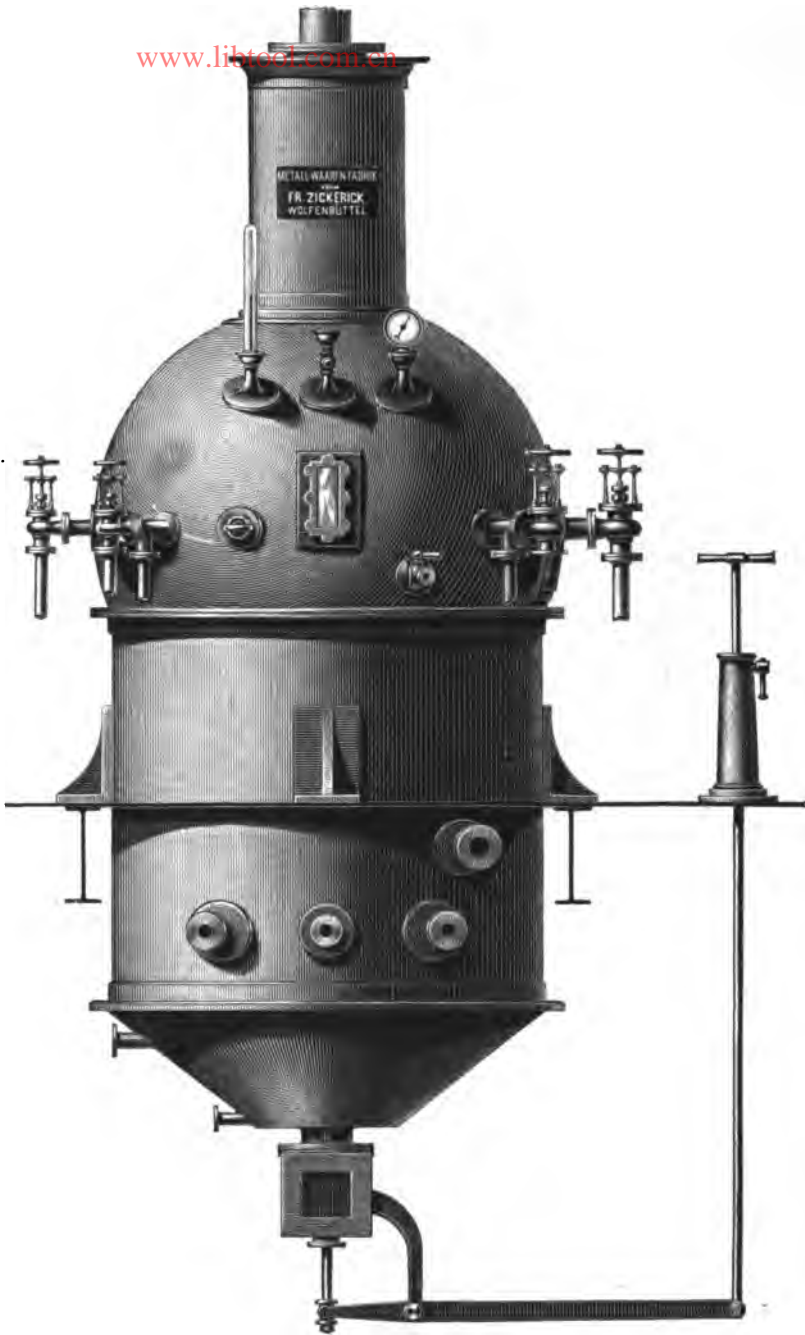


Fig. 90.

tiefe Unterboden trägt 2 kupferne Schlangen von 160 mm Durchmesser, um dieselben mit Abdampf zu heizen. Die Ablafsvorrichtung ist ein Schieber, welcher durch eine lange Schraube mit Sicherheit befestigt wird; die übrigen Theile des Apparates sind die üblichen.

Der schmiedeeiserne Vakuum-Apparat Figur 92 (Seite 147) ist mit hoher Zarge und hohem Dom versehen und hat ein Heizsystem von weiten

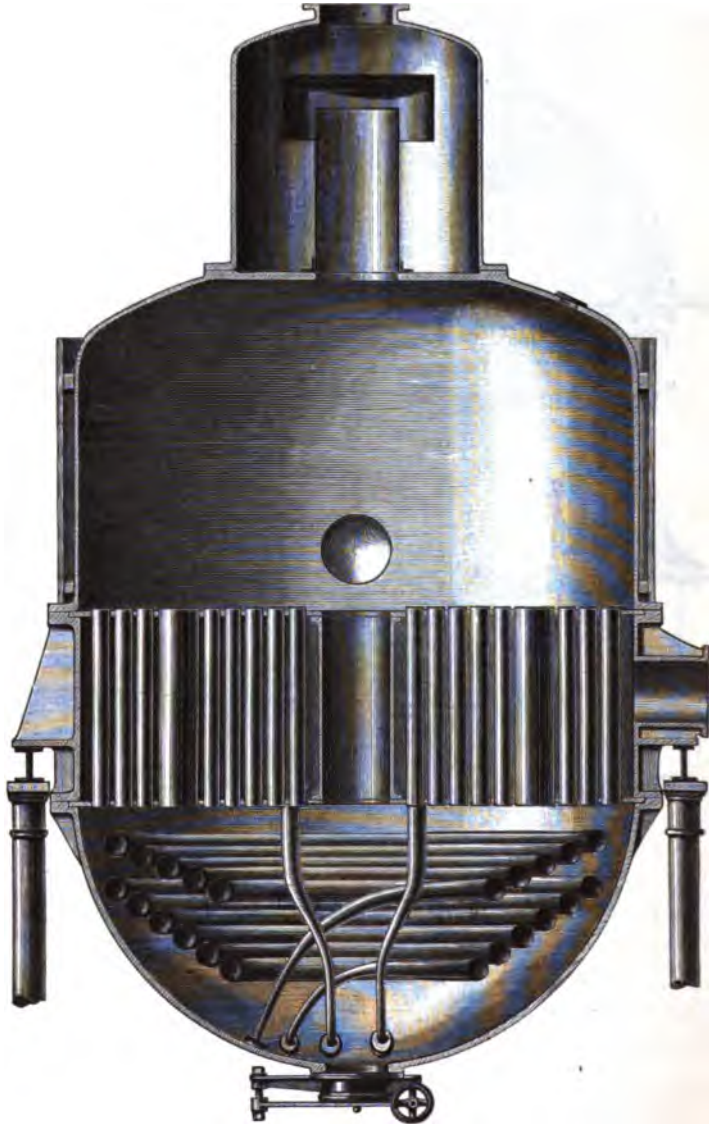


Fig. 91.

Messingrohren für Rückdampf oder für ein Gemisch von direktem und indirektem Dampf mit einer Spannung von höchstens 0,5 Atm. und ist mit kupfernem Doppelboden versehen, um die Masse auf dem Boden in Lösung zu erhalten. Die wesentlichste Neuerung besteht in der doppelten Einsaugvorrichtung zum abwechselnden Gebrauch, und zwar wird die Füllmasse sowohl oberhalb als auch unterhalb des Heizsystems in den Apparat eingezogen.

Die Leistungsfähigkeit der Apparate beträgt bei einer Dampfspannung von 0,3 Atm. etwa 5000 k fertig gekochte Brotfüllmasse in nicht ganz 2 Stunden, vorausgesetzt, daß die dazu verwandte Kochlauge mit 53° Brix eingezogen und die Konzentration bis auf 10% Wassergehalt gebracht wird.

Der kupferne Vakuum-Apparat Figur 93 (Seite 148) hat einen Doppelboden und zwei Verschraubungen, so daß man im Nothfall die Schlangen heraus-

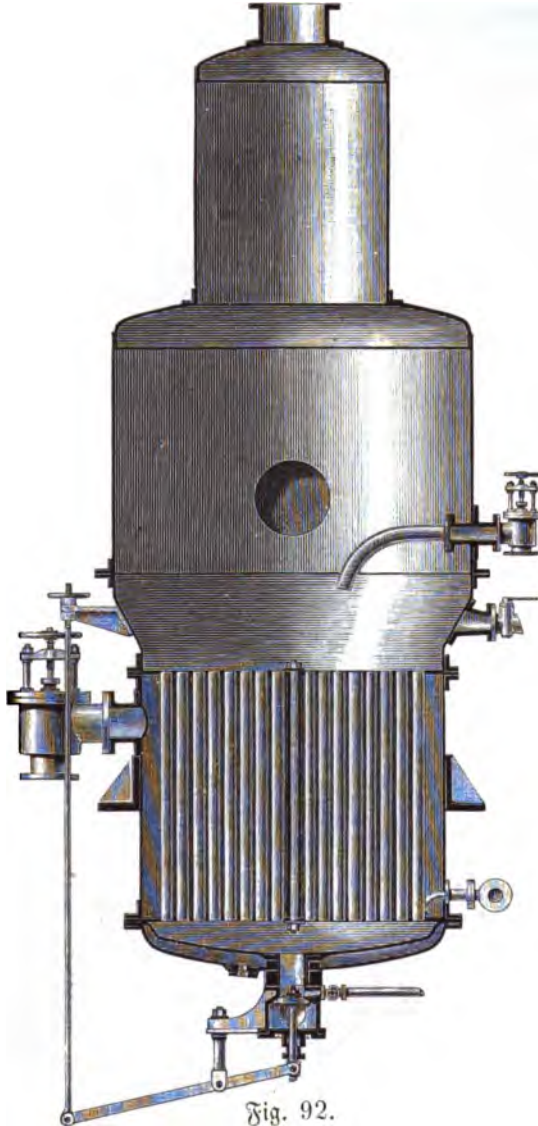


Fig. 92.

nehmen kann, ohne den Doppelboden zu lösen. Die Ablaufvorrichtung ist ein durch einen Hebel bewegter Schieber, welcher durch eine besonders angeordnete Schraube angeedrückt wird. Der Eingang wird durch ein zwei-

faches Ventil bewirkt, und die Dampfführung ist so eingerichtet, daß man den Dampf aus der ersten Schlange in die zweite Schlange, dann in die dritte und von da in den Doppelboden leiten kann, so daß man aber auch jede Schlange und den Doppelboden für sich heizen kann. Der Dampf tritt (Figur 94, Seite 149) durch das Rohr R nach Bedarf durch die Ventile E¹ E² E³ in die Schlangen und gelangt aus denselben durch die Ventile A¹ A² A³, wenn jede einzeln gespeist wird. Für den Fall, daß der Dampf aus einer Schlange in die andere treten soll, wird nur das Ventil E¹ geöffnet; der Abgang derselben geht durch das Rohr a¹ in das Ventil e² in die zweite Schlange, aus dieser durch das Ventil a² und das

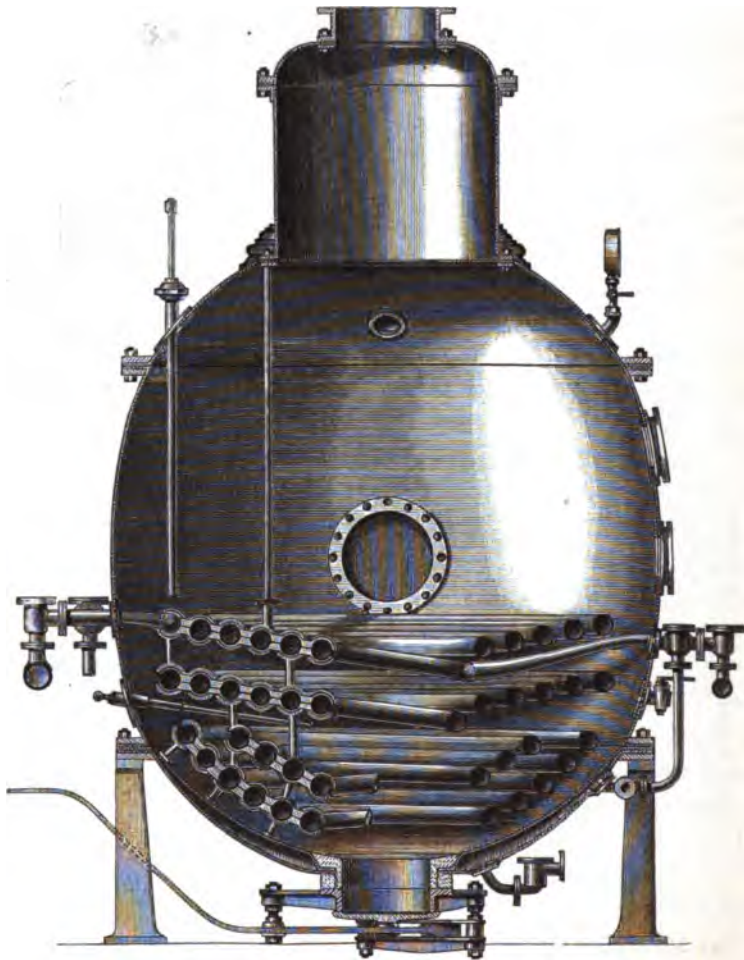


Fig. 93.

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

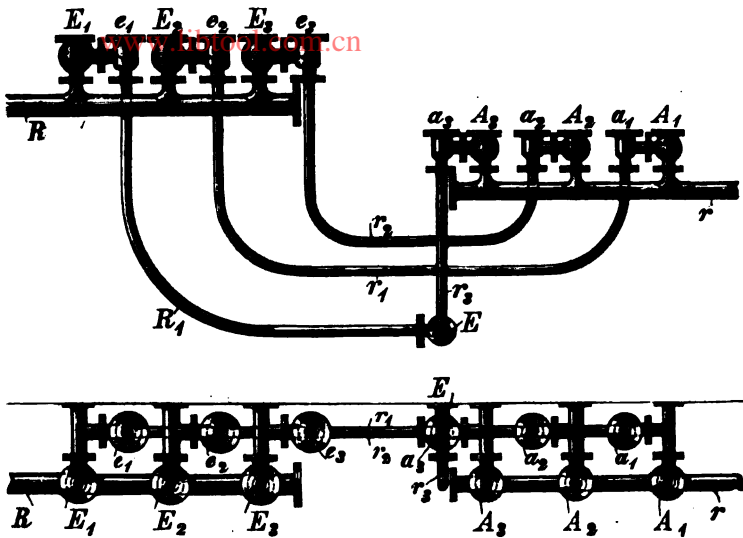


Fig. 94.

Ventil e^3 in die dritte Schlange, aus der dritten Schlange durch das Ventil a^3 in den Doppelboden E. Wie die Zeichnung verdeutlicht, kann man aber auch Kesseldampf für zwei Schlangen anwenden und aus der zweiten den Abdampf in die dritte Schlange und den Doppelboden leiten, oder man kann drei Schlangen mit Kesseldampf speisen und den Abdampf in den Doppelboden leiten.

Ein Sirup-Vakuum mit 50 Quadratmeter Verdampfungsfläche nach Wellner-Jelinek zeigen die Figuren 95 und 96 (siehe Beilage 8). F Dom, V Vakuummeter, H Heizkammern, K Verdampfkörper, R Heizrohre, T Tragfüße, Da Heizventile für Kesseldampf, Dr Heizventile für Rückdampf, C Kondensationswasserablaß, L Luftventil, M Mannloch, S Schauloch, B Brühdampfabzug, W Schmutzwasserablaß, P Talpotafimeter, s Füllmasseablaß, z Saftstandzeiger.

Der Bedingung, das Vakuum mit Saftdämpfen zu beheizen, welche ihrer geringen Spannung wegen einen bis dreimal größeren Raum für die Gewichtseinheit einnehmen als die bis dahin benutzten direkten Kesseldämpfe, konnten die Schlangen, wie sie Jahrzehnte hindurch als Heizkörper verwendet wurden, nicht mehr Genüge leisten. Es ist unmöglich, Schlangen in gewohnter Ausdehnung mit Dämpfen von geringer Spannung zu füllen.

Dazu kommt, daß die Schlangen zu wenig Heizfläche in Anbetracht des geringen Wärmeunterschiedes zwischen Heizdampf und Füllmasse bieten,

und daß sie im Verhältniß zu ihrer Fläche einen großen Raum einnehmen, auch in ihrer Gestaltung der sich bewegenden oder abfließenden Masse einen zu großen Widerstand bieten.

So ist es denn natürlich, daß die Erbauer von Vakuum-Apparaten sämmtlich darauf hinausgehen, diese Mißstände zu meiden. Wir finden also verzweigtere, sich oft wiederholende Dampf-Eingänge und Wasser-Ausgänge, wesentlich größere Heizflächen in Röhren von kleinerem Durchmesser, und in geschickterer, den Ansprüchen angepasster Anordnung der Röhre selbst.

Die Apparate selbst haben theils die alte Form als Zylinder mit Konusboden beibehalten, theils haben sie eine Kofferform in länglich-viereckigem Grundriß angenommen.

In den Heizkörpern finden wir vertikale, schräg- und horizontal-liegende gerade Röhre, kurz gewundene Schlangen, und Bogen- und Kreisröhre, sämmtlich in Anordnungen, welche die oben gerügten Fehler der alten Konstruktion vermeiden. In den folgenden Figuren führen wir Darstellungen von neueren Vakuum-Apparaten vor, zu denen wir einige Bemerkungen über ihre Eigenart beifügen, ohne uns auf eine Beschreibung der Einzeltheile oder gar auf eine Kritik über dieselben einzulassen.

Vakuum Figur 97 (S. 151) mit vertikalen Rohrkörpern (W. Greiner, D. R. P. 31022). Je drei parallele Röhre von etwa 40 mm Durchmesser sind zu einem Elemente vereinigt. Diese letzteren stehen konzentrisch auf Kreisröhren, und werden ebenso von Kreisröhren gedeckt. Die Verbindung mit den unteren Kreisröhren ist durch Verschraubungen, diejenige mit den oberen durch Stopfbüchsen hergestellt.

Die oberen Röhre, nachförmig zugespitzt, sind die Dampfrohre; sie vertheilen den Heizdampf in die einzelnen Heizkörper. Die unteren Röhre sammeln das Kondenswasser und führen es durch hohle Streben, welche dem ganzen Heiz-Apparat zugleich als Stützen dienen, in den Doppelboden oder in Kreiskanäle ab.

Vakuum Figur 98 (S. 152) mit vertikalen Schlangenkörpern (W. Greiner, D. R. P. 31022, konstr. von Gebr. Forstreuter).

Kurzwundene eiserne Schlangen stehen mit ihren Dampfeingangs- und Wasserausgangs-Stützen auf Kreiskanälen, welche paarweise die Unterseite des Bodens umziehen. Der Heizdampf tritt, aus dem betreffenden Kanale durch ein vertikales Rohrstück geleitet, welches außerhalb der Schlange und parallel derselben aufsteigt, in den oberen Theil jeder Schlange ein; das Kondenswasser ergießt sich in den Nachbarkanal.

Vakuum Figur 99 (S. 153) mit schrägen Rohrkörpern (W. Greiner, D. R. P. 31022, Zusatz).

www.libtool.com.cn

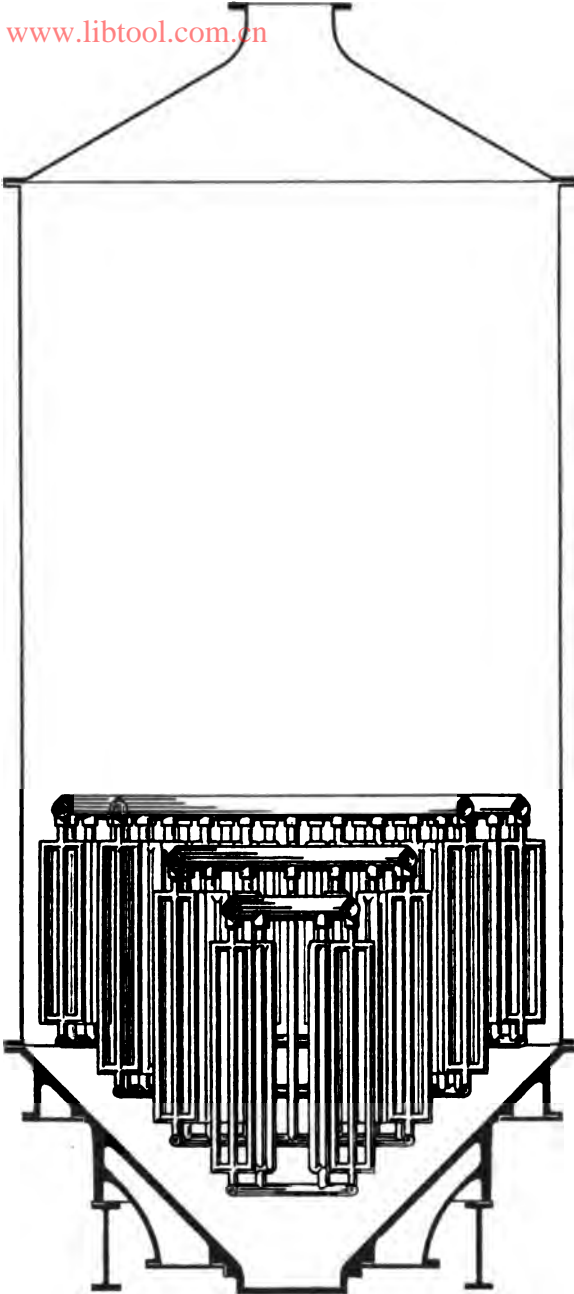


Fig. 97.

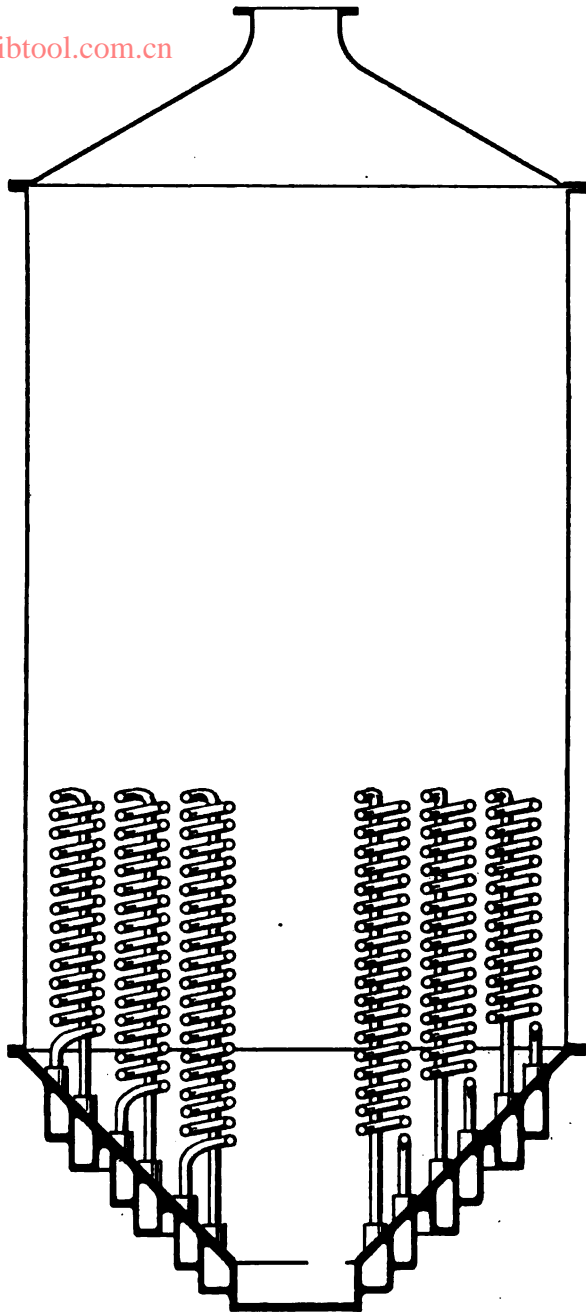


Fig. 98.

www.libtool.com.cn

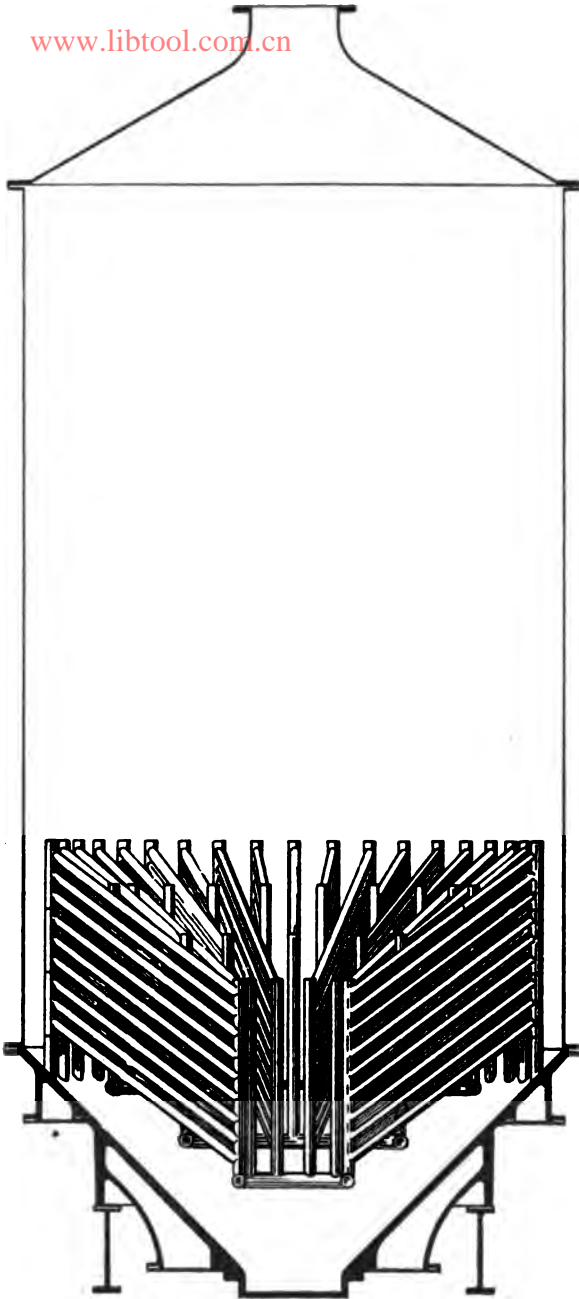


Fig. 99.

In der Richtung der Rabien aufgestellte und schräg nach der Axe des Vakuums zu abfallende Rohrkörper bilden den Heiz-Apparat. Die Rohrkörper haben gleiche Höhe, jedoch je nach Lage verschiedene Länge; sie haben aber alle ihren Ursprung in einem äußeren Kreise auf dem Boden des Vakuums. Aus einem Ringkanale, welcher diesem Kreise entsprechend unter dem Boden angebracht ist, strömt allen Heizkörpern der Dampf zu, während das Kondenswasser in dem gemeinschaftlichen Doppelboden abfließt.

Die drei genannten Heizkörper-Gattungen haben, wie ersichtlich, keine Stufen- (Stagen-) Heizung; ihre Ausdehnung nach oben ist daher eine beschränkte. Die eigentlichen Heizrohre liegen innerhalb desjenigen Raumes im Vakuum, welcher durch den dritten Theil des späteren fertigen Sudes ausgefüllt wird. Die in diesen Körpern entwickelte große Heizfläche ist, selbst unter der genannten Beschränkung, wie die Erfahrung gelehrt hat, durchaus genügend, um Rohrzucker und Raffinade auch mit schwachgespannten Dämpfen, Maschinenab dampf und Saftdampf, in zweckmäßiger Weise herzustellen.

Sollen jedoch besonders große Kristalle erzielt werden, so muß das zuerst eingenommene Saftquantum kleiner bleiben, damit nur eine verhältnißmäßig geringere Anzahl von Kristallen für spätere Vergrößerung gebildet wird. Hiermit würde eine weitere Erniedrigung der ersten Saftoberfläche, also auch der Höhe der Heizkörper verbunden sein, und die Heizfläche würde zu klein ausfallen.

Diesem Uebelstande zu begegnen giebt es nur das Mittel, daß man mehrere Heizkörperschichten anordnet, welche nach einander mit wachsender Saftmenge in Betrieb gesetzt werden. Vertikale Körper lassen sich dazu nicht verwenden; dagegen giebt die folgende Konstruktion das Erwünschte.

Vakuum Figur 100 (S. 155) mit Stagenheizung (Stufenheizung) in Kreisrohren (W. Greiner, D. R. P. 50603).

Der Heiz-Apparat besteht aus horizontal- oder schwachgeneigt-gelagerten Halbkreisrohren, welche aus einem vertikalen Rohrstücke zu je zwei entspringen, und gegenüber in ein ebensolches einmünden, so daß diese zwei einen geschlossenen Kreis mit zwei Knoten bilden. Diese Kreisrohre liegen über und konzentrisch in einander, und zwar, wie erwähnt, der Höhe nach in zwei oder mehreren Gruppen.

Die unterste Gruppe, welche vom vierten Theile des späteren fertigen Sudes bedeckt werden soll, wird mit halbgeöffnetem Dampfventile zuerst beheizt. Mit zunehmendem Saft und entsprechendem Saftstande wird die zweite Gruppe bei vermehrter Oeffnung des Dampfventils in Thätigkeit gesetzt, u. s. w., wenn mehr als zwei Gruppen (die Zeichnung zeigt nur zwei) vorhanden sind.

www.libtool.com.cn

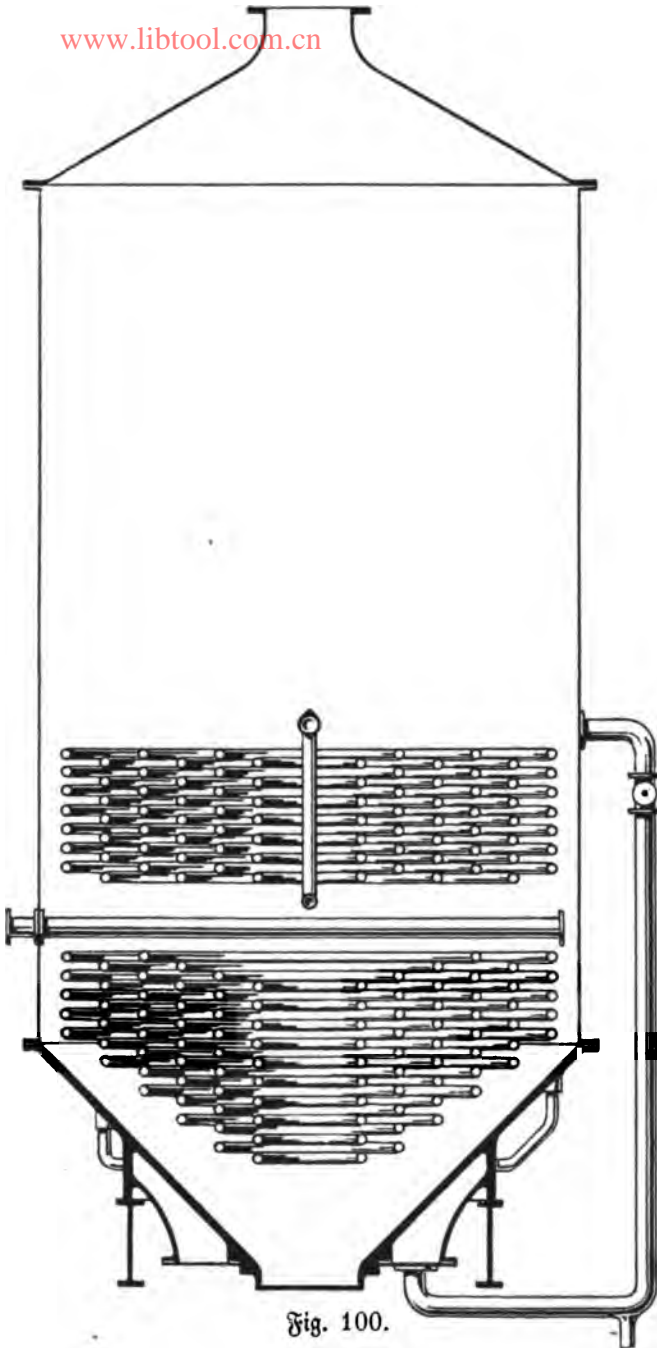


Fig. 100.

Der gesammte Heizdampf geht unter allen Umständen, auch wenn die höher gelegenen in Thätigkeit sind, durch die unterste Gruppe von Röhren. Der in letzterer nicht verbrauchte Dampf tritt aus dieser in die höheren ein, nach Absonderung des Kondenswassers, welches in einen Kondenswassertopf abfließt.

Durch Stellung der Dampfventile, welche zwischen jeder Gruppe angebracht sind, kann die Temperatur in dem einzelnen Gruppen so geregelt werden, daß sie der Schwere der Saftsäule entspricht, durch welche das Sieden an dieser Stelle beeinflusst wird.

Um auch innerhalb der einzelnen Gruppen eine gleichmäßige Wärmeabgabe zu erreichen, sind die vertikal übereinander liegenden Kreisrohre, welche gewissermaßen eine zylindrische Wand bilden, abwechselnd von links nach rechts mit Dampf beschickt. Ist z. B. der äußerste Kranz dieser Rohre von rechts aus geheizt, und giebt links das Kondenswasser ab, so ist der zweite Kranz von links beheizt, und das Kondenswasser fließt rechts ab, u. s. w. Die Dampfvertheilung ist danach eine vollkommene. —

Die Vakuen von Wellner-Jelinek, Vega und Kasalowsky haben Kofferform mit unteren Mündungen in Gestalt einer umgekehrten Pyramide, welche die (abgestumpfte) Spitze nach unten kehrt. Die längliche Grundrißform dieser Apparate bedingt eine größere Anzahl, drei, auch vier, solcher Abflüsse, die für den Fall von Vortheil werden, wenn die Füllmasse in große Kasten oder in Maischen, welche einen ganzen Sud fassen, abgelassen wird. Beim Abfüllen der Masse in Schützenbach'sche Kasten von mehr oder weniger Inhalt könnten alle Abflüsse nicht zugleich benutzt werden, ihr Vortheil ginge verloren, und nur ihre Unbequemlichkeit bliebe übrig.

Die beiden erstgenannten Vakuen haben nur horizontale Heizrohre das letztere hat auch krumme, kreisgebogene. Im Wesentlichen unterscheiden sie sich wenig von einander: sie haben eine etwas verschiedene Form betreffs des Bodens und der Ablaufvorrichtungen und deren Beheizungsunterschiede, welche wir an dieser Stelle nicht verfolgen können; sie haben ferner, was uns mehr interessiert, eine verschiedene Dampfvertheilung im Rohrsystem. Die neueren Konstruktionen berücksichtigen natürlich mehr die Benutzung von Saftdampf, und aus dieser Dampfverwendung sind Einzeltheile hervorgegangen, für welche früher keine Ursache zu finden gewesen wäre.

Die Dampfführung in den Wellner-Jelinek'schen Vakuen ist dieselbe wie in den Verdampf-Apparaten, welche unter gleichem Namen bekannter sind; sie ist nur in soweit geändert, als die Form des Vakuum-Untertheils eine Verschiebung der Heizkammern bedingte.

In Figur 101 geben wir einen Schnitt durch die Heizkammer des vorderen Siebels des Vera'schen Vakuums. In den Zwischenwandungen der Heizkammer sehen wir Unterbrechungen, welche von Ventilen besetzt werden. Wenn die eine (linke) Seite der Kammer mit einer anderen Dampfquelle in Zusammenhang steht, als die andere (rechte) Seite der Kammer, so kann durch Oeffnung des Ventiles in der vertikalen Scheidewand der Dampf der einen Seite auf die andere Seite, deren äußerer Dampfzufluß gesperrt ist, übertreten. So wird es möglich, mit gleichen oder verschiedenen Dämpfen zu derselben Zeit zu heizen.

Die oberste Kammer kann zu Beginn des Subes durch Ventile, welche in der oberen horizontalen Zwischenwand liegen, abgesperrt bleiben; sie tritt in Thätigkeit, wenn die bezeichneten Ventile geöffnet werden, was zu geschehen hat, so bald der Saft bei steigender Höhe die Rohre dieser Kammer bedeckt. Die Dampfbewegung geht also richtig von unten nach oben. Die unterste Kammer wird für sich, ohne Zusammenhang mit den höher gelegenen Abtheilungen, mit Dampf beschickt. —

Das Rasalowsky'sche Vacuum besteht eigentlich aus mehreren kleinen selbstständigen Vakuen, welche mit gemeinschaftlichen Wandungen nebeneinander stehen. Die ursächliche Begründung dieser Konstruktion ist die von uns zuvörderst gestellte Forderung, die Dampfenahme aus den Kesseln oder Verdampfkörpern, welche den Heizdampf liefern, zu einer möglichst gleichmäßigen zu machen.

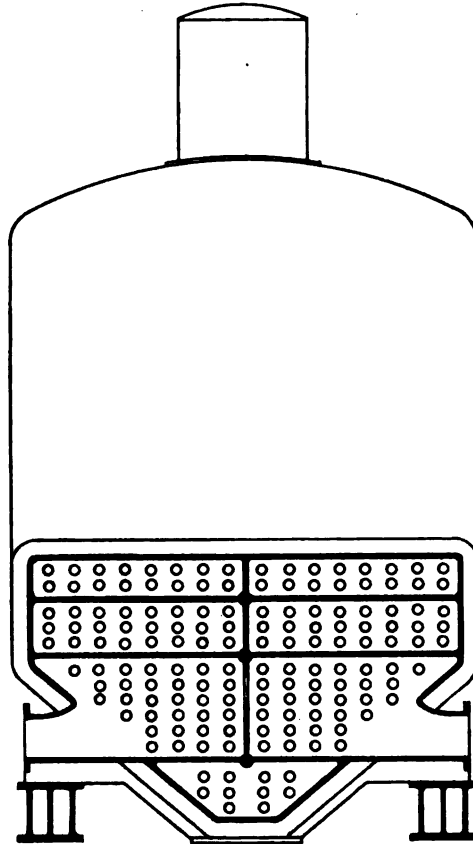


Fig. 101.

Wir empfehlen an betreffender Stelle mehrere einzelne Vakuen, Kasalowsky bietet in seiner Konstruktion mehrere ganz selbstständige Abtheilungen, die nach äußerer Erscheinung einen einzigen Körper bilden, der dann ein Vakuum genannt wird, während es in Wahrheit mehrere sind.

Die Zeichnung (Figur 102) giebt nur scheinbar eine Siebelwand des Vakuums; faktisch ist es eine Längswand einer der einzelnen Ab-

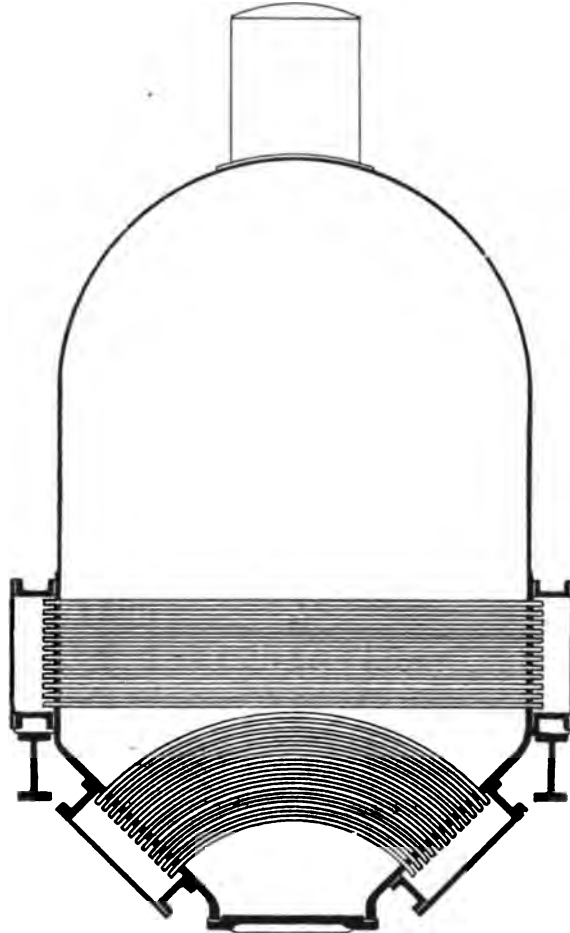


Fig. 102.

theilungen, deren man sich mehrere hintereinander (von geringerer Tiefe als Breite) zu denken hat. Die Hülfsheile wiederholen sich also so oft, als Abtheilungen vorhanden sind; sie liegen nach der Zeichnung also links und rechts.

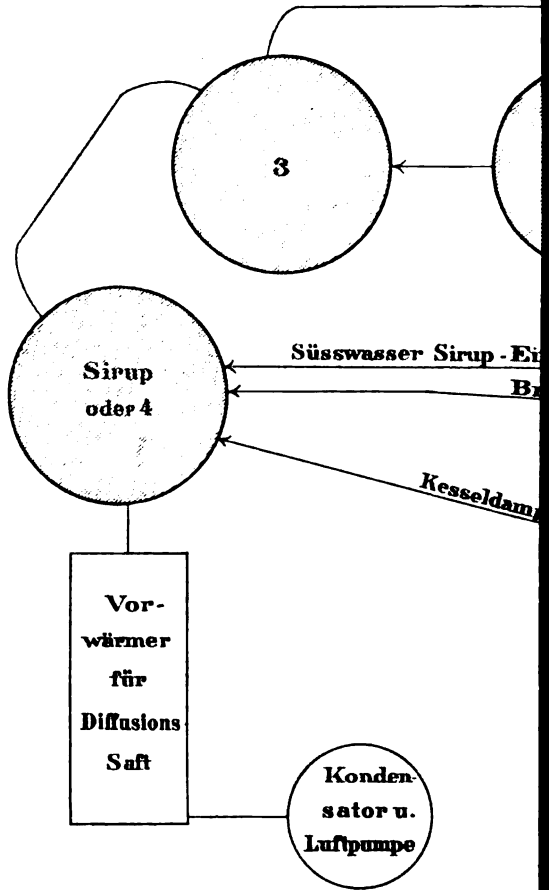
www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

70 3000
AUSCHLAG

Ausschlagtafel 13.



Die Subperioden der einzelnen Abtheilungen fallen ineinander, so daß also eine annähernde Stetigkeit in der Gesamt-Arbeit und in dem Dampf-Verbrauch erreicht ist. Rohrverbindungen gestatten ein Herübernehmen des Saftes aus einer Abtheilung in die andere, d. h. aus einem Vakuum in das andere.

Diese Art zu arbeiten mit mehreren, wenigstens zwei, Vakuen ist ohne Zweifel die richtige. Es findet sich auch im Vera'schen Vakuum der Vorschlag zu einer Theilung, die dasselbe bezweckt; aber hierbei ist der Dampfraum für alle Abtheilungen ein gemeinschaftlicher. Selbstständige ganz geschlossene Abtheilungen, d. i. selbstständige Vakuen verdienen gewiß den Vorzug.

VI. Zusammenstellungen von Verdampfsystemen.

Solche sind im Vorhergehenden schon mehrfach dargestellt und beschrieben worden, so namentlich auf den Seiten 131, 135, und 136. Hier sollen noch einige besonders gekennzeichnet, zur Vervollständigung des bereits Angeführten kurz beschrieben, und durch einfache Zeichnungen in der Hauptsache erläutert werden.

1) Verdampfstation Dreikörper, beziehungsweise Vierkörper; sparsame Anwendung von Kesselampf (Figur 103), unter der Voraussetzung, daß wegen richtig angelegter Maschinen der Rückampf nicht ausreicht.

In diesem Falle empfiehlt sich, wie in der Figur angedeutet, 3fache Benugung des Rückampfes und 4fache des Kesselampfes. Letzterer wird für den kleineren Körper 1 angewendet, dessen Brüden dann mit dem Rückampf zugleich den Körper 2 und so weiter heizt, so daß der Kesselampf, wie es seiner Beschaffenheit und seinem Drucke zukommt, eine Benugung mehr erfährt.

Körper 4 ist in zwei Theile getheilt. Der Saft aus der ersten Hälfte geht zu den Filtern, dann von diesen in die zweite Hälfte und, weiter eingedickt, zum Vakuum.

Alles übrige, die Verwendung der letzten Brüdenämpfe zum Anwärmen u. s. w. ist aus der Zeichnung zu ersehen. (Siehe Ausschlagetafel 12.)

2) Einrichtung der Verdampfung für Getrennthaltung der Süßwasser bei Knochenkohlenfiltration. Fig. 104 stellt einen Verdampfapparat dar, welcher außer den Körpern 1, 2, 3 für Dünnsaft, den Körper 5 für Süßwasser und 4 für Sirup oder als 4. Körper enthält. Der Brüden von 5 geht mit dem Rückampf zusammen nach 1; dieser Körper wird

allein mit diesen beiden Dämpfen erhitzt. Man kann aber auch 5 mit Rückdampf heizen und in diesem Falle den Brüden von 5 nach 2 führen.

Die Brüden von 3 heizen den Sirupkörper 4, in welchen von Zeit zu Zeit das zum Sirup eingebrachte Süßwasser zugezogen wird.

Im Fall die Rückdämpfe für 1, sowie die Brüden für 4 nicht ausreichen, kann durch Oeffnen der Ventile b und c Kesselbampf hinzugenommen werden. Ist kein Süßwasser zu verdampfen, so bleibt 5 außer Benutzung. Ist kein Sirup zu verdampfen, so dient der Sirupkörper als vierter für Saft. Die Brüden von 4 wärmen Diffusionsaast vor. (Siehe Ausschlagetafel 13.)

3) Darstellung der wiederholten Verwerthung der Dämpfe, auch zum Vorverkochen im Vorvakuum. Verwendung des Brüdenwassers und des Kondensationswassers.

Der Kesselbampf wird in so fern hinzugenommen, als der Maschinenbampf nicht für 1 ausreicht; er wird in besonderer Heizkammer, mit und für Kesselbampf bestimmten Röhren benutzt. Von 1 wird der Brüden zum Vorvakuum oder für die Kalorisatoren der Diffusionsbatterie entnommen. Die Benutzung der Brüden aus 3, sowie die des Brüden- und des Kondensationswassers ist aus der Zeichnung ersichtlich. (Siehe Figur 105, Ausschlagetafel 14.)

4) Ueber die Greiner-Pauly'sche eigenthümliche Zusammenstellung siehe oben Seite 136 und Figur 79.

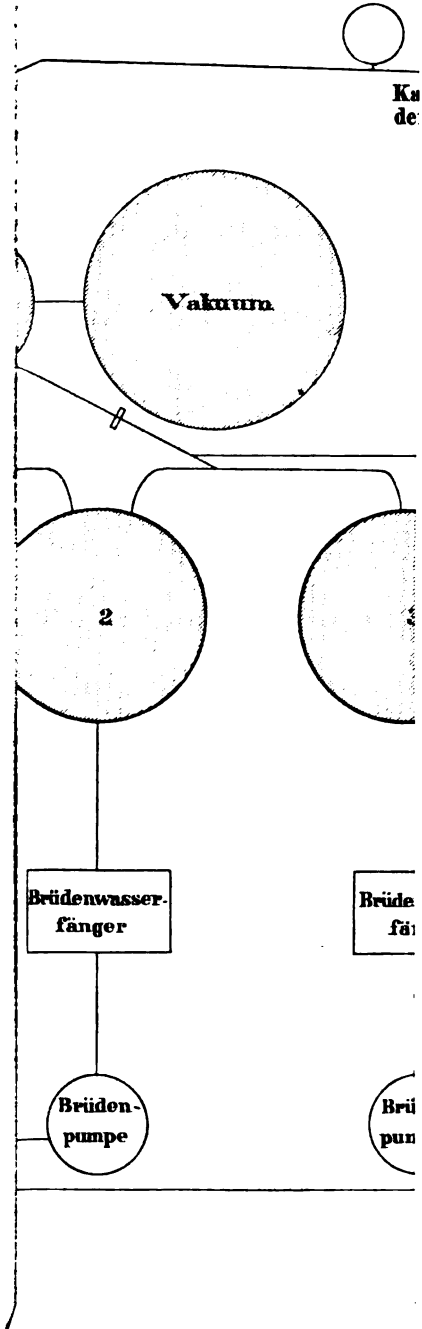
5) Sogenanntes System Millieur*)

Die maßgebende Patentbeschreibung (D. R. P. 15596), wonach dieses System zu beurtheilen ist, sagt darüber u. a.:

Bei den aus mehr als drei Körpern zusammengesetzten Apparaten bedarf man Kesselbampfes, den man in den Dampfgenerator für abgehenden Maschinenbampf u. s. w. leitet, von welchem aus der erste Körper gespeist wird. Wird nun zu viel frischer Dampf in diesen Dampffammler eingeführt, so ist die Folge hiervon, daß der Gang der Betriebsmaschinen verlangsamt wird oder letztere sogar ganz stehen bleiben. Um diesen Uebelständen abzuhelpfen, versieht der Erfinder jenen Dampffammler mit einem Regulirventil, welches die Maximalquantität des auszunutzenden Dampfes regulirt. Dieses Ventil verhindert, daß der Unterschied zwischen den Spannungen des Dampfes auf den beiden Seiten der Kolben unter einen gewissen Punkt herabsinkt. Der frische Dampf geht zu diesem

*) Ueber das Geschichtliche desselben und anderweitige Beurtheilung siehe Stammer's Lehrbuch, 2. Aufl. S. 775 ff. Ueber die Patentfähigkeit sei auf das Urtheil des Reichsgerichtes (s. Jahresbericht 29, S. 35) hingewiesen.

Fig. 105.
www.libtool.com.cn



www.libtool.com.cn

Zwecke vor seinem Eintritt in den Dampffammler durch dieses Ventil, welches sich nur dann öffnen kann, wenn die Spannung in den Dampfkesseln die Grenze übersteigt, welche durch den guten Gang der Betriebsmaschinen bedingt ist. Man kann durch Hoch- und Niedrigschrauben der Schraube den mehr oder weniger großen Eintritt des Dampfes reguliren.

(Dieses Regulirventil kann auch anstatt zur Linken des Dampfsammlers auf dem Ventilkörper des Einlaßventiles angebracht werden, welches den Dampf in den ersten Körper leitet.)

Da der erste Körper den Dampf für den übrigen Theil des Verdampfapparates liefert und mit den Rückdämpfen der sämtlichen Betriebsmaschinen geheizt wird, so bewirkt der Erfinder die Ableitung des Kondensationswassers aus den Heizschlängen des Vakuum-Kochapparates in folgender Weise. Die Heizschlängen sind an ihrem Austritte mit Absperrventilen versehen und mit einem gemeinschaftlichen Abzugsrohr verbunden, dessen anderes Ende mit einem von dem unteren Ende des Heizraumes des ersten Körpers ausgehenden Rohre in Verbindung steht.

Auf diese Weise wird der geringe Ueberschuß an Dampf, welcher etwa mit dem Kondensationswasser aus den Heizschlängen des Kochapparates entweichen sollte, zum Heizen des ersten Körpers mit verwendet, während das Kondensationswasser aus den Heizschlängen des Kochapparates mit dem Brüdenwasser des ersten Körpers vereinigt, durch ein mit Absperrventil versehenes Rohr in das Reserveroehr gelangt, welches mit der Speisepumpe für die Dampfkessel in Verbindung steht. Benutzt man den Vakuum-Kochapparat allein, ohne den Dreikörper-Verdampfapparat, so sperrt man die Verbindung der Heizschlängen des ersteren mit der Heizkammer des ersten Körpers mittelst eines Dreiweghahns, welcher dann die Heizschlängen direkt mit dem Behälter für die Speisepumpe verbindet.

Außerdem erfolgt der Austritt des Brüdenwassers aus dem ersten Körper, sowie der des Kondensationswassers aus dem Dampffammler direkt in den Behälter für die Speisepumpe. (Die weitere Einrichtung für diese Brüden- und Wasserleitungen sind für das System nicht eigenthümlich.)

Der Vakuum-Kochapparat wird gleichfalls durch dem Dampffammler entnommene Rückdämpfe gespeist; dieselben gelangen durch die Brüdenleitung nach dem Vertheilungsrohr für die Heizschlängen und ihre Zuströmung wird durch ein Ventil regulirt. Aus dem Vertheilungsrohr treten die Dämpfe in eine oder die andere der drei bis vier Heizschlängen des Kochapparates. Man kann jedoch auch in gleicher Weise den im ersten Verdampfkörper erzeugten Dampf zum Kochen benutzen; zu diesem Zwecke ist das bezeichnete Vertheilungsrohr mit demjenigen Rohre verbunden,

welches die Saftdämpfe aus dem ersten Körper in den Uebersteiger leitet welcher zwischen dem ersten Körper und der Heizkammer des zweiten Körpers eingeschaltet ist. (Das in der Figur 106 mit Brüdenleitung bezeichnete Rohr setzt also den Dampfraum des ersten Körpers mit den Heizschlangen des Vakuums in Verbindung; hierin liegt das „Eigenthümliche“ des Systems.)

Die Vakuum-Kochapparate mit Heizschlangen haben nur eine kleine Heizoberfläche, sind aber im Stande eine große Menge Dicksaft aufzunehmen.

Um nun das Kochen in dem Drei-Körperapparat mit diesen Apparaten vorzunehmen, bedarf man in dem ersten Körper einer großen Dampfspannung bis auf $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ Atmosphären und manchmal auch mehr, je nach den Dimensionen der Heizschlangen. Unter diesen Umständen wird das Vakuum in dem zweiten Körper sehr gering und selbst Null. Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß diese Temperatur in dem Apparat keinen schädlichen Einfluß auf die Beschaffenheit des Zuckers ausübt.

Man regulirt die Spannung, indem man in den Dampffammler des Dreikörperapparates eine genügende Menge Kessel Dampf einführt, jedoch nur soviel, daß der Gang der Betriebsmaschinen nicht schädlich beeinflusst wird. Die Spannung in diesem Dampffammler kann mitunter auf eine Atmosphäre oder mehr steigen. (Dies ist eine unausbleibliche Folge obiger „Eigenthümlichkeit“.)

Die Fortleitung des Kondensationswassers des zweiten und dritten Körpers erfolgt für gewöhnlich durch eine doppelwirkende Pumpe, deren auf einem Zylinderende liegenden Ventile einem der beiden Körper entsprechen. Diese Pumpen sind aber im Allgemeinen zu klein. Der Erfinder verwendet nun folgendes System:

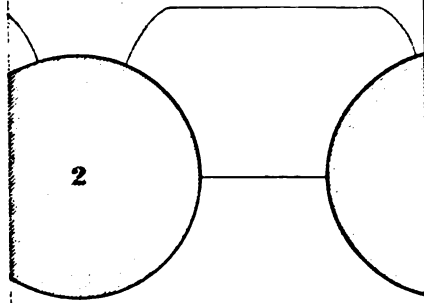
Das Kondensationswasser des ersten und zweiten Körpers fließt in einen gußeisernen Kasten, mit zwei Abtheilungen; die linke a ist für das Kondensationswasser des zweiten Körpers bestimmt und einen Schwimmer b, welcher auf eine Drosselklappe c wirkt, die dazu bestimmt ist, die Verbindung der Abtheilung a mit der Abtheilung d herzustellen oder abzubrechen. In diese zweite Abtheilung d fließt das Kondensationswasser des dritten Körpers und von dem untern Ende dieser Abtheilung zweigt sich das nach der Pumpe führende Rohr e ab. Außerdem steht die Abtheilung a durch ein Rohr mit dem Saftfänger des zweiten Körpers, die Abtheilung d durch ein Rohr mit dem Kondensator in Verbindung. Zwei Regulirabsperrentventile L und i reguliren den Eintritt des Kondensationswassers in die Abtheilungen des Kastens J, während die beiden anderen Absperrentventile f und g dazu dienen, den Abgang des Dampfes aus den Abtheilungen zu reguliren.

www.libtool.com.cn

UNIV. OF
CALIFORNIA

Fig. 106.

Brüdenleitung



Rückdampfleitung

Sobald das Wasser in der ersten Abtheilung a bis zu einem gewissen Punkt gesunken ist, speert der Schwimmer b die Verbindung zwischen den beiden Abtheilungen, während anderseits diese Verbindung wieder hergestellt wird, wenn in der Abtheilung a in Folge größerer Ansammlung von Kondensationswasser eine Entleerung dieser Abtheilung nothwendig sein sollte. Der Schwimmer gestattet somit niemals, daß das Wasser in dieser Abtheilung tiefer sinkt, als das Verbindungsrohr zwischen den beiden Abtheilungen, in Folge dessen niemals Dampf durch diese Verbindung aus der einen in die andere Abtheilung gelangen kann, während eine einzige Pumpe für die Entleerung beider Abtheilungen genügt.

Die vordere Seite des Kastens ist abnehmbar, um die Aufstellung zu erleichtern, und kann auch durch eine Glasscheibe ersetzt werden, welche gestattet, die gute Arbeit des Apparates in jedem Augenblicke zu überwachen.

Um den Maximaleffekt der so modifizirten Apparate zu erhalten, bedarf man eines bedeutenden Vakuums in dem letzten Körper. Man begegnet auf diese Weise bei der Kondensation der Dämpfe, welche den Dreikörperapparat verlassen, Schwierigkeiten, welche bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen unbekannt sind. Während nämlich bei letzteren ein ziemlich zertheilter Wasserstrahl bereits ein ausgezeichnetes Vakuum erzeugt, giebt im Gegensatz hierzu eine selbst bedeutend ausgebreitete Wassergarbe in dem Kondensator des Dreikörperapparates nur ein schwaches Vakuum.

Die Zeichnung Figur 106 auf Ausschlagetafel 15, welche nur die wesentlichen Theile eines so eingerichteten Apparates begreift, wird deren Aufstellung klarer nachweisen und zugleich darthun, welche Theile dem System zugeschrieben werden können, nämlich die Bräudenwasserleitung von 1 nach dem Vakuum und einiges andere.

Verbindet man die in den Patenten beschriebenen Verfahren, so läßt sich im Wesentlichen der Schwerpunkt des „Millieur-Verfahrens“ dahin bezeichnen, daß Millieur die Leistungsfähigkeit der Verdampfapparate durch Vermehrung der Rückspannung des Maschinen-Abdampfes zu erhöhen strebt, und daß er auf diese Weise einen Dampf erhält, welchen er wiederholt verwendet.

Mit den so gespannten Dämpfen heizt er nun die Dampfschlängen des Kochapparates, natürlich nur so lange, als ein Temperaturunterschied sich erzielen läßt, denn das Fertigtochen muß doch mit Kessel- oder mit gespanntem Rückdampfe geschehen. Dieses ist eine Thätigkeit des Vakuums als Zweikörper, beziehungsweise als Dreikörper, weil im Anfange, so lange der Saft noch dünn ist, aus dem zweiten Körper des Verdampfungs-Drei- oder Vierkörpers der Bräudendampf zum Heizen des Vakuums genommen wird.

Ferner verwendet Millieur die Brühdämpfe des ersten und zweiten Körpers zum Anwärmen der Diffusions- und Saturationsfäße, indem er die Kalorifaktoren der Diffusion und die Vorwärmegefäße zur Saturation mit dem Brüden des ersten, beziehungsweise des zweiten Körpers eines Verdampfapparatsystems heizt. In Folge dessen wird ein bereits benutzter Dampf nochmals dienstfähig gemacht.

Dies ist vielleicht als neu und dem Millieur-Verfahren eigen zu bezeichnen, denn nur die Brühdämpfe der letzten Körper wurden zu dergleichen Zwecken schon früher verwendet. Doch ist wohl zu bemerken, daß diese vorzeitige Hinwegnahme von Brühdämpfen nur dann statthaft ist, wenn davon ein Uebermaß vorhanden ist, und daß eben ein solches Uebermaß nur dadurch geschafft werden kann, daß Millieur die Rückdämpfe von hoher Spannung verwendet, wogegen doch mancherlei Einwendungen zulässig sein dürften. Der Ueberdruck muß nämlich bis zu 1, ja $1\frac{1}{4}$ Atmosphäre betragen, während der in Zuckerfabriken übliche meist 0,5 bis 0,7 Atmosphären beträgt, was für Millieur's Vorschrift zu gering ist.

Die hochgespannten Rückdämpfe der Dampfmaschinen sind aber nicht zu billigen. Zelinek trachtet dagegen die höhere Leistungsfähigkeit der Verdampfapparate, welches Systemes immer, durch Vergrößerung des Vakuums in demselben zu erzielen, da die Temperaturunterschiede in dieser Richtung rascher wachsen. Er wirft dem Millieur-Verfahren, wenn dasselbe mit hochgespanntem Druck arbeitet, vor, daß schon von vornherein Wärmeverluste stattfinden, die dann erst durch die wiederholte Dampfverwendung wett gemacht werden sollen, und es scheint dieses nicht ohne Berechtigung.

In diesem Sinne lassen sich noch viele Verbesserungen und Dampfbenutzungen anbringen, die der umsichtige Techniker je nach den örtlichen Anforderungen ausführen wird, ohne damit Anspruch auf Erfindungen oder eigenthümliches System zu erheben; die Dampfersparniß ist keineswegs an bestimmte Zusammenstellungen gebunden, sondern läßt sich, wenn einmal das Nachdenken darauf gerichtet ist, in mannichfacher Weise erreichen.

Thatsache ist, daß man sowohl mit dem Verfahren Millieur, als auch mit dem Verfahren Zelinek's so weit gelangt ist, daß man bei richtiger Anordnung derselben etwa 80 k Dampf benöthigt, um 100 k Rüben auf Rohzucker zu verarbeiten, und zwar bei einem Saftabzuge von 180% vom RübenGewichte. Dies entspricht 44 k Dampf auf ein Hektoliter Saft, oder bei mittelmäßiger Kohle etwa 7 bis 8% Kohlenverbrauch (Zelinek).

Viertes Buch.

Gesamt-Dampfverbrauch.

Es sollen hier keine allgemeinen Angaben, weder über den wirklich beobachteten Dampfverbrauch, noch über die Ermittlungsarten desselben, sondern einige Beispiele angeführt werden, welche die Art, wie der Dampfverbrauch gefunden oder berechnet werden kann, zeigen und durch bestimmte Zahlen für den Einzelfall erläutern.

1. Beispiel (Zelinet). Der Speisewasserverbrauch der Dampfkessel wird der Maßstab sein, der benutzt werden soll um die Verdampfstationen und jene Werksvorrichtungen zu prüfen, die mit denselben zusammenhängen oder in Zusammenhang gebracht werden können.

Dampfverbrauch einer Zuckfabrik, welche in der Stunde 100 Mtr.-Ctr. = 10000 k Rüben mittelst Diffusion auf Rohzucker verarbeitet.

a) Diffusion. Es werden nach vollzogener Diffusion Diffusionswässer abgelassen: 12000 k mit einer Wärme von 20° C. Dieses entspricht einer Wärmemenge von	Kalorien 240 000
Ferner werden 8000 k 20° C. warme ausgelaugte Schnittlinge entleert	160 000
Zur Diffusion oder den Vorwärmern wird etwa 180% Saft vom Rüben- gewichte ¹⁾ , also 18000 k 30° C. warm abgedrückt	540 000
Wärme-Verbrauch bei der Diffusion	<u>940 000</u>
Dieses entspricht 1480 k Dampf; abgerundet	Kilo Dampf 1500

Angenommen wurde, daß das Wasser mit 0° C. Durchschnitts- temperatur in die Fabrik gelangt, und

¹⁾ Oesterreichische Verhältnisse von 1886.

die in der Diffusionsbatterie bestehende und verbleibende Wärme nur einmal erzeugt wird. Das Diffusionswasser wurde durch direkt in das Wasser einströmenden Dampf erhitzt.

b) Erste Saturation. Zur 1. Saturation gelangen obige 18000 k Diffusionsaft, welche von 30° C. auf 90° zu erwärmen sind	Kalorien	
		. . . 1 080 000
Ferner bei Verwendung von 3% Kalk vom Rübengewichte und 15° B. dicker Kalkmilch 1840 k Kalkmilch zu erwärmen von 0° bis 90° C.		165 600
Summe		<u>1 245 600</u>

Diese entsprechen rund gerechnet 2280

c) Zweite Saturation: Dünnsaft, Dickstofffiltration,*) Safthebung mittelst Saftheber, Spodiumdämpfen.

Es sind zu erwärmen bei der zweiten Saturation und Filtration der sämtlichen gewonnenen Dünnsaft

Das Wasser aus der Kalkmilch, Kalkmilch, Kalk	Kilo	
1840 — 300		18000
		1540
Zusammen		<u>19540</u>

Diese 19540 k Flüssigkeit sind um mindestens 25° C. nachzuwärmen. Dieses giebt

Ferner von etwa 12% vom Rüben- gewichte angewendeter Knochenkohle das zum Absüßen nöthige Wasser in 1 1/2 facher Menge, demnach 18% vom Rüben- gewichte

Zum Absüßen des Filterpressen- schlammes, und zwar von 8% des Rübengewichtes Schlamm, der 70%

*) Für den Dickstoff ist keine Nachwärmung gerechnet, da er bei hohen Konzentrationsgraden stark nachbräunt und etwa 65° C. warm zur Filtration gelangt. Die spezifische Wärme desselben wurde vernachlässigt.

feines Gewichtes Wasser zum Abfüßen benötigt www.libtool.com.cn	560
Zusammen	2360

Diese 2360 k Wasser sind von 0 bis 100° C. zu erwärmen	236 000
Zusammen	724 500 = 1360

Für die Schlammheber, Dünnsaft-
heber, Dickstoffheber und zum 2maligen
Ausdämpfen von 12% Spodium sind
nötig 70 cbm Dampf mit einer
Spannung von 2 1/2 Atmosphären Ueber-
druck. Abgerundet 140

d) Verdampfung. Bei der Diffusion
wurden abgezogen 18000 k Saft mit
einer Saccharometeranzeige von etwa
9% Ball. Diese sind auf 50% Ball.
Dichtigkeit einzudampfen. Das zu ver-
dampfende Wasser*)

$$W = 18000 \left(1 - \frac{9}{50}\right) \dots\dots 14760$$

Ferner das Wasser aus der
Kalkmilch 1540

Das Abfüßwasser von den Kohlen-
filtern, welches in den Saft einge-
treten ist 600

Das Abfüßwasser des Filter-
pressenschlammes 500

Zusammen Uebertrag 17400

*) Zu raschen Umrechnungen der Dünnsäfte auf Dickäfte, Füllmasse zc. und
umgekehrt empfiehlt Jelinek die Formeln $K_1 = \frac{K_2 S_2}{S_1}$; $S_2 =$
 $= \frac{S_1 K_1}{K_2}$; $S_1 = \frac{K_2 S_2}{K_1}$; $K_2 = \frac{K_1 S_1}{S_2}$ und $W = K_1 \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)$

Hierbei bedeutet K_1 = Gewicht in Kilogrammen des leichteren Saftes,
 S_1 = spezifisches Gewicht oder Saccharometeranz,
 K_2 = Gewicht des dichteren Saftes oder der Füllmasse zc.,
 S_2 = spezifisches Gewicht oder Saccharometeranz der
Füllmasse,
 W = zu verdampfendes Wasser in Kilogrammen.

Wenn man diese 17400 k Wasser des Zweikörpers verdampft, so benötigt

man $\frac{17400}{1.96}$ rund 9000

e) Fertigkochen im Vakuum. Zu verstehen ist das Kochen auf Füllmasse und das Kochen der Nachprodukte. Da in der Melasse bloß etwa $\frac{3}{4}\%$ Wasser vom Rückgewichte zurückbleibt, so kann man rechnen, daß im Vakuum das übrige Wasser, welches im Dicksaft enthalten blieb, verdampft werden muß.

Wir haben Dicksaft:

$$18000 - 14760 = 3240 \text{ k.}$$

Es ist demnach:

$$W = 3240 (1 - \frac{50}{100}) \text{ zu verdampfen } 1620$$

Hierzu noch das Wasser im Vorlaufe der Dicksaftfilter und beim Abfüßen des Nachlaufes, bevor derselbe in die Dünnsäfte geht, sowie das Wasser, welches beim Schleudern hinzukommt, mit 180

In Summe . . . 1800 k Wasser

im Vakuum zu verdampfen. — Da dieses im Einkörper geschieht, so sind

$$\text{hierzu notwendig } \frac{1800}{0.9} = \text{ } 2000$$

f) Dampfmaschinen. Zum Betriebe derselben sind für eine Pferdekraft und eine Stunde zum mindesten 30 k Dampf notwendig, während man zur Verarbeitung von 10000 k Rüben in einer Stunde Dampfmaschinen von etwa 150 Pferdekraft Stärke benötigt. Demnach Dampfbedarf 4500

g) An Verlusten durch Wärmestrahlung und Kondensation in den Dampfleitungen 520

Der ganze Dampfverbrauch in Summe . . . 21300

Dieser ganze Dampf ist jedoch nicht in den Dampfkesseln zu erzeugen, da zur Verdampfung der Rückdampf der Dampfmaschinen verwendet wird im Gewichte von 4500

Verbleibt somit auf die Dampfkessel 16800

oder mit anderen Worten: es sind 168% vom Rüben-gewichte Dampf nöthig, welche 168% Speisewasser für die Dampfkessel entsprechen.

Bei einer mittleren Verdampfung von 6 Kilogramm Wasser für 1 Kilogramm Steinkohle giebt dieses einen Steinkohlenverbrauch von 27,8% vom Gewicht der Rüben.

Uebersicht des Dampfverbrauches in Prozenten der verarbeiteten Rübenmenge:

a) Zur Diffusion	15,0%
b) Zur Saturation	22,8 "
c) Zur 2. Saturation, Filtration und zum Saftheben	15,0 "
d) Verdampfung 90—45	45,0 "
e) Fertigt Kochen im Vakuum	20,0 "
f) Dampfmaschinen	45,0 "
g) Verlust etc.	5,2 "
In Summe	<u>168,0%</u>

Dies ist somit jener Dampf in Prozenten von der verarbeiteten Rübenmenge ausgedrückt, welcher in dem Dampfkessel erzeugt werden muß, da wir unter d bei der Verdampfung den Rückdampf der Dampfmaschinen in Rechnung gezogen haben.

Die Zusammenstellung giebt uns ein ziemlich genaues, den praktischen Betriebsergebnissen *) entsprechendes Bild des Dampfverbrauches. Es kann zugleich als Wegweiser bei Auffuchung der möglichen Ersparungen dienen. Den Hauptfaktor bilden die 2 Rubriken d und e zusammen, nämlich die Verdampfung und das Fertigt Kochen, welche zusammen gehören und einen Dampfverbrauch von 65% vom Rüben-gewichte oder einen Verbrauch etwa 10,8% Steinkohle in sich begreifen. Es entsteht nun die Aufgabe, diesen Kohlenverbrauch, der in der Wirklichkeit stattfindet, auf ein Minimum herabzubringen. —

Wenn wir zur Verdampfung der Dünnsäfte statt eines Zweikörpers einen Dreikörper verwenden, so stellt sich der Dampfverbrauch, da wir im Dreikörper 2,85 Kilo Wasser mit 1 Kilo Dampf verdampfen, auf $\frac{17400}{2,85} = 6105$ Kilo, d. h. 61,00% von der Rübe. Hier von ab Dampfmaschinen-Rückdampf . . . 45,00 " Verbrauch an Kessel-dampf 16,00% " " "

*) Wie oben bemerkt, auf österreichische Verhältnisse (1886) bezogen.

Es ergibt sich somit [durch den Dreiförper eine Ersparniß von $45 \frac{16}{29} = 29\%$ vom Rüben-gewichte an Kessel-dampf = 29% Speise-wasser oder etwa 5% Steinkohle auf Rüben-gewicht berechnet, oder 20% von der verbrauchten Kohlenmenge.

Nehmen wir einen Vierkörper zur Verdampfung, so benötigen wir bloß $\frac{17400}{3,79}$, abgerundet 4 599 Kilo Dampf oder vom Rüben-gewichte $45,9\%$
Ziehen wir hiervon den Maschinenrückdampf ab mit 45%
so sehen wir, daß so zu sagen kein Kessel-dampf zur Dünnsaft-Verdampfung mehr nothwendig ist.

Die Ersparung beträgt ganze 45% Speisewasser oder $7,5\%$ Kohle vom Rüben-gewichte oder 27% vom Kohlenverbrauche.

Benützen wir einen Fünfkörper, so benötigen wir $\frac{17400}{4,72} = 3700$ Kilo Dampf oder . . $37,1\%$ vom Rüben-gewichte.
Dampfmaschinenrückdampf vorhanden . . $45,0\%$
bleibt Ueberschuß $8,0\%$ Rückdampf,
welcher nicht mehr zur Dünnsaft-Verdampfung verwendet werden kann:

Diese 8% Rückdampf kann man nun zum Fertigkochen des Zuckers im Vakuum oder zum Kochen der Nachprodukte im Zweifkörper verwenden. Da 1 k Dampf im Zweifkörper $1,96$ k Wasser verdampft, so können wir mit den überschüssigen 8% Rückdampf $15,68\%$ Wasser vom Rüben-gewichte im Vakuum verdampfen und wir benötigen in diesem Falle nur noch $4,32\%$ Kessel-dampfes, welcher sich jedoch wieder durch Fertigkochen im Zweifkörper auf $2,3\%$ Dampfverbrauch herabsetzen läßt. *)

*) Es wird manchem Leser auffallen, daß wir beim Zweifkörper so viel Kessel-dampf brauchen, daß auch beim Dreifkörper Kessel-dampf in Verwendung kommt, und daß bei einem Vierkörper und Vakuum im Zweifkörper noch 23% Kessel-dampfes nötig sind, um den Zucker fertig zu kochen, während in vielen Fabriken sämmtlicher Dünnsaft ohne Anwendung (?) von Kessel-dampf verkocht werden kann. Dies findet seine Erklärung in Folgendem:

1. Es wird in solchen Fabriken selten auf 50% Balling im Verdampf-apparate abgedampft und das Vakuum muß das Weitere besorgen.

2. Es gehen gewöhnlich die Retouren der Schlangen und Heizvorrichtungen, welche mit Kessel-dampf geheizt werden, in den Rückdampf-sammler entweder direkt oder durch das geschlossene Retour'eau oder Automaten. Der ganze Ueber-schuß vom Kessel-dampf, der nicht kondensirt wurde, kommt somit dem Rückdampfe, in den er eintritt, zu Gute, desgleichen der Ueberschuß an Wärme der gespannten Rückdämpfer.

3. Es ist ein Minimalverbrauch von 30 k für eine Stunde und Pferdekraft bei den Dampfmaschinen angenommen, während die meisten Fabriken in der Regel

Es würde demnach im letzten Fall der Verbrauch einer Fabrik an Kesselampf wie folgt ausfallen:

a) Diffusion unverändert	15,0%
b) Saturation "	22,8 "
c) 2. Sat., Filtration unverändert	15,0 "
d) Dünnsaftverdampfung	0,0 "
e) Fertigkochen	2,3 "
f) Dampfmaschine	45,0 "
g) Verlust etc.	5,2 "

In Summe 105,3% Dampf

oder 105,3% Speisewasser oder $\frac{105,3}{6} = 17,6\%$ Steinkohle.

Dieses giebt eine Steinkohlen-Ersparniß von 10% des verarbeiteten Rübengewichtes oder nahezu 40% von der bis jetzt verwendeten Kohle.

Diese Ersparniß ist möglich bei mangelhaftem Dampfesselhaufe und mittelmäßiger Kohle. Erhöhen wir gleichzeitig die Verdampfungsfähigkeit der verbrannten Kohle auf 7,5 k Wasser statt 6 k, wie wir gerechnet haben, so erhalten wir einen

Kohlenverbrauch von $\frac{105,6}{7,5} = 14\%$ vom Gewichte der Rübe, und zwar nicht bloß auf dem Papiere, sondern auch in der Wirklichkeit.]

Hiermit ist jedoch kein Rezept gegeben und noch nicht entschieden, daß eine derartige Anordnung einer Verdampfstation auch den End-Abschluß einer Zuckerfabrik in dem Maße und in der Richtung beeinflusst wie die Kohlenbilanz.

40 und noch mehr Kilo Dampf benötigen, je nach dem jene mehr oder weniger ökonomisch arbeiten, oder je nach dem Rückdruck, den man den Dampfmaschinen giebt. Letzteres ist ein Mehrverbrauch von Kesselampf, der durch den Dampfzylinder und somit nicht durch das direkte Dampfventil beim Vakuumapparate oder Verdampfapparate geht.

Auf das Endergebnat der Rechnung hat dieses jedoch keinen Einfluß, so lange der Maschinendampf vollständig zur Verdampfung verwendet werden kann, wie aus Folgendem zu sehen ist:

a) Diffusion	15,0%
b) 1. Saturation	22,8 "
c) 2. Saturation, Filtration u.	15,0 "
d) Verdampfung 90 — 60	30,0 "
e) Fertigkochen	20,0 "
f) Dampfmaschine, wenn wir 40 Kilo für eine Pferdekraft und Stunde rechnen	60,0 "
g) Verluste und Heizung	5,2 "

In ganzer Summe wie früher . . 168,0%

(Zelinet)

Von dem Preise der Kohle und von der Vermehrung des zu verzinsenden und abzuschreibenden Kapitals hängt es nun ab, für was sich der Zuckersabrikant zu entscheiden hat, damit er nicht das, was er an Kohlen erspart, für Maschinen und Dampfkessel auszugeben gezwungen ist.

Wir haben aus dem Vorhergehenden gesehen, welche große Vortheile eine mehrfache Ausnützung der Wärme des Dampfes uns bietet. Wir haben einen Weg gefunden, der uns zum erwünschten Ziele der Kohlenersparniß führt. Versuchen wir es, noch andere Wege einzuschlagen, die dasselbe Ziel verfolgen, jedoch ihre Richtung ändern, um zu sehen, ob ihnen zu folgen möglich ist und ob wir dadurch einen Vortheil erringen.

Wir bleiben bei unserem Beispiele von 10000 Kilogramm Rüben stündlicher Verarbeitung als Grundlage der weiteren Betrachtungen:

a) Diffusion. Zur Diffusion von 10000 Kilogramm Rübe benötigen wir, wie wir oben gesehen haben, etwa 940 000 Kalorien oder 1500 Kilogramm Dampf, um die Rübenschnitte und das Diffusionswasser, welches in der Batterie, wie wir früher angenommen haben, mit 0° C. rechnungsmäßig eintritt, zu erwärmen. Wenn wir das Diffusionswasser statt aus dem Brunnen oder aus dem Flusse von der Kondensation der Verdampfungsapparate nehmen, das Kondensationswasser während der Kondensation so reguliren, daß dieselbe unter 30° C. erfolgt, welches auch die ökonomisch günstigste Temperatur ist, wenn das Kochen im letzten Körper bei 60° C. erfolgen soll, und dieses Kondensationswasser als Diffusionswasser verwenden, so wird es noch mit wenigstens 20° C. in die Diffusionsbatterie eintreten können. Lassen wir dasselbe jedoch vor dem Eintritt in die Batterie durch einen Wärmekörper, welcher vom dritten Körper eines Dreikörpers geheizt wird, gehen, so wird das Wasser sehr leicht einen Temperaturgrad von 35° C. erreichen und wir haben für die Diffusion 980 000 Kalorien eingeführt, d. i. ebensoviele Wärme als in den Diffusionsprodukten nachweisbar ist. Wir haben bloß jene Wärme zu schaffen, welche durch die Abkühlung der Oberflächen der Diffusion verloren geht, sowie die Anfangswärme, welche zusammen bestimmt nicht 33% von der Gesamtwärme sein werden.

Wir ersparen demnach wenigstens $\frac{2}{3}$ der Gesamtwärme, d. i. etwa 600 000 W. E. oder etwa 1000 Kilo Dampf und es verbleibt uns noch 500 Kilo oder 5% Dampf vom Rübengewichte zu beschaffen. Die Oberfläche des hierzu nötigen Wärmekörpers berechnet sich wie folgt: Zu erwärmen 28000 Kilo Wasser von 20 auf 35° C. Der Heizdampf ist 60° C., der Transmissionskoeffizient ist erfahrungsgemäß etwa 5.

Verbraucht werden $28000 \times 15 = 420\,000$ W. E. in der Stunde oder 7000 W. E. in der Minute.

$$F = \frac{7000}{5 \left(60 - \left(20 + \frac{15}{2} \right) \right)} = 43 \text{ qm}$$

Sehr praktisch ist hier ein Gegenstromkörper anzuwenden, in einer ähnlichen Konstruktion wie die Gegenstromkühler sind. Derselbe ist zum Reinigen der Rohre leicht zugänglich und versagt somit seinen Dienst nie. Man kann dann auch sicher sein, den gewünschten Wärmegrad zu erreichen, indem sowohl die Strömung des Dampfes, als auch die Strömung des Wassers nach richtigem Prinzip erfolgt.

b) Saturation. Wir haben bei der Saturation angenommen, daß 18000 Kilo Saft mit 30° C. von der Diffusion kommen und bei der Saturation auf 90° C. aufgewärmt werden sollen, so wie weitere 1840 Kilo Kalkmilch von 0° auf 90° C. zu erwärmen sind.

Diese 18000 Kilo Saft kann man ebenfalls mittelst eines Gegenstromwärmkörpers und der Brüden des dritten Körpers um wenigstens 20° C. erwärmen, ehe sie in die Saturation eintreten. Dieses giebt uns eine Wärmemenge von $360\,000$ Kalorien = 670 Kilo Dampf oder $6,70\%$ Dampfersparniß vom Rüben Gewichte. — Die Größe eines gewöhnlichen Kalorifators würde bei einem Transmissionskoeffizienten von 4 sein:

$$F = \frac{6000}{4 \left(60 - \left(30 + \frac{20}{2} \right) \right)} = 75 \text{ qm}$$

Es fragt sich nun, ob wir auch die genügende Anzahl Kalorien latenter Wärme zur Verfügung haben.

Aus dem Früheren haben wir gesehen, daß im Verdampfapparate 17400 Kilo Wasser zur Verdampfung gelangen. Ein Dreikörper wird demnach im dritten Körper $\frac{17400}{3} = 5800$ Kilo Wasser zu verdampfen haben, und somit auch = 5800 Kilo 60 grädigen Dampf liefern, welcher 564 W. E. auf 1 k Dampf latente Wärme abgiebt. Dieses $5800 \times 564 = 3,271,200$ W. E., während wir im Ganzen für Diffusionswasser und Saturationssaft bloß $420,000 + 360,000 = 780,000$ W. E., d. i. kaum 25% von obiger Summe benötigen.

Desgleichen läßt bei

c) der zweiten Saturation und Filtration durch Verwendung des Kondensationswassers und Aufwärmung desselben mittelst Brüden für die

Zwecke der Abfüßung der Filter und des Filterschlammes am Kesselbampf sparen, und zwar beträgt diese Ersparniß $\frac{1}{3}$ der früher angeführten Dampfmenge, nämlich $\frac{15}{3} = 5\%$. Es bleibt demnach nun noch ein Bedarf an 10% Kesselbampf statt 15%.

- d) Die Verdampfung und,
- e) das Fertigtöchen im Vakuum.

Diese zwei Stationen kann man füglich in eine Station vereinigen, u. z. derart, daß man mittelst eines Dreikörpers die Säfte bis 50% Ball. verdampft und mittelst desselben Dreikörpers die filtrirten Säfte bis 63% Ball. verkocht und dann erst im Vakuum fertig kocht. Wir hätten somit einen Dreikörper, dessen dritter Körper in zwei Körper zu theilen wäre. Und zwar in einen größeren und einen kleineren. In dem größeren Körper würde man die Säfte bis zu 50% Ball. verdampfen, zur Filtration senden und dann nach der Filtration in dem kleineren Körper die filtrirten Säfte, für das Vakuum, bis zu einer Konzentration von etwa 63% Ball. verkochen.

Der Dampfbedarf wäre in diesem Falle folgender:

Zu verdampfen sind 18000 k Saft von 9 auf 50% Ball. =	14760 k Wasser
das Wasser aus der Kalkmilch, und	
Abfüßwasser	2640 " "
das Wasser aus 3240 Dicksaft zu 50%	
auf 63% = 3240 $(1 - \frac{63}{100} =$	668 " "
Das Abfüßwasser der Dicksaftfilter ist	180 " "
In Summe	18248 k Wasser.

Dieses Wasser kann im Dreikörper verdampft werden, daher zur Verdampfung desselben

$$\frac{18248}{2,85} = 6403 \text{ Dampf nöthig oder } \dots \dots \dots 64\% \text{ v. Rübengew.}$$

Wir haben zur Verfügung Rückdampf von den Dampfmaschinen 45% " "

Demnach für den Dreikörper noch nöthig

Kesselbampf 19% v. Rübengew.

In das Vakuum gelangen zum Verkochen auf fertige Waare 3240 — 668 = 2572 Dicksaft auf 63% Ball., aus welchem noch 2572 $(1 - \frac{63}{100}) = 951$ Wasser zu verdampfen ist.

Diese 951 k Wasser benöthigen zu ihrer Verdampfung abgerundet etwa 1000 k Dampf oder 10% vom Rübengewichte.

In Summe würde man also benötigen:

a) zur Diffusion	5,0 %	Dampf v. RübenGew.
b) zur Saturation	16,0 "	" " "
c) zur 2. Saturation, Filtration zc.	10,0 "	" " "
d) zur Verdampfung	19,0 "	" " "
e) zum Fertigkochen	10,0 "	" " "
f) Dampfmaschinen	45,0 "	" " "
g) Verlust zc.	5,2 "	" " "

an Dampf Gesamtverbrauch 110,2 $\frac{1}{2}$ Dampf v. RübenGew.
 oder 110,2% Speisewasser für den Dampfkessel; bei 6facher Verdampfung
 der Kohle = $\frac{110,2}{6} = 18,33$ k Kohle für 100 k Rübe oder 10%
 Kohle für 1 Hektoliter Saft.

Derartiger Kombinationen der Wärmebenutzung sind sehr viele mög-
 lich; im Folgenden sind einige Zusammenstellungen gegeben, aus denen
 sich ein Jeder diejenige wählen kann, die für seine Verhältnisse am besten paßt.

**1. Mehrfache Abdampfung ohne Verwerthung der zur Kondensation
 gehenden Bräuden der letzten Verdampfkörper.**

A. Expansionsdampfmaschinen mit Kondensation. Dampfverbrauch für eine Stunde und Pferdekraft 16 Kilogramm.						
Es wird verdampft mit		Zweiförper	Dreiförper	Vierförper	Fünfförper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Rübenmenge	Dampfmaschinen ¹⁾	24·0	24·0	24·0	24·0	¹⁾ Bei diesen Tabellen ist eine Verarbeitung von 10000 k Rüben und ein Saftabzug von 180% vom Rübengewichte (siehe Anm. S. 165) zu Grunde gelegt. Verdampfung ge- theilt. Von 9—50% Ball. vor der Filtration, dann filtrirt und in den letzten Körper bei 63% Ball. verdampft, d. unmittelbar d. Vacuum überzugeben.
	Verdampfung	93·0	64·0	48·0	38·0	
	Vacuum	10·0	10·0	10·0	10·0	
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	22·8	22·8	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe	185·0	156·0	140·0	130·0		

Den Rückdampf-Überschuß, den wir bei der Saturation in Abrechnung
 brachten, konnten wir bei jeder der anderen Stationen, die Dampf be-
 nöthigen, in Abrechnung bringen.

B. Hochdruckmaschinen. Dampfverbrauch für eine Pferdekraft und Stunde 30 Kilogramm. Ohne gespannten Rückdampf.						
Es wird verdampft mit		Zweiföhrper	Dreiföhrper	Vierföhrper	Fünfföhrper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Kesselmenge	Dampfmaschinen	45·0	45·0	45·0	45·0	¹⁾ Nachdem der Rückdampf der Dampfmaschinen in Abzug gebracht wurde. ²⁾ Ist bereits Rückdampfüberschuß von 7%. Derselbe wird beim Vakuum verwendet und in Abzug gebracht.
	Verdampfung ¹⁾	48·0	19·0	3·0	0·0 ²⁾	
	Vakuum	10·0	10·0	10·0	3·0	
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	22·8	22·8	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe	161·0	132·0	116·0	106·0		

C. Hochdruckdampfmaschinen mit $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Ueberdruck Spannung des Rückdampfes, demnach ein Dampfverbrauch von 35 k für eine Pferdekraft und Stunde.						
Es wird verdampft mit		Zweiföhrper	Dreiföhrper	Vierföhrper	Fünfföhrper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Kesselmenge	Dampfmaschinen	52·5	52·5	52·5	60·0	¹⁾ Nach Abzug des Rückdampfes. ²⁾ 4·5% Ueberschuß. Wird zum Vakuum verwendet und kommt dort in Abschlag. ³⁾ 14·5% Ueberschuß. Wird in Abzug gebracht mit 10% beim Vakuum und mit 4·5% bei der Saturation, wo derselbe zur Verwendung gelangt.
	Verdampfung ¹⁾	40·5	11·5	— ²⁾	— ²⁾	
	Vakuum	10·0	10·0	5·5	—	
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	22·8	18·3	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe	161·0	132·0	116·0	106·0		

Aus den Tabellen B, C und D ersehen wir, daß es sich gleich bleibt, ob wir bei den Dampfmaschinen mehr oder weniger Dampf in Verwendung nehmen, da wir den Mehrverbrauch an Dampf durch Verwendung des Rückdampfes ausgleichen. Dieses hat jedoch nur in solange seine Richtigkeit,

als wir Verwendung für den Rückdampf haben. Sobald dieses nicht der Fall ist, treten Verluste ein, wie wir in den folgenden Tabellen sehen werden.

Auf den „Verlust“ ist keine weitere Rücksicht genommen. Es ist selbstverständlich, daß derselbe in dem Maße wächst, als man mehr Dampf für die Dampfmaschinen in Verwendung nimmt.

D. Hochdruckdampfmaschinen. Dampfverbrauch 30 + 10 k wegen der Spannung von 1 Atm. Ueberdruck des Rückdampfes = 40 k für eine Stunde und Pferdekraft.						
Es wird verdampft mit		Zweiförper	Dreiförper	Vierkörper	Fünfkörper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Röhrenmenge	Dampfmaschinen	60·0	60·0	60·0	60·0	1) Nach Abzug des Rückdampfes.
	Verdampfung 1)	33·0	4·0	— ²⁾	— ²⁾	2) 12% Ueberdruck an Rückdampf, der mit 10% beim Vakuum, mit 2% bei der Saturation in Abrechnung gebracht wird.
	Vakuum	10·0	10·0	—	—	3) 22% Rückdampfüberschuß, zu verwerthen 10% durch das Vakuum 12% durch die Saturation.
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	20·8	10·8	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe		161·0	132·0	116·0	106·0	

2. Mehrfache Abdampfung mit Verwerthung der Wärme der Brüden aus den letzten Körpern des Verdampfapparates durch Anwärmung des Diffusionswassers und der Diffusionsflüssigkeiten, welche zur Saturation gehen, mittelst Gegenstromwärmekörpern.

A. 1) Expansionsdampfmaschinen mit Kondensation. Dampfverbrauch 16 Kilo.						
Verdampf wird mit		Zweiförper	Dreifkörper	Vierkörper	Fünfkörper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten von der verarb. Röhrenmenge	Dampfmaschinen	24·0	24·0	24·0	24·0	1) Die Zusammenstellung B. für eine Dampfmaschine mit 40 k Dampfverbrauch ohne Rückdruck sind weggelassen, da die Ergebnisse dieselben sind wie bei der folgenden Tabelle C.
	Verdampfung	93·0	64·0	48·0	38·0	
	Vakuum	10·0	10·0	10·0	10·0	
	Diffusion	5·0	5·2	5·0	5·0	
	Saturation	9·2	9·2	9·2	9·2	
	2. Sat., Filtration zc.	10·0	10·0	10·0	10·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe		156·4	127·4	111·4	101·4	

B. Hochdruckmaschinen. Dampfverbrauch für eine Pferdekraft und Stunde 30 Kilogramm. Ohne gespannten Rückdampf.

Es wird verdampft mit		Zweiförder	Dreiförder	Vierförder	Fünfförder	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Kesselmenge	Dampfmaschinen . . .	45·0	45·0	45·0	45·0	
	Verdampfung ¹⁾ . . .	48·0	19·0	3·0	0·0 ²⁾	
	Vakuum	10·0	10·0	10·0	3·0	
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	22·8	22·8	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe . . .	161·0	132·0	116·0	106·0		

C. Hochdruckdampfmaschinen mit 1/2 Atmosphäre Ueberdruck Spannung des Rückdampfes, demnach ein Dampfverbrauch von 35 k für eine Pferdekraft und Stunde.

Es wird verdampft mit		Zweiförder	Dreiförder	Vierförder	Fünfförder	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten der verarb. Kesselmenge	Dampfmaschinen . . .	52·5	52·5	52·5	60·0	
	Verdampfung ¹⁾ . . .	40·5	11·5	— ²⁾	— ²⁾	
	Vakuum	10·0	10·0	5·5	—	
	Diffusion	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Saturation	22·8	22·8	22·8	18·3	
	2. Sat., Filtration zc.	15·0	15·0	15·0	15·0	
	Verlust zc.	5·2	5·2	5·2	5·2	
Summe . . .	161·0	132·0	116·0	106·0		

Aus den Tabellen B, C und D ersehen wir, daß es sich gleich bleibt, ob wir bei den Dampfmaschinen mehr oder weniger Dampf in Verwendung nehmen, da wir den Mehrverbrauch an Dampf durch Verwendung des Rückdampfes ausgleichen. Dieses hat jedoch nur in solange seine Richtigkeit,

Wenn auch diese Tabellen nicht auf absolute mathematische Genauigkeit Anspruch machen können, so kommen dieselben doch der Wirklichkeit so nahe, daß man sie für unseren Zweck mit aller Zuverlässigkeit brauchen kann. Sie geben uns ein richtiges Bild der Dampfkonomie einer Zuckerfabrik nach verschiedenen Richtungen.

2. Beispiel. (Bauily.) Die folgende Berechnung¹⁾ bezweckt namentlich den nach Einführung des Bauily'schen Systems erzielten Dampfverbrauch gegenüber der früheren Arbeit: Direkte Anwärmung aller Saftstationen und Kochen im Vakuum mit direktem Kesseldampf, festzustellen. Als Grundlage der Berechnung diene die durch die Praxis bestätigte Annahme, daß für 100 k Rüben 140 Liter Rohsaft abgezogen werden, die durch Zusetzen von Aeskalk, Zuckerkalk, durch das Absüßwasser der Schlammpressen und der Filtration auf 180 Liter Saft von 11% Br. durchschnittlicher Dichte vermehrt werden. Diese 180 Liter Dünnsaft werden im Verdampfapparat-System auf 42 k Dicksaft von 45° Br. = 1,233 spez. Gewicht eingedampft. Es sind hiernach $180 \cdot \frac{45 - 11}{45} = 136$ Liter Wasser zu verdampfen.

Berechnung der Dampfmenge für die Zuckerfabrik Mühlberg a. d. Elbe
bei einer täglichen Verarbeitung von 6000 Zoll-Zentner Rüben
und 600 Zentner Melasse.

A. Betrieb der Fabrik mit direktem Kesseldampf von 4 Atmosphären Ueberdruck, ohne Einschaltung des Saftdampfverfahrens, und Verdampfung im Dreikörper-Apparat.

Es sind nach den angestellten Messungen erforderlichlich an Dampf:

- | | |
|---|---------|
| 1. In der Diffusion | 7,38 k |
| 2. Im I. Rohsaftvorwärmer (berechnet) | 10,46 " |
| 3. Im II. Rohsaftvorwärmer | 4,94 " |
| 4. II. Saturation. | |

Anzuwärmen sind: 180 Liter Saft von 85° C. auf 100° C., mithin um 15° C. Die Anwärmung erfolgt mit Kesseldampf von etwa 150° C. Temperatur, dem eine latente Wärme von

$$q = 607 - 0,7 \cdot 150 + 50 = 552 \text{ W. E.}$$

entspricht. Für 100 k Rüben sind daher erforderlichlich $\frac{180 \cdot 15}{552} = 4,9$ k Dampf.

¹⁾ Zeitschrift des Vereins für Rübenzuckerindustrie. 1889. S. 240.

C. Hochdruckdampfmaschinen. Dampfverbrauch 40 k + 7 k für den $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Ueberdruck gespannten Rückdampf.						
Verdampft wird mit		Zweiförper	Dreiförper	Vierkörper	Fünfkörper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten von der verarb. Mengenmenge	Dampfmaschinen	70.0	70.0	70.0	70.0	¹⁾ Nach Abzug des Rückdampfes. ²⁾ 6% Ueberschuß von Rückdampf wird beim Vakuum abgezogen. ³⁾ 22% Ueberschuß von Rückdampf, wird beim Vakuum 10% und 12% beliebig vertheilt, in Summe am Schlusse abgezogen. ⁴⁾ 32% Ueberschuß von Rückdampf. Kommen 10% in Abzug beim Vakuum und 22% von der Hauptsumme wegen beliebiger Vertheilung.
	Verdampfung ¹⁾	23.0	— ²⁾	— ²⁾	— ⁴⁾	
	Vakuum	10.0	4.0	—	—	
	Diffusion	5.0	5.0	5.0	5.0	
	Saturation	9.2	9.2	9.2	9.2	
	2. Sat., Filtration zc.	10.0	10.0	10.0	10.0	
	Verlust	5.2	5.2	5.2	5.2	
Summe	132.4	103.4	99.4	99.4		
ab obige Ersparniß abgezogen			12.0	22.0		
Wirklicher Dampfverbrauch	132.4	103.4	87.4	77.4		

D. Hochdruckdampfmaschinen. Dampfverbrauch direkt 40 Kilo und 13 Kilo zur Ueberwindung des Rückdruckes von 1 Atm. Ueberdruck des gespannten Rückdampfes.						
Verdampft wird mit		Zweiförper	Dreifkörper	Vierkörper	Fünfkörper	Bemerkungen
Dampfverbrauch in Prozenten von der verarb. Mengenmenge	Dampfmaschinen	79.0	79.0	79.0	79.0	¹⁾ Nach Abzug des Rückdampfes. ²⁾ 15% Ueberschuß an Rückdampf; 10% vom Vakuum abziehen, 5% von der Summe. ³⁾ 31% Ueberschuß an Rückdampf; 10% vom Vakuum und 21% von der Summe abziehen. ⁴⁾ 41% Ueberschuß. 10% vom Vakuum und 31% von der Summe abziehen. ⁵⁾ In diesem Falle ist somit die Spannung des Rückdampfes auf eine Atmosphäre Ueberdruck nicht gestattet, indem dieses zu direkten Verlusten führt.
	Verdampfung ¹⁾	14.0	— ²⁾	— ²⁾	— ⁴⁾	
	Vakuum	10.0	—	—	—	
	Diffusion	5.0	5.0	5.0	5.0	
	Saturation	9.2	9.2	9.2	9.2	
	2. Sat. u. Filtrat. zc.	10.0	10.0	10.0	10.0	
	Verlust	5.2	5.2	5.2	5.2	
Summe	132.4	108.4	108.4	108.4		
ab obige Ersparniß		5.0	21.0	31.0		
Verbleibt	132.4	103.4	87.4	77.4		
Hierzu nicht verbrauchter Rückdampf, der gezwungen ist, zum Dache herauszu- gehen				1.6		
Wirklicher Verbrauch	132.4	103.4	87.4	79.0		

Wenn auch diese Tabellen nicht auf absolute mathematische Genauigkeit Anspruch machen können, so kommen dieselben doch der Wirklichkeit so nahe, daß man sie für unseren Zweck mit aller Zuverlässigkeit brauchen kann. Sie geben uns ein richtiges Bild der Dampfkonomie einer Zuckerfabrik nach verschiedenen Richtungen.

2. Beispiel. (Pauly.) Die folgende Berechnung¹⁾ bezweckt namentlich den nach Einführung des Pauly'schen Systems erzielten Dampfverbrauch gegenüber der früheren Arbeit: Direkte Anwärmung aller Saftstationen und Kochen im Vakuum mit direktem Kesselampf, festzustellen. Als Grundlage der Berechnung diene die durch die Praxis bestätigte Annahme, daß für 100 k Rüben 140 Liter Rohsaft abgezogen werden, die durch Zusetzen von Kalk, Zuckerkalk, durch das Absüßwasser der Schlammpressen und der Filtration auf 180 Liter Saft von 11% Br. durchschnittlicher Dichte vermehrt werden. Diese 180 Liter Dünnsaft werden im Verdampfungsapparat-System auf 42 k Dicksaft von 45° Br. = 1,233 spez. Gewicht eingedampft. Es sind hiernach $180 \cdot \frac{45 - 11}{45} = 136$ Liter Wasser zu verdampfen.

Berechnung der Dampfmenge für die Zuckerfabrik Mühlberg a. d. Elbe bei einer täglichen Verarbeitung von 6000 Zentner Rüben und 600 Zentner Melasse.

A. Betrieb der Fabrik mit direktem Kesselampf von 4 Atmosphären Ueberdruck, ohne Einschaltung des Saftdampfverfahrens, und Verdampfung im Dreikörper-Apparat.

Es sind nach den angestellten Messungen erforderlich an Dampf:

- | | |
|---|---------|
| 1. In der Diffusion | 7,38 k |
| 2. Im I. Rohsaftvorwärmer (berechnet) | 10,46 " |
| 3. Im II. Rohsaftvorwärmer | 4,94 " |
| 4. II. Saturation. | |

Anzuwärmen sind: 180 Liter Saft von 85° C. auf 100° C., mithin um 15° C. Die Anwärmung erfolgt mit Kesselampf von etwa 150° C. Temperatur, dem eine latente Wärme von

$$e = 607 - 0,7 \cdot 150 + 50 = 552 \text{ W. E.}$$

entspricht. Für 100 k Rüben sind daher erforderlich $\frac{180 \cdot 15}{552} = 4,9$ k Dampf.

¹⁾ Zeitschrift des Vereins für Rübenzuckerindustrie. 1889. S. 240.

5. Die Filtration und das Kohlenhaus erfordern 12,28 k*) Dampf.
 6. Im Verdampfapparate sind abjudampfen für 100 k Rüben 136 Liter Wasser.

Die Temperatur des Heizdampfes beträgt	103° C.,
die des I. Körpers	95° "
die des II. Körpers	80° "
die des III. Körpers	60° "

Bezeichnet

- t_0 die Temperatur des einströmenden Saftes,
- t_1 die Temperatur des Saftes im Verdampfförper,
- t_2 die Temperatur des Heizdampfes,
- q die Wärmemenge, welche der Heizdampf an die Heizfläche abgibt,
- λ die Wärmemenge, welche 1 k Wasser von t_0 Grad in Dampf von t_1 Grad verwandelt,

so ergibt sich für die einzelnen Körper:

I. Verdampfförper:

Temperatur des eintretenden Saftes	80° C.
Temperatur des kochenden Saftes	95° "
Heizdampf	103° "

$$q = 607 - 0,7 \cdot 103 = 534,9 \text{ W. E.}$$

$$\lambda = 607 + 0,3 \cdot 95 - 80 = 555,5 \text{ W. E.}$$

$$\frac{q}{\lambda} = \frac{534,9}{555,5} = 0,963 \text{ k.}$$

1 k Heizdampf erzeugt im I. Körper 0,963 k Saftdampf.

In gleicher Weise berechnet, ergibt sich für den

II. Verdampfförper $\frac{q}{\lambda} = 1,008 \text{ k}$ und für den

III. Verdampfförper $\frac{q}{\lambda} = 1,011 \text{ k.}$

Hieraus folgt:

1 k Heizdampf des I. Körpers erzeugt	
0,962 k Saftdampf im I. Körper,	
0,971 " " " II. "	
0,982 " " " III. "	
<hr/>	
i. Sa. 2,915 k	

Zur Verdampfung obiger 136 Liter Wasser gehören demnach

$$\frac{136}{2,915} = 46,6 \text{ k Dampf von } 103^\circ \text{ C.}$$

*) Aus dem Unterschiede bestimmt.

7. Das Vakuum hat 42 Liter Dicksaft von 45° Br. zu Füllmasse von 6% Wassergehalt einzuziehen, ebenso die Nachprodukte. Hierzu sind nach vorgenommenen Messungen 23 k Dampf für 100 k Rüben erforderlich. Es beläuft sich daher der Dampfverbrauch auf

Diffusion	7,38 k,
1. Rohsaftvorwärmer	10,46 "
2. "	4,94 "
II. Saturation	4,90 "
Filtration und Kohlenhaus	12,28 "
Verdampfapparate	46,60 "
Vakuum	23,00 "

i. Sa. 109,56 k.

Mithin werden ohne Einschaltung des Saftdampfzeugers für 100 k Rüben 109,56 k Heizdampf zum Kochen und Anwärmen der Säfte verbraucht.

- B. Betrieb der Fabrik mit Saftdampf von 1 Atmosphäre Spannung und Vorwärmung des Rohsaftes durch den II. Verdampfkörper.

Nach den oben angeführten Zahlen werden im Saftdampfapparat für 100 k Rüben 52,5 k Wasser aus dem Dünnsafte verdampft, es verbleiben demnach für die Verdampfapparate noch $136 - 52,5 = 83,5$ Liter Wasser zu verdampfen. Der zwischen dem II. und III. Körper eingeschaltete Rohsaftvorwärmer bringt den Saft von 100 k Rüben von 25° auf 65° C.; hierzu sind erforderlich $40 \times 140 = 5600$ W. E. Der Heizdampf des II. Körpers hat 551,0 W. E., wenn er sich auf 80° C. kondensiert. Die Vorwärmung des Rohsaftes erfordert somit

$$\frac{5600}{551} = 10,16 \text{ k Saftdampf des II. Körpers.}$$

10,16 k Saftdampf des II. Körpers erfordern zu ihrer Erzeugung $10,16 \cdot 1,03 = 10,46$ k Heizdampf des I. Körpers.

Die 10,46 k den Kesseln entnommener Dampf verdampfen bis zu ihrer Kondensation mit zweifacher Wirkung:

$$10,46 \times (0,962 + 0,971) = 10,46 \times 1,933 = 20,23 \text{ k Saftwasser}$$

für 100 k Rüben. Es bleiben demnach mit dreifacher Wirkung zu verdampfen:

$$83,5 - 20,2 = 63,3 \text{ k Saftwasser.}$$

1 k Heizdampf des I. Körpers verdampft bei dreifacher Wirkung:

$$0,963 - 0,971 + 0,982 = 2,916 \text{ k Saftwasser.}$$

Die Verdampfung obiger 63,3 k Wasser gebraucht also bei dreifacher Wirkung:

$$\frac{63,3}{2,916} = 21,6 \text{ k Heizdampf.}$$

Der Dampfverbrauch an Kesseldampf stellt sich somit folgendermaßen:

Saftdampferzeuger (siehe oben)	53,90 k,
Verdampfapparat (10,46 + 21,6)	32,06 "
	i. Sa. 85,96 k.

Es sind somit 23,6 k Dampf gegen früher erspart worden = 21,5% von 100 k Dampf. Zieht man noch in Erwägung, daß nach Einrichtung des Saftkochers die Temperatur des Speisewassers 95° C. gegen früher 45° C. warm ist, so ergibt sich

$$109,6 \times 45 = 4932 \text{ W. E.}$$

$$85,96 \times 95 = 8166 \text{ "}$$

Mithin ein Gewinn von 3234 W. E. für 100 k Rüben. Diese sind gleichwerthig mit $\frac{3234}{600} = 5,39 \text{ k Dampf. (Zelinef.}^1)$

Hierdurch würde sich die Ersparniß auf 25,2% des Heizdampfes erhöhen, was einer Kohlenersparniß in gleicher Höhe entspricht. Thatsächlich hat die Praxis durch die erzielte Kohlenersparniß die obige Berechnung im vollsten Umfange bestätigt. In der Zuckerfabrik Mühlberg betrug im Jahre 1886/87 der Kohlenverbrauch für 1 Zentner Rüben 16 Pfg. In der Campagne 1887/88 12 Pfg., und wird der gleiche Betrag auch für die Campagne 1888/89 nicht überschritten werden.

3. Beispiel. (Weinlig). H. Weinlig veröffentlichte²⁾ im Auftrage der betreffenden Kommission die Ergebnisse der im Herbst 1876 vom Magdeburger Verein für Dampfkesselbetrieb ausgeführten Untersuchungen über Dampferzeugung und Dampfverwendung in 12 Zuckerfabriken.

Aus dieser nach allen Seiten lehrreichen, klaren und dankenswerthen Arbeit lassen wir hier nur die letzte Tabelle (S. 184 und 185) folgen.

Ueber den Werth der genügenden Heizflächen bei einer bestimmten Dampfproduktion giebt die Tabelle hinreichenden Aufschluß.

¹⁾ Zelinef, Verdampfapparate und Verdampfstationen. Prag 1886.

²⁾ Sechstes Heft der „Technischen und gewerblichen Mittheilungen des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb“, Jahrgang 1877. Auch als Beilage zu der Zeitschrift des Vereins für Rübenzucker-Industrie des deutschen Reiches. (Mit sechs Tafeln-Abbildungen und sechs Uebersichtstabellen). Jahresbericht für Zuckerfabrication 1878 S. 57 (Auszug).

4. Beispiel¹⁾. (Th. Becker.)

Wieviel Dampf ist erforderlich zur Verarbeitung von 1 Zentner Rüben?

Während der beiden im Folgenden beschriebenen Versuche war der Betrieb im vollen regelmäßigen Gange, es wurde auf Rohzucker gearbeitet, 6 Osmoseapparate waren in Thätigkeit. Der Dampfverbrauch wurde bestimmt durch die Menge des gespeisten Wassers, und von demselben abgezogen die Menge, welche nach Ausweis der Wasserstände beim Schluß der Versuche in den Kesseln mehr vorhanden war, als beim Anfang. Es wurde gespeist mit zwei an der Betriebsmaschine auf deren beiden Balancierseiten befindlichen, einfach wirkenden Speisepumpen von 92 und 97 mm Durchmesser und je 294 mm Hub., bei gewöhnlicher Temperatur gemessen, also von 4,127 Liter theoretischer Leistung. Die Menge des gespeisten Wassers konnte ohne Betriebsstörung nicht gemessen werden, deshalb wurde die Temperatur des Speisewassers und die Hubzahl der Maschine festgestellt, die Speisepausen vermerkt, und nach der Kampagne durch wiederholte Versuche die Leistung der Speisepumpen festgestellt. In der Nachkampagne wird der Bräuden vom Sirupkocher durch den Bräudenvorwärmer zur Kondensation geführt, und damit im Vorwärmer die Anwärmung des zur Osmose und Speisung erforderlichen Wassers auf 35° bis 40° R. erreicht. Vom Vorwärmer wurde eine direkte Rohrverbindung zum dicht daneben stehenden Speisefäß, einem liegenden Zylinder, eingerichtet, die Wasserhöhe im letzteren genau bezeichnet, und nach beendetem Versuch wieder hergestellt. Im Vorwärmer, dessen Zargendurchmesser warm gemessen und 2,010 m gefunden worden, wurde die Höhe des anfänglichen und schließlichen Wasserstandes von oben gemessen. Die Pumpen wurden zu Anfang des Versuches gleichzeitig eingeschüßt, und beim Ende desselben gleichzeitig ausgeschüßt.

Die Versuche ergaben:

Versuchsdauer Minuten.	Hubzahl	Höhe des verbrauchten Wassers mm.	Verpeistes Wasser in Litern.	Liter für die Hub.	Hubzahl in der Minute.
13	540	635	2015	3,731	41,5
13	556	678	2151	3,869	42,8
11	492	583	1850	3,760	44,7
12	546	674	2139	3,919	45,5
11	488	612	1942	3,979	44,4
				im Mittel: 3,852	43,7

¹⁾ Zeitschrift des Vereins für Rübenzuckerindustrie. 1882. S. 405.

Tabelle von Weinlig, zu Seite 182.

www.libtool.com.cn

Laufende Nummer Gittera	1 Zentner Rüben gebraucht k Kohle	1 Zentner Rüben gebraucht k Wasser	Art der Saftgewinnung	Art der Verföhung
B.	35,40 Braunkohle	110,60	Diffusion	Elutionsverfahren Kornzucker
C.	19,48 Gemisch von Braun- u. Steinkohle 7 : 1	61,70	Diffusion	Korn zu Farin
E.	26,50 Braunkohle	68,30	Diffusion	Korn und Sirup
F.	23,87 Braunkohle	76,05	Diffusion	Korn
H.	22,10 Braunkohle	70,14	Diffusion	Kornzucker
I.	29,10 Braunkohle	80,86	Diffusion	Korn resp. Nach- produkt
K.	12,05 Steinkohle	74,42	Diffusion	Kornzucker Nachprodukte
L.	24,02 Gemisch von Stein- u. Braunkohle 45 : 55	78,54	Diffusion	Kristallzucker
M.	11,27 Steinkohle	71,72	Diffusion	Korn

Tabelle von Weinlig, zu Seite 182. (Fortsetzung.)

www.libtool.com.cn

bearbeitete Menge in Tag, der Sonntag berechnet nach dem in die Rüben set werden.	1 Ztr. Rübe tägl. Verarbeitung einschl. Sonntag entspricht rund					Kosten d. Verdampfung i. d. Kesselanlage.			
	Quadratmeter Kesselfläche	Quadratmeter Hoffläche	Dmr. Verdampf- apparate	Wärm. Wärmeparate Schelbe- pfannen	Quadratmeter Oberfläche der Dampfzähren	Stehende Kosten		Bewegliche Kosten	
						an Anlagekapital, Anschaff. von Kessel, Paratur, Einmang. und logirt im Herbst 1876 all. Preisen. 50 k Dampf in Pf.	an Beheizung, Feuer, Kohlentatter kosten 50 k Dampf in Pf.	an Kosten. Nach d. im Herbst 1876 all. Preis d. Kohl. kosten 50 k Dampf i. Pf.	50 k Dampf kosten somit in Summa in Pf.
ag 2857 je 20000 i. Betriebe n Ausfall 300 Ztr.	0,15	0,007	0,07	0,016	0,114	1,13	0,38	10,21	11,59
je 26778 ag 3825	0,15	0,005	0,19	0,023	0,092	1,17	0,46	13,5	15,13
je 22594 ag 3228	0,11	0,005	0,08	0,009	0,066	1,06	0,39	12,73	14,18
je 21040 ag 3006	0,15	0,006	0,09	0,014	0,069	1,04	0,8	7,82	9,66
je 20516 ag 2931	0,07	0,005	0,09	0,072	0,058	0,89	0,52	10,89	12,30
je 25700 ag 3671	0,12	0,006	0,13	0,058	0,041	0,84	0,47	10,8	12,11
je 17500 ag 2500	0,14	0,004	0,11	0,044	0,069	1,00	0,43	12,19	13,62
je 17855 ag 2550	0,17	0,005	0,08	0,036	0,071	0,95	0,45	17,9	19,30
je 22645 ag 3235	0,14	0,005	0,12	0,076	0,069	0,99	0,43	11,7	13,12

Angenommen sind 4 1/2 Proz. Zinsen, 5 Proz. Amortisation u. d. Zustandhaltung bei Vorfeuerung 4 Proz.,
 bei Zinnenfeuerung 5 Proz., bei Unterfeuerung 7 Proz., wozu bei Röhrenkesseln noch 1 Proz. hinzukommen.

I.

www.litool.com.cn
Anfang am 20. Dezember 1881 früh 6 Uhr 53 Min.

Ende " 21. " " " 6 " 40 "

Die Dampffspannung betrug ziemlich gleichmäßig $2\frac{1}{2}$ Atmosphären.

Die Wasserstände waren im Glase sichtbar

zu Anfang 40, 30, 30, 25, 45 zusammen 170 mm

zu Ende 39, 30, 35, 40, 35 " 179 "

also zu viel gespeist $16,8 \times 9 = 161$ Liter.

Die Speisepumpen waren ausgeschütt:

von 6 Uhr 56 Min. bis 7 Uhr 23 Min. also 27 Min.

" 8 " 30 " " 9 " 12 " " 42 "

" 10 " 55 " " 11 " 15 " " 20 "

" 11 " 58 " " 12 " 25 " " 27 "

" 2 " 20 " " 2 " 43 " " 23 "

" 4 " 9 " " 4 " 34 " " 25 "

" 5 " 55 " " 6 " 30 " " 35 "

" 8 " 30 " " 9 " 15 " " 45 "

" 11 " 52 " " 12 " 45 " " 53 "

" 3 " — " " 3 " 55 " " 55 "

" 5 " 45 " " 6 " 40 " " 55 "

zusammen: 407 Min.

Die gesammte Versuchsdauer betrug 23 Stb. 47 Min.

Davon wurden nicht gespeist . . . 6 " 47 "

also gespeist 17 Stb. — Min.

Die Temperatur des Speisewassers betrug in °R.: 34, 38, 38, 38, 50, 40, 49, 46, 46, 41, 45, 45, 35, 35, 37, 39, also im Mittel von 16 Beobachtungen $41^\circ \text{R.} = 51\frac{1}{4}^\circ \text{C.}$

Die Hubzahl der Betriebsmaschine betrug für eine Minute: 44, 45, 44, 44, 44, 45, 49, 46, 44, 43, 27, 44, 34, also im Mittel von 13 Beobachtungen von 42,5 Hub.

An Rüben wurden in der Versuchszeit verarbeitet 2960 Centner.

Somit sind im Ganzen gespeist worden:

$17 \times 60 \times 42,5 \times 3,852 = 166984$ Liter

Davon ab zuviel gespeist: 161 "

bleiben 166823 Liter

zu 1,975 = 331475 Pfd. somit für einen Centner Rüben verbraucht 112 Pfd. Dampf.

II.

Anfang des Versuches 30. Dezember 1881 früh 7 Uhr 30 Min.

Ende " " " " " " Abends 7 " 50 "

Die Dampfspannung betrug im Mittel 3 Atmosphären, und zeigte nur wenige und unbedeutende Schwankungen. Wasserstände der einzelnen Kessel wie bei I gemessen:

zu Anfang 45, 35, 45, 45, 45, zusammen 215 mm

zu Ende 50, 40, 70, 50, 50, " 260 "

somit wurden zuviel gespeist: $16,8 \times 45 = 756$ Liter.

Die Speisepumpen wurden ausgeschütt:

von 7 Uhr 30 Min. bis 7 Uhr 40 Min. also 10 Min.

" 8 " 30 " " 8 " 45 " " 15 "

" 9 " 45 " " 10 " 20 " " 35 "

" 12 " — " " 12 " 39 " " 39 "

" 2 " 47 " " 3 " 30 " " 47 "

" 5 " 30 " " 6 " 15 " " 45 "

zusammen 191 Min.

Die gesammte Versuchszeit betrug 12 Std. 20 Min.

davon nicht gespeist 3 " 11 "

also wurde gespeist: 9 Std. 9 Min.

Die Temperatur des Speisewassers betrug in ° R. 53, 45, 40, 46, 53, 51, 49, 44, 45, 45, 47, 54, 48, 49, im Mittel von 14 Beobachtungen 47° R. gleich $58\frac{3}{4}$ ° C. Die Hubzahl der Betriebsmaschine betrug für eine Minute: 53, 43, 46, 45, 44, 43, 45, 44, 43, 45, 43, 48, 45, 44 also im Mittel von 14 Beobachtungen 45 Hub. An Rüben wurden in der Versuchszeit verarbeitet: 1560 Zentner.

Es sind also im Ganzen gespeist worden $549 \times 45 \times 3,852 = 95164$ Liter
Davon ab, zuviel gespeist 756 "

bleiben = 94408 Liter

zu 1,968 Pfd. = 187283 Pfd. somit wurden für einen Zentner Rüben verbraucht 120 Pfd. Dampf.

Im Mittel beider Versuche stellte sich damit der Dampfverbrauch auf 116 Pfd. für einen Zentner Rüben.

5. Beispiel. Vorschläge zur Dampfersparniß durch verschiedene Einrichtungen der Verdampfstation (nach Jelinek¹⁾).

Die falsche Ansicht, welche in vielen Zuckerrfabriken herrschte, daß ökonomisch arbeitende Dampfmaschinen in einer Zuckerrfabrik nicht am Platze

¹⁾ Jelinek, Verdampfapparate und Verdampfstationen. Prag 1886.

sind, begründet durch die Verwerthung der Rückdämpfe bei der Verdampfstation, war die Ursache einer dauernden Brennmaterial-Verlustquelle in denselben.

Die Unrichtigkeit dieser Ansicht soll durch ein Beispiel dargethan werden.

Eine Hochdruckdampfmaschine wie dieselbe derzeit in unseren Zuckerfabriken verwendet wird, mit niedriger Eintrittsspannung arbeitend und mit einem Meter Kolbengeschwindigkeit laufend, verbraucht ziemlich 45 k Dampf auf 1 Pferdekraft und Stunde. Hierbei treten Dampfverluste durch Kondensation ein, welche etwa 0,3 des gebrauchten Dampfes betragen. Eine ökonomisch arbeitende Dampfmaschine mit Expansion, jedoch ohne Kondensation, mit hoher Eintrittsspannung und mindestens 2 Meter Kolbengeschwindigkeit laufend, hat an Dampfverlusten etwa 0,25 aufzuweisen und wird auf Pferdekraft und Stunde höchstens 15 k Dampf verbrauchen.

Eine Zuckerfabrik, welche in 24 Stunden 2400 Mtr.-Ztr., demnach in einer Stunde 10,000 k Rüben verarbeitet, benötigt 150 Pferdekraft in Dampfmaschinen. Setzt man diese Ziffern in dieses Beispiel ein, so erhält man:

a) bei unökonomisch gehenden Dampfmaschinen:

$$150 \times 45 = 6750 \text{ k Dampfverbrauch in 1 Stunde}$$

und: $24 \times 6750 \times 0,3 = 48600 \text{ k Dampfverlust in 24 Stunden,}$

b) bei ökonomisch gehenden Dampfmaschinen:

$$150 \times 15 = 2250 \text{ k Dampfverbrauch in 1 Stunde}$$

und $24 \times 2250 \times 0,25 = 13500 \text{ k Dampfverlust in 24 Stunden.}$

Dieses sind Verluste, welche nicht entstehen könnten, wenn man den Dampf direkt der Heizkammer des Dampfapparates zuführt.

Nimmt man die Kohle mit einer 6fachen Verdampfung an, so verliert man im ersteren Falle:

$$\frac{48600}{6} = 8100 \text{ k Kohle in 24 Stunden oder } 3,4\% \text{ vom verarbeiteten}$$

Rübengewichte; im zweiten Falle:

$$\frac{13500}{6} = 2250 \text{ k Kohle in 24 Stunden oder } 0,9\% \text{ vom verarbeiteten}$$

Rübengewichte. Unterschied und Ersparniß: 5850 k Kohle in 24 Stunden oder 2,5% vom verarbeiteten Rübengewichte.

Wir sehen aus diesem Beispiel, wie vorthellhaft es ist, ökonomisch arbeitende Maschinen in Zuckerfabriken aufzustellen und den zur Verdampfung benötigten Dampf direkt der Heizfläche der Verdampfapparate zuzuführen.

Wenn wir obige Berechnungen näher betrachten, so werden wir finden, daß der größte Faktor bei der Rechnung der Verbrauch an Dampf auf

Pferdekraft und Stunde ist. Der Dampfverlust, welcher durch die Konstruktion der Maschine bedingt ist und welcher in unserem ersten Beispiel = 0,3, im zweiten Beispiel 0,25 beträgt, ist nicht so bedeutend verschieden und der Unterschied zwischen beiden Verlusten wird erst dann so groß, wenn dieser Faktor mit dem Dampfverbrauche multipliziert wird. Mit anderen Worten: je höher der Verbrauch an Dampf bei den Dampfmaschinen für Pferdekraft und Stunde ist, desto größer sind die Verluste für die Verdampfstation. Jeder Faktor, der diesen Dampfverbrauch erhöht, bedingt erhöhte Dampfverluste.

Wird der Rückdruck auf die Dampfmaschine erhöht, so wird der Dampfverbrauch derselben ein größerer und in Folge dessen wachsen auch die Dampfverluste für die Verdampfstation.

Es ist somit schädlich, die Spannung des Rückdampfes bedeutend zu erhöhen, um an Heizflächen bei den Verdampfapparaten sparen zu können.

Eine weitere Verlustquelle an Dampf für die Verdampfstation sind die vielen kleinen Dampfmaschinen, welche man oft in den Zuckerfabriken einführt. Einem jeden Techniker ist bekannt, daß je kleiner eine Dampfmaschine ist, dieselbe um so mehr Dampf für die Pferdekraft benötigt. Daß diese Unterschiede sehr bedeutend werden können, ist ebenfalls bekannt.

Es ergibt sich demnach von selbst als Regel, den Dampfmaschinenbetrieb einer Zuckerfabrik so viel als möglich zusammenzuziehen und wo möglich in eine Zuckerfabrik nur eine Hauptmaschine aufzustellen, oder da dieses nicht gut geht, die Zahl der Dampfmaschinen so viel als nur möglich zu beschränken, um große Maschinen zu bekommen. Verminderung der Rohrleitungen sowohl für Kessel Dampf, als auch für Rückdampf ist die Folge hiervon und somit eine Wärmeverlustquelle weniger.

Es ist jedoch vor Anlegung um jeden Preis von Hauptdampfmaschinen zu warnen. Sind die örtlichen Verhältnisse nicht dazu geeignet, die Zuckerfabrik in ihrer Anlage nicht besonders hierzu eingerichtet, so kann es leicht vorkommen, daß Hauptmaschinen mehr Schaden als Nutzen bringen. (Zu verstehen sind unter Hauptmaschinen nur solche Dampfmaschinen, welche in direkter Verbindung mit den zu bewegenden mechanischen Werkvorrichtungen sind, und zwar mit Ausschluß aller Riemen, Transmissionen und Räderübersetzungen oder wenigstens Beschränkung derselben auf das äußerst geringste Maas.) Wer dieses überieht, der kann jener Verluste, welcher er sich entledigt glaubt, in doppeltem Maas theilhaftig werden, und zwar direkt durch Mehrverbrauch an Kraft und indirekt durch Betriebsstörungen, deren Folgen gar nicht abzusehen sind.

Wenn wir den Dampfverbrauch der Dampfmaschinen auf ein Minimum herabgedrückt haben, so sind wir gezwungen, den Verdampfapparaten Kessel- dampf zuzuführen. Ehe wir uns über die Folgen davon klar werden, wollen wir untersuchen, ob dies überhaupt nothwendig ist, oder wann dies ein- treten muß.

Aus dem früher Gesagten ersehen wir, daß eine Zuckerfabrik, welche stündlich 10000 k Rüben verarbeitet und 18000 k Saft erzeugt, 17400 k Wasser zu verdampfen hat, um die Säfte mit den Abfußwässern auf 50% Ball. einzudicken.

Wir wollen mit der Eindickung jedoch höher gehen und dieselbe im letzten Körper bis 60% Ball. treiben, da dieses, wie wir später sehen werden, nur von Vortheil sein kann. In Folge dessen haben wir rund 18000 k Wasser in der Stunde zu verdampfen.

150 Pferdekraft ökonomisch gehende Dampfmaschinen geben in der Stunde:

$150 \times 15 \times 0,75 = 1687$ k Rückdampf, der im Verdampf- apparate nutzbar gemacht werden kann. Mit diesem Dampfe können bei 4facher Verdampfung $1687 \times 3,79 = 6393$ k Wasser verdampft werden.

Da wir aber 18000 k Wasser zu verdampfen haben, so sind noch

$$\frac{18000 - 6393}{3,79} = 3062$$

k Dampf direkt zuzuführen, um bei 4 facher

Verdampfung den Saft auf 60% Ball. einzudicken. Wir haben somit jedenfalls Heizdampf zweierlei Herkunft in das Heizsystem einzuführen und zwar niedriggespannten Rückdampf und hochgespannten Kessel- dampf.

Es ist selbstverständlich, daß wir den Kessel- dampf nicht in den Rück- dampf einführen können und man ist somit gezwungen, im ersten Körper des Verdampfapparates ein getrenntes Heizsystem anzulegen. Es entsteht nun die Frage, welche Spannung soll man dem Heizdampfe der Verdampfungs- station geben. Auch dieses läßt sich direkt beantworten, und zwar wie folgt: Der Rückdampf der ökonomischen Expansions- Dampfmaschine kann einer höheren Spannung als $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Ueberdruck überhaupt nicht unter- worfen werden, aus den schon früher angeführten Gründen, und man wird daher gut thun, mit der Spannung des Rückdampfes auf $\frac{1}{4}$ Atmosphäre Ueberdruck herabzugehen und die betreffende Heizfläche des Verdampfapparates etwas größer anzulegen. Im Interesse der Dampfverwerthung selbst ist es ebenfalls angezeigt, stets bei niedrigeren Spannungen zu bleiben, da die sofortige Verwerthung der latenten Wärme des niedrig gespannten Dampfes für die Verdampfung größer ist. Es ist nämlich bei einem gut eingerichteten Verdampfapparate das kondensirte Wasser des Heizsystemes, welches zum ge-

schlossenen Wassersammler gelangt, stets entsprechend warm demjenigen Dampfdruck, unter welchem es entstanden ist, daher wenigstens so warm als der Heizdampf, aus welchem es entsteht.

Aus diesem Grunde wird auch das Kondensationswasser, welches unter höherer Spannung entstanden ist, mehr Wärme zurückführen, die erst wieder im Dampfkessel verwerthet werden kann, als kondensirtes Wasser, welches unter niedrigem Drucke entstand. Es werden somit weniger W. E. bei der ersten Benützung des Dampfes nutzbar gemacht.

Nachfolgende Beispiele werden dieses erläutern:

Dampfdruck absolut in Atmosphären	1	2	3	4
Wärmemenge des Dampfes in Kalorien	637	643,28	647,34	650,42
Wärmemenge des kondensirten Wassers				
in Kalorien	100	120,60	133,91	144
Nutzbar gemachte Wärme in Kalorien	537	522,68	513,43	506,42

Hieraus ist ersichtlich, daß mit zunehmendem Drucke des Heizdampfes die sofortige Verwerthung der Kalorien kleiner wird. Das zum Dampfkessel zurückkehrende kondensirte Wasser ist dem verhältnismäßig wieder um so wärmer, je höher der Druck des Heizdampfes ist. In Folge dessen sind auch auf seinem Rückwege, wegen des größeren Temperaturunterschiedes, die Abkühlungsverluste größer. Dieses giebt uns einen Fingerzeig über den anzuwendenden Druck bei den Heizdämpfen der Verdampfapparate und es soll dieses den örtlichen Verhältnissen gemäß in die Rechnung mit eingezogen werden.

Es ergibt sich folgende Nutzenanwendung: Hochgespannte Dämpfe zum Betriebe der Dampfmaschinen bei geringer Spannung des Rückdampfes und Kochdämpfe niedrig gespannt zu verwenden.

Hierbei darf nicht unerwähnt bleiben, daß Dampfkessel, welche zur Erzeugung hochgespannten Dampfes (für die Betriebsmaschinen) im Dampfkesselhause abgetrennt werden, nur dann einen Sinn haben und jenen Nutzen geben, den man von ihnen verlangt, wenn auch die Dampfmaschinen umgebaut werden, damit sie hochgespannte Dämpfe verwerthen können.

Geschieht dieses nicht, so ist der Vortheil der hohen Spannung im Kesselhause ein illusorischer.

Bei Anwendung der Kesseldämpfe zum Kochen steht natürlich die Größe der Heizfläche bei den Verdampfapparaten mit der Dampfspannung des Heizdampfes im umgekehrten Verhältnisse. Je größer die Spannung, desto kleiner die Heizfläche, desto kleiner die Verdampfapparate.

Es ist in diesem Falle besonders darauf zu sehen, daß die Spannung des Heizdampfes auf der ganzen Heizfläche gleichmäßig und entsprechend dem

vollen Drucke desselben erhalten bleibe. Geschieht dieses nicht und kann der Heizdampf im Heizraume selbst expandiren, so sind die Wärmeverluste entsprechend groß. — Expandirt z. B. 1 k Dampf von $3\frac{1}{2}$ Atmosphären auf $1\frac{1}{2}$ Atmosphären, wie der Druck im Rückdampf- und Wasserfammaler gehalten wird, so verliert derselbe etwa 8 W. E., die vollständig verschwinden und nicht zurückgewonnen werden können.

Was die mehrfache Verwerthung der Heizdämpfe bei der Verdampfung anbelangt, so gelangt dieselbe erst dann zum vollen Ausdrucke, wenn man die zu verdampfenden Zuckersäfte so hoch als möglich eindickt, um dieselben erst dann dem Vakuum zu übergeben.

Zwei Beispiele, und zwar das eine, eine Eindickung auf 35% Ball., das zweite auf 60% Ball. voraussetzend, werden dieses klar machen.

Von 100 k Rüben, welche 180 k Saft zu 8% Ball. geben, soll der Dünnsaft auf Füllmasse von 95% Zuckergehalt eingedickt werden, und zwar vorerst als Dicksaft auf 35% Ball. und dann im Vakuum auf 5% Wassergehalt. Dieselbe Saftmenge soll zum Vergleiche der Brennmaterialersparniß statt auf 35% Ball. auf den höheren Konzentrationsgrad von 60% Ball. gebracht werden und dann erst im Vakuum auf 95% Zuckergehalt zum Verkochen kommen. Bezeichnen wir das erste Beispiel mit A, das zweite mit B.

A. Aus 180 k Saft von 8% Ball. sind $180(1 - \frac{8}{35}) = 130$ k Wasser zu verdampfen.

B. Aus 180 k Saft von 8% Ball. sind $180(1 - \frac{8}{60}) = 156$ k Wasser zu verdampfen.

Wir erhalten im Falle A $180 - 139 = 41$ k Dicksaft zu 35% Ball.

" " " " B $180 - 156 = 24$ " " " 60 " "

Ferner benöthigen wir zur Verdampfung des Dünnsaftes

a) mit Zweikörper:

bei A $= 139 \times 0.51 = 70.89$ k Dampf oder $\frac{70.88}{6} = 11.81$ k Kohle,

" B $= 156 \times 0.51 = 79.56$ " " " $\frac{79.56}{6} = 13.26$ " "

b) mit Dreikörper:

" A $= 139 \times 0.35 = 48.65$ k Dampf oder $\frac{48.65}{6} = 8.11$ k Kohle,

" B $= 156 \times 0.35 = 54.60$ " " " $\frac{54.60}{6} = 9.10$ " "

c) mit Vierkörper:

" A $= 139 \times 0.26 = 36.14$ k Dampf oder $\frac{36.14}{6} = 6.02$ k Kohle,

bei B = $156 \times 0,26 = 40,56$ k Dampf oder $\frac{40,66}{6} = 6,76$ k Kohle

d) mit Fünfförper:

„ A = $139 \times 0,21 = 29,19$ k Dampf oder $\frac{29,19}{6} = 4,86$ „ „

„ B = $156 \times 0,21 = 32,76$ „ „ „ $\frac{32,76}{6} = 5,46$ „ „

Die Verdampfung des Dickstoffes auf Füllmasse von 95% Zucker-
gehalt bleibt in allen Fällen von A unter einander und in allen Fällen von
B unter einander gleich,

bei A geben 34 k Dickstoff $41 \left(1 - \frac{35}{95}\right) = 26$ k Wasser zu ver-
dampfen und

bei B geben 24 k Dickstoff $24 \left(1 - \frac{60}{95}\right) = 8,7$ k Wasser zu ver-
dampfen.

Es benöthigt somit

A = $26 \times 1,11 = 28$ k Dampf oder $\frac{28}{6} = 4,66$ k Kohle	}	für das Vakuum.
B = $87 \times 1,11 = 96,57$ „ „ „ $\frac{96,57}{6} = 16,09$ „ „		

Ziehen wir die einzelnen Resultate zusammen, so erhalten wir für A:

- a) Zweifkörper = 11,81 k Kohle + Vakuum = 4,66 k Kohle, zusammen
16,47 k Kohle,
- b) Dreifkörper = 8,11 k Kohle + Vakuum = 4,66 k Kohle, zusammen
12,77 k Kohle,
- c) Vierkörper = 6,02 k Kohle + Vakuum = 4,66 k Kohle, zusammen
10,68 k Kohle,
- d) Fünffkörper = 4,86 k Kohle + Vakuum = 4,66 k Kohle, zusammen
9,52 k Kohle.

für B:

- a) Zweifkörper = 13,26 k Kohle + Vakuum = 1,6 k Kohle, zusammen
14,86 k Kohle.
- b) Dreifkörper = 9,10 k Kohle + Vakuum = 1,6 k Kohle, in
Summe: 10,70 k Kohle;
- c) Vierkörper = 6,76 k Kohle + Vakuum = 1,6 k Kohle, in
Summe: 8,36 k Kohle;
- d) Fünffkörper = 5,46 k Kohle + Vakuum = 1,6 k Kohle, in
Summe: 7,06 k Kohle
und es giebt dann A—B:

bei a = 16,47 — 14,86 eine wirkliche Ersparniß von	}	vom verarbeiteten Rohgewicht,
1,61 k Kohle oder Prozent		
bei b = 12,77 — 10,70 eine wirkliche Ersparniß von		
2,07 k Kohle oder Prozent		
bei c = 10,68 — 8,36 eine wirkliche Ersparniß von		
2,32 k Kohle oder Prozent		
bei d = 9,52 — 7,06 eine wirkliche Ersparniß von		
2,46 k Kohle oder Prozent		

erzielt dadurch, daß die Säfte bei der Verdampfung einer höheren Konzentration unterzogen wurden, bevor sie in das Vakuum gelangten.

Wie weit man die Konzentration treiben soll, hierüber entscheidet der Kohlenpreis und der Preis der Heizfläche der Apparate, wie leicht einzusehen ist.

Da sich so hoch konzentrierte Säfte nicht filtriren lassen, so trennt man einen Theil der Heizfläche des letzteren Körpers ab, dampft in dem einen Theile nur bis 50% Ball. ein, filtrirt und kocht dann im zweiten Theile bis zu 60%, selbst bis zu 70% vor.

Will man die Ersparniß an Kohle noch höher treiben, so kann man aus dem ersten Körper das Vakuum als Zweikörper heizen, oder was jedenfalls besser ist, aus dem zweiten Körper als Dreikörper so lange als es möglich ist. Wenn wir obiges Beispiel zur Richtschnur nehmen, so kann der Kohlenverbrauch für das Vakuum von 1,60% auf $\frac{8,7 \times 0,51}{6}$ = 0,73%, beziehungsweise auf $\frac{8,7 \times 0,36}{6}$ = 0,50% herabgesetzt

werden. Hier ist jedoch in Betracht zu ziehen, daß man in Folge dessen, um fertig zu kochen, die Brüden des ersten und zweiten Körpers sehr hoch spannen müßte, um den zum Kochen im Vakuum nöthigen Temperaturunterschied zu erhalten. Dies bedingt eine bedeutende Erhöhung der Spannung der Rückdämpfe, und zwar mehr als 1 Atmosphäre Ueberdruck, was zur Folge hat, daß man unter Umständen wieder verliert, was man früher gewonnen hat.

Ersetzt man einen Theil des zum Aufwärmen in einer Zuckersabrit nöthigen Kesselbampfes durch die Brüden der Verdampfkörper, so wird natürlich Dampfersparniß im Maße der mehrfachen Verwendung derselben herbeigeführt.

Brüden aus dem ersten Körper zur Anwärmung verwendet, geben eine geringere Ersparniß an Dampf als Brüden aus dem zweiten oder dritten Körper, da diese schon ein Produkt doppelter, bez. dreifacher Dampfausnützung sind.

Ein Beispiel mit doppelter Auflösung wird dieses erläutern:

Es seien bei einem Saftabzuge von 180% vom Rüben Gewichte (siehe Beispiel Seite 171) 174% Wasser in einem Dreikörper aus dem Dünnsafte zu verdampfen, um Dicksaft zu erzeugen.

Für die Diffusion, welche nun mit Brüden dämpfen gewärmt werden soll, wäre nach Früherem nöthig 15,0% Dampf.

Zur Anwärmung vor der ersten Saturation und während der ersten Saturation, was ebenfalls mit Brüden dämpfen geschehen soll 22,8% Dampf.

Zum Kochen am Vakuum seien 20% Dampf nöthig, wovon jedoch bloß 10% durch Brüden dampf gedeckt werden sollen, während der Rest zum Fertigen kochen Kesseldampf sein soll, daher 10,0% Dampf.

Erste Lösung.

Es wird angewärmt:

Die Diffusion aus dem 2. Körper,
die Saturation aus dem 1. Körper,
das Vakuum gekocht aus dem 1. Körper.

Im Ganzen wird aus dem Saft Wasser verdampft:

Zur Bildung des Brüden dampfes für die

Diffusion: Im 1. Körper 15 }
 " 2. " 15 } = 30,0% Dampf.

Zur Bildung des Brüden dampfes für die

Saturation: Im 1. Körper 22,8% Dampf.

Zur Bildung des Brüden dampfes für das

Vakuum: Im 1. Körper 10,0% Dampf.

Zusammen 62,8% Dampf.

Es verbleibt somit dem reinen Dreikörper zu verdampfen:

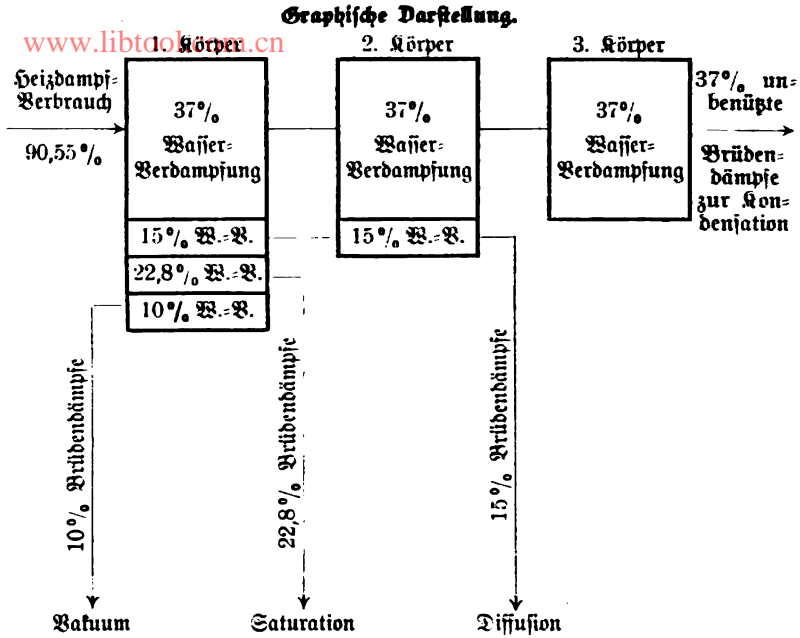
$$174 - 62,8 = 111,2\%$$

und entfällt daher auf jeden Körper nach Abschlag der für die Vorwärmstationen nöthigen Verdampfung $111,2 : 3 = 37\%$ Wasser zu verdampfen.

Die gesammte Wasserverdampfung kostet, wenn 75° C. warmer Saft eingezogen wird:

30,0% Zweikörper = $20,0 \times 0,51 = 15,30\%$ Dampf,
32,8 " Einkörper = $32,8 \times 1,11 = 36,40$ " "
111,2 " Dreikörper = $14,2 \times 0,35 = 38,85$ " "

In Summe 90,55% Dampf.



Zweite Lösung.

Es wird angewärmt:

Die Diffusion getheilt, und zwar:

Das Diffusionswasser, aus dem 3. Körper,
die Diffusionsäfte aus dem 2. Körper.

Die Saturation getheilt, und zwar:

Die Äfte vor der Saturation um 35° aufgewärmt aus dem 3. Körper,
während der Saturation bis zum höchst nöthigen Heizgrad aus dem
1. Körper.

Das Vakuum wird geheizt als Vorvakuum aus dem 2. Körper.

Im Ganzen wird aus dem Saft Wasser verdampft:

Zur Bildung des Brühdampfes für die Diffusionsäfte (wenn wir
für die Anwärmung des Diffusionsaftes bloß 5% Brühdampf aus
dem 3. Körper entnehmen) bleiben zu verdampfen:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Im 1. Körper } 10 \\ \text{„ 2. „ } 10 \end{array} \right\} = 20,0\% \text{ Wasser.}$$

Zur Bildung des Brühdampfes für die Satu-

ration: Im 1. Körper 12,8% Wasser.

Da wir 10% Dampf zur Anwärmung aus dem
3. Körper entnehmen, welche nichts kosten.

Zum Heizen des Vorraums: Aus dem 2. Körper 10 }
 " " 1. " 10 } = 20,0% Wasser.
 In Summe 52,8% Wasser.

Der reine Dreikörper hat zu verdampfen:

$$174 - 52,8 = 121,2\% \text{ Wasser,}$$

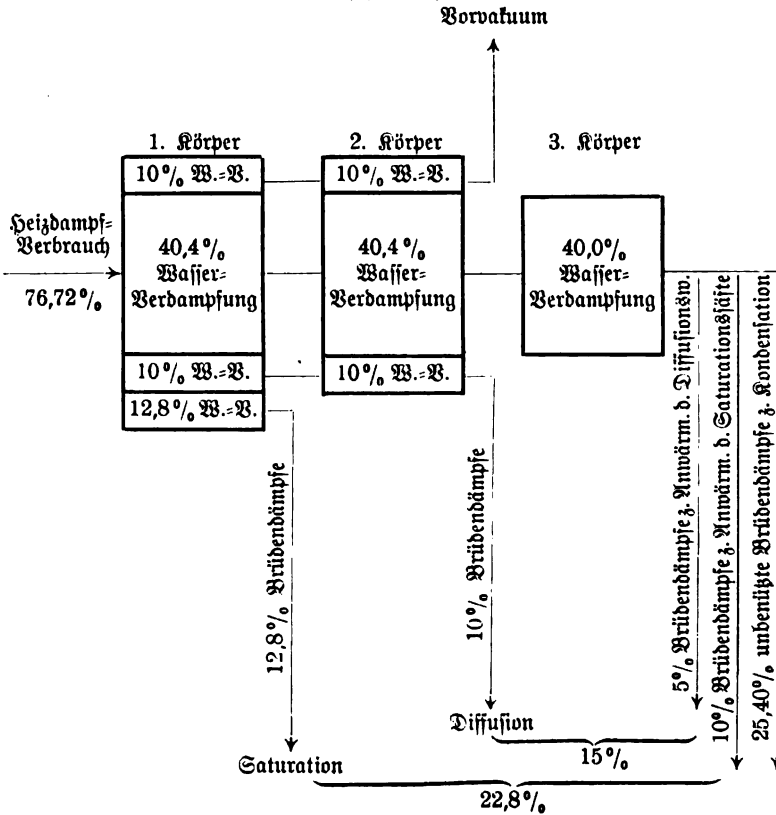
es entfällt somit auf jeden Körper nach Abschlag der für die Vorwärme-
 stationen nötigen Verdampfung

$$121,2 : 3 = 40,4\% \text{ Wasser zu verdampfen.}$$

Die gesammte Verdampfung kostet, wenn 75° C. warmer Saft ein-
 gezogen wird:

20,0%	Zweifkörper	$20,0 \times 0,51 = 10,20\%$	Dampf.
12,8 "	Einkörper	$12,8 \times 1,11 = 14,20$	" "
20,0 "	Zweifkörper	$20,0 \times 0,51 = 10,20$	" "
121,2 "	Dreifkörper	$121,2 \times 0,35 = 42,12$	" "
		In Summe	76,72% Dampf.

Graphische Darstellung.



Im ersten Falle werden benötigt	90,55%	Dampf,
im zweiten Falle	76,72%	"
Unterschied zu Gunsten des 2. Falles	13,83%	Dampf=

Ersparniß vom Gewichte der Rüben.

Es ist dieses ein Fingerzeig, welcher darauf hinweist, daß es vortheilhafter ist, die Brüden der letzten Körper so weit als möglich auszunützen, da dieselben schon aus einer mehrfachen Verwendung des Heizdampfes entstanden sind und unbenützt der Kondensation zueilen.

Wenn auch die Temperaturunterschiede in einem solchen Falle kleiner sind, so kann dieses doch zum Theil durch Heizflächen ersetzt werden und jede Wärme, welche man auf diese Weise nutzbar macht, ist faktisch gewonnen. Es war schon verloren und die Gewinnung desselben bedingt keine weiteren Verluste auf anderer Seite, da der ganze Verdampfungsapparat unverändert bleibt.

Jedenfalls entscheiden hier wieder Kohlenpreis an Ort und Stelle und dem gegenüber der Aufstellungspreis der Apparate, Maschinen u., welche zum Umbau der Verdampfstation nöthig sind.

Stets wird jedoch die Rechnung entscheiden müssen, ob die letzten Prozente Kohlen, die man noch ersparen will, auch eine Geldersparniß darstellen.

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn

www.libtool.com.cn