

Gerbel-Reutlinger

Kraft- und Wärmewirtschaft in der Industrie

Zweiter, selbständiger Band

von

Oberbaurat Ing. M. Gerbel

beh. aut. Zivilingenieur für Maschinenbau und Elektrotechnik, Wien

unter Mitwirkung von

Dr.-Ing. Ernst Reutlinger

Vorstand der Ingenieurgesellschaft für Wärmewirtschaft A.-G., Köln

Gleichzeitig dritte, vollständig erneuerte und
erweiterte Auflage von Gerbel, Kraft- und
Wärmewirtschaft in der Industrie
(Abfallenergie-Verwertung)

Mit 102 Textabbildungen
und 33 Zahlentafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1930

ISBN 978-3-662-35716-3 ISBN 978-3-662-36546-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-36546-5

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Copyright 1930 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1930.

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1930

Vorwort zur dritten Auflage.

Die Technik hatte auf dem Gebiete der Kraft- und Wärmewirtschaft im letzten Jahrzehnt all dies nachzuholen, was sie in ihrer Entwicklung während der Kriegsjahre versäumt hatte; insbesondere mußte sie sich von jener Richtung, in welche sie durch die Kriegserfordernisse gedrängt worden war, auf die Bedürfnisse der industriellen Entwicklung des Friedens umstellen. Es hat kaum je einen Abschnitt der Geschichte gegeben, wo derartige Neuerungen, teils in der Weiterentwicklung des Bestehenden, teils in einer das Vorhandene umstürzenden Weise, so rasch aufeinander folgten, wie eben im letzten Jahrzehnt. Hierbei handelte es sich nicht nur um die Weiterentwicklung der energiewirtschaftlichen Fragen, sondern auch um die technischen und technologischen Probleme der Gütererzeugung selbst. Nun ist aber die Energiewirtschaft in der Industrie nach neuzeitlicher Auffassung mit den angewendeten Erzeugungsverfahren, mit den Maschinen der Fabrikation und ihrer Arbeitsweise aufs Engste verwoben. So wie der Industriebau sich heute nicht mehr wie seinerzeit lediglich darauf beschränkt, ein Haus zu errichten, in welchem die Maschinen stehen, sondern sich das Bauwerk von der Grundrißlösung angefangen bis zu den letzten Einzelheiten an den Fabrikationsplan anschließt und gleichsam mit der gesamten maschinellen Einrichtung ein einheitliches Ganzes bildet, ebenso sind heute die einzelnen Bestandteile der Kraftzentrale nicht ausschließlich von dem Gesichtspunkte aus zu bestimmen, daß nur die notwendige Kraft und der notwendige Dampf im allgemeinen vorhanden ist; sie müssen sich vielmehr bis ins letzte den Erfordernissen des betreffenden Industriezweiges, dann aber auch den Eigenheiten des einzelnen Betriebes anpassen und bilden mit ihnen ein einheitliches Ganzes. Es wirkten sohin auch die das letzte Jahrzehnt kennzeichnenden großen Veränderungen in der Erzeugungstechnik, welche nach früheren Begriffen mit der Kraftzentrale selbst kaum etwas zu tun hatten, heute aber im weitgehenden Maße bei Lösung der Probleme der Energiewirtschaft mitspielen, verzögernd auf die Fertigstellung dieses Bandes aus.

In der zweiten Auflage dieses Buches wurde davon gesprochen, daß die zukünftige Entwicklung der Kraft- und Wärmewirtschaft in der Verwertung der Abfallenergien über den Rahmen des eigenen Betriebes

hinaus gelegen ist. Hierzu waren damals kaum Ansätze vorhanden und es konnte nur mühselig das eine oder andere Beispiel hierfür aus der Praxis angeführt werden. Die damalige Zukunft ist rasch zur Gegenwart geworden und jetzt ist der Stand dieser Frage ein derartiger, daß es Mühe machte, aus den vielen Anlagen, welche seither von diesem Gesichtspunkte aus geschaffen waren, eben nur so viel herauszugreifen, als zur Erläuterung der verschiedenen Durchführungsmöglichkeiten erforderlich war.

Wenn nun der erste Band des vorliegenden Buches, welcher von Dr. Reutlinger unter Mitwirkung des gefertigten Verfassers, gleichzeitig als dritte Auflage des Buches „Urbahn-Reutlinger: Ermittlung der billigsten Betriebskraft für Fabriken“ bereits vor 2 Jahren erschienen ist, sich vornehmlich mit den kraft- und wärmetechnischen Betriebsverhältnissen und den Grundlagen der Abwärmeverwertung, wie sie für alle Industrien allgemein gelten, beschäftigte, sind in dem vorliegenden zweiten Bande in erster Reihe die Beziehungen, welche zwischen der Kraftzentrale und der Gütererzeugung selbst bestehen und für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes als Ganzes von ausschlaggebendem Einfluß sind, behandelt. Es sind somit in dem Rahmen dieses Buches einerseits die verschiedenen Verwendungsarten von Kraft und Wärme für industrielle Zwecke besprochen, wobei neben den Kraftbeschaffungsmöglichkeiten besonders den wichtigen Vorgängen des Trocknens, Kochens, Heizens, Destillierens u. dgl. entsprechend ausführliche Behandlung zuteil wurde, andererseits sind jenen Industriezweigen, für welche die Energiewirtschaft von beispielgebender Bedeutung ist, gesonderte Kapitel gewidmet. Die Beziehung, die sich zwischen Kraft-erzeugung und Dampfverwendung ergibt, ist sowohl hinsichtlich des einzelnen Betriebes, als auch im Rahmen einer neuzeitlichen Verbundwirtschaft in der Gesamtheit benachbarter Betriebe und in der Verbindung des einzelnen Fabriksunternehmens mit den vielmaschigen Netzen von Überlandzentralen erörtert.

Von dem Inhalte der zweiten Auflage ist in dem vorliegenden Buche kaum ein Absatz des Textes unverändert geblieben und auch von den Abbildungen konnten nur die wenigsten — die zeitlosen — wieder verwendet werden. Alles übrige mußte den Errungenschaften der letzten Jahre und der inzwischen erfolgten Weiterentwicklung weichen. Auch die Anordnung des Textes ist eine andere geworden und der Umfang ist nahezu verdreifacht. Dieses Buch enthält schließlich noch ein ausführliches Sachregister für beide Bände. Im übrigen aber bildet jeder der beiden Bände für sich ein abgeschlossenes Ganzes. Durch entsprechende Ergänzungen und Überkreuzungen wird der mehr auf das Allgemeine oder auf das Besondere gerichteten Einstellung des Lesers Rechnung getragen.

Für Beschaffung und Bearbeitung des Materials für einzelne Kapitel dieses Buches ist der Verfasser den Herren Ingenieuren Josef Köstler und Rudolf Naske, Wien, sehr dankbar und vereinigt sich mit Herrn Dr. Reutlinger, Köln, in seinem besonderen Danke an die Verlagsbuchhandlung für die zweckentsprechende und sachgemäße Ausstattung beider Bände ihres gemeinsamen Werkes.

Wien, im Mai 1930.

Oberbaurat Ing. **M. Gerbel.**

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

	Seite
Die wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung des Energieverbrauches	1

Erster Abschnitt.

Über den Wärmebedarf der Industrie und seine Deckung	14
I. Industrielle Trockenverfahren	16
II. Anwärmen und Kochen von Flüssigkeiten	31
III. Verdampfen und Destillieren (Rektifizieren)	41

Zweiter Abschnitt.

Über den Kraftbedarf in der Industrie und seine Deckung (Die Industrie der Stromerzeugung)	50
---	-----------

Dritter Abschnitt.

Kraft- und Wärmewirtschaft in einzelnen Industrien	74
I. Eisenhüttenwerke	77
II. Lederindustrie und Gerbstoffherzeugung	86
III. Papier-, Holzstoff- und Zellstoff-Industrie	96
Halbstoffe (Holzschliff, Zellstoff, Lumpen)	97
Papier	115
Pappe	118
IV. Textilindustrie	122
Spinnerei und Vorbereitung	123
Weberei	128
Veredlung (Ausrüstung)	129
V. Lebensmittelindustrie	138
Mehl	138
Bäckereien	140
Zucker	142
Kartoffeltrocknung	154
Molkereien	155
Sonstige Lebensmittel	162
VI. Gärungsindustrie und ihre Abfallstoffe	163
Bierbrauerei	163
Spiritus (Alkohol)	171
Preßhefe	175
Abfallstoffe der Gärungsindustrie	177
VII. Keramische, Zement- und Kalk-Industrie	179
Keramische Industrie	180
Zementindustrie	200
Kalkindustrie	204
VIII. Industrie der Kälteerzeugung	209

Vierter Abschnitt.

Gekuppelte Kraft- und Wärmewirtschaft im einzelnen Industriebetrieb .	217
I. Einfluß der Abdampfverwertung auf den Dampfverbrauch	217
II. Die energiewirtschaftliche Kennziffer des industriellen Betriebes. . .	230
III. Gegendruckbetrieb und Zwischendampfentnahme	238
IV. Das Speicher-Problem	252
V. Die Aufteilung der Dampferzeugungskosten auf die einzelnen Abteilungen des Betriebes.	267

Fünfter Abschnitt.

Verbundwirtschaft, Verwertung von Abwärme und Überschußkraft über den Rahmen des eigenen Betriebes hinaus	271
I. Energiewirtschaftliche Zusammenarbeit einzelner Betriebe	271
II. Fernheizwerke, Heizkraftwerke und ihr Einfluß auf den Städtebau . .	279
III. Verwertung von Vorschaltkraft und Überschußstrom durch die Abgabe an Überlandwerke	307
IV. Verbundwirtschaftlicher Zusammenschluß; Reichssammelschiene . .	312
Sachverzeichnis	316

Druckfehlerberichtigung.

- Seite 2 Zeile 4 von unten: Statt 1300%, richtig 300%.
- Seite 10 Zahlentafel 5 Punkt 9 (3. Spalte): Statt 1 kg CaCe, richtig 1 kg CaC₂.
- Seite 22 Zeile 7 von oben: Statt $x_3 - x_1$, richtig $x_8 - x_1$.
- Seite 22 Zeile 21 von oben: Statt auf Verbindungsgeraden, richtig auf der Verbindungsgeraden.
- Seite 114 Zeile 7 von unten: Statt 400 kg, richtig 100 kg.
- Seite 121 Zeile 9 von oben: Statt 11300, richtig 11700.
- Seite 148 Zeile 10 von unten: Statt Vergleichmäßigkeit, richtig Vergleichmäßigung.
- Seite 227 Fußnote: Statt $\frac{p_a}{20}$, richtig $\frac{p_a}{20}$.
- Seite 257 Zeile 12 und 13 von unten: Statt bei einem Druckabfall von 1 at, richtig zwischen zwei Druckgrenzen.
- Seite 283 Zeile 23 von oben: Statt Winniberg, richtig Winnipeg.
- Seite 283 Fußnote 2 soll richtig heißen: „Engineering“ 15. Nov. 1929, S. 609.
- Seite 289 Zeile 18 von unten: Statt (11 sek/1), richtig (11 Liter/sek).

Einleitung.

Die wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung des Energieverbrauches.

Unter den verschiedenen Gütern eines Volkes ist die Energie eines der wertvollsten. Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, und in diesem Sinne ist sie ein wichtiger Faktor des Volksvermögens, der die Größe und Macht eines Volkes besser charakterisiert als sein Besitz an Gold und anderen Gütern, und der einen naturwissenschaftlich begründeten, unumstößlichen, feststehenden, von Ort und Zeit unabhängigen Wert besitzt. Wenn auch nach dem ersten Grundsatz der Wärmelehre, über die Erhaltung der Energie, eine Verminderung oder Vermehrung der Energiemenge eines geschlossenen Systems nicht stattfinden kann, tritt doch durch Umsetzung der einen Energieform in die andere trotz der gleichbleibenden Gesamtenergiemenge eine Verminderung ihres Wertes ein, und es wird in folgenden Kapiteln noch Gelegenheit sein, die Bedeutung dieser Wertverminderung, die in dem zweiten Grundsatz der Wärmelehre gipfelt, für Technik und Wirtschaft zu behandeln.

Wenn wir von Vergeudung von Energie sprechen, meinen wir damit, daß wir durch das Umsetzen einer Energieform in eine andere (z. B. Umsetzung von Wärme in Arbeit, oder Umsetzung von Arbeit in Elektrizität oder dgl.) oder durch sonstige Veränderungen der gleichen Energiemenge (Veränderung des Temperaturniveaus durch Wärmeübergang und dgl.) nicht den Nutzen ziehen, den wir daraus ziehen könnten, und da alle in der Technik verwendeten Prozesse, wenn wir die Nebenerscheinungen und unvermeidlich auftretenden Verluste berücksichtigen, nicht umkehrbar sind, ist die Folge eines unwirtschaftlichen Umsetzungsprozesses ein tatsächlicher Verlust. In diesem Sinne ist auch der Ausspruch Ostwalds in dem Vorwort zu seinen Abhandlungen und Vorträgen allgemeinen Inhaltes aufzufassen: „Vergeudung von Energie, sei es aus Unwissenheit, sei es aus Bosheit, ist die schlimmste Sünde, die ein Mensch begehen kann, denn sie kann auf keine Weise wieder gut gemacht werden.“

Die Energie, die wir technisch verwerten, rührt fast ausschließlich von der Sonne her. Die Wärme, die wir gewinnen, wenn wir Kohle verbrennen, ist jene Wärme, welche die Sonne vor Millionen Jahren

auf die Urbäume herunterstrahlte und welche, von diesen vorweltlichen Gewächsen aufgenommen, in eine andere Energieform verwandelt und in dieser Form gebunden aufbewahrt wurde. Die Energie, die wir aus dem Wasserfall als Wasserkraft nutzbar gewinnen, ist erst vor kurzem aus der Sonnenwärme umgesetzt worden, denn die Wärme der Sonnenstrahlen hat Wasser zum Verdunsten gebracht, die Wasserdämpfe stiegen als Nebel und Wolken hinauf, fielen als Schnee und Regen in den Bergen nieder und kommen als Bäche und Flüsse zu Tal.

Während aber die Sonne Jahr für Jahr praktisch die gleiche Menge auf die Erde strahlt — von einer Abnahme der auf die Erde gestrahlten Wärme kann selbst in Jahrtausenden nicht gesprochen werden — wird die Energiemenge, die wir auf Erden verbrauchen, d. h. umsetzen, von Jahr zu Jahr größer.

Die Nutzbarmachung der Energie für Zwecke des menschlichen Bedarfes ist mit der wirtschaftlichen Entwicklung der Menschheit immer größer und mannigfaltiger geworden. So wie man die Stufe der Kultur eines Volkes durch den Seifenverbrauch zu messen gewohnt ist, so kann man die Stufe seiner wirtschaftlichen Entwicklung mit ziemlicher Genauigkeit aus seinem Energieverbrauch bestimmen. Die große Entwicklung, welche in der Wirtschaft bei den verschiedenen Völkern in der letzten Zeit vor sich gegangen ist, zeigt sich auch in einer unerwarteten Größe und oft sprunghaften Steigerung des Energiebedarfes, und zwar sowohl hinsichtlich des Bedarfes an mechanischer Arbeit in allen Formen, insbesondere von Elektrizität, als auch hinsichtlich des Bedarfes an Wärme in der industriellen Erzeugung.

Seit dem Beginn der Verwendung von Elektrizität ist eine ununterbrochene Steigerung des Verbrauches elektrischer Energie bei allen Kulturvölkern zu verzeichnen.

In einem Bericht über die Weltkraftwirtschaft, welcher auf der Weltkraftkonferenz 1926 in

Zahlentafel 1.

	Vereinigte Staaten	England	Italien
Energieerzeugung in Millionen kWst			
1907	5862	713	1097
1912	11569	1235	1961
1917	25438	2366	3826
1922	52275	3040	4550

London von Philip A. M. Nash vorgelegt wurde, ist die Steigerung der Energieerzeugung in den Vereinigten Staaten, England und Italien laut Zahlentafel 1 angeführt.

Hiernach ist die Energieerzeugung in England und Italien in dem betrachteten 15jährigen Zeitraum um mehr als 1300% und in den Vereinigten Staaten um nahezu 900% gestiegen. Ähnlich wie in England und Italien werden die Verhältnisse in anderen europäischen Kulturstaaten liegen. In Deutschland ist die Verwendung der motorischen

Kraft in der Industrie allein vom Jahre 1907 bis heute von 1500000 PS auf 12 Millionen PS gestiegen.

Statistische Erhebungen über die auf den Kopf der Bevölkerung entfallende Menge an elektrischer Energie in kWst ergeben ungefähr das in Zahlentafel 2 dargestellte Bild.

Zahlentafel 2¹⁾.

Norwegen	2600 kWst	Deutschland	460 kWst
Kanada	1150 „	Österreich	360 „
Vereinigte Staaten	720 „	England	280 „
Schweiz	700 „	Frankreich	250 „
Schweden	600 „	Italien	170 „

Die elektrische Beleuchtung ist zwar in allen Kulturländern bereits stark eingeführt, immerhin ist eine weitere Verbreitung des elektrischen Lichtes in den von Großstädten entfernter gelegenen Ortschaften noch vielfach zu erwarten. Wesentlich größer sind die Möglichkeiten auf dem Gebiete des elektrischen Heizens und Kochens. Studien, welche beispielsweise in Norwegen angestellt und in den der Weltkraftkonferenz in London vorgelegten Berichten veröffentlicht worden sind, ergeben eine Ausdehnungsmöglichkeit für den Gesamtverbrauch im Haushalte bis auf 1800 kWst je Einwohner, während gegenwärtig nur Bruchteile davon für diese Zwecke Verwendung finden. Allerdings liegen in Norwegen bekanntlich die Verhältnisse besonders günstig; es kann dort beispielsweise die elektrische Heizung auch für Zwecke verwendet werden, für die sie anderswo wirtschaftlich nicht in Frage kommt. Es gibt aber viele Länder, wo die Verhältnisse ähnlich liegen; beispielsweise berichteten Fachleute in der Weltkraftkonferenz, daß in Holland, im Süden Schwedens, oder im Norden Englands das Heizen und Kochen mit Strom auch dann noch wirtschaftlich ist, wenn die elektrische Energie nicht durch Wasserkraft, sondern in Dampfkraftwerken erzeugt wird, die mit englischer Kohle betrieben werden. So z. B. werden in Holland, wo fast ausschließlich Dampfkraftelektrizitätswerke arbeiten, Schulen mit einem Aufwand von 100 W je Sitz elektrisch beheizt, weil dies billiger ist als Kohlenheizung. Auch Marktstände mit einem Aufwand von 200 bis 300 W je Stand oder die Standplätze von Verkehrspolizisten wurden dort schon mit elektrischer Heizung ausgestattet. Da es sich bisher hierbei zunächst um Versuche handelte, welche befriedigende Resultate gezeitigt haben, ist eine große Zunahme des Elektrizitätsverbrauches für derartige Zwecke vorauszusehen. Die Verwendung elektrischer Bügeleisen, von denen z. B. in

¹⁾ Zum Teil aus: „Österreichs zukünftige Energiewirtschaft“ von Ziv.-Ing. Hofbauer. Herausgegeben vom österreichischen Kuratorium für Wirtschaftlichkeit (Ö.K.W.) 1930.

der Schweiz nach der gegenwärtigen Statistik schon 400000 Stück mit einem Jahresverbrauch von 30 Millionen kWst in Verwendung stehen, ferner die immer weiter um sich greifende Einrichtung von Warmwasserspeichern im Haushalte, in denen die Schweiz mit einem Bestand von 10000 Stück Speichern derzeit bereits 50 Millionen kWst jährlich verbraucht u. a. m., bieten in den meisten Ländern noch große Möglichkeiten der Verbrauchssteigerung für Haushalt und verwandte Zwecke elektrischer Energie.

Hierzu kommen noch elektrische Kraftverbraucher, wie Staubsauger, Nähmaschinen, Ventilatoren, Haartrockner, die zwar im einzelnen nur geringe Strommengen beanspruchen, aber bei der immer größer werdenden Anzahl der verwendeten Apparate den Jahresstromverbrauch für den Haushalt insgesamt stark vermehren werden.

Die Landwirtschaft ist ein verhältnismäßig junges Verbrauchsgebiet der Elektrizität. Gerade in Ländern, wo die Elektrizität sonst ziemlich weiten Eingang gefunden hat, ist nur ein kleiner Prozentsatz der vielen Anwendungsmöglichkeiten bereits in die Tat umgesetzt. In Amerika z. B. haben nur ca. 8% aller Farmen elektrischen Anschluß, allerdings verfügen fast die Hälfte der Farmen über anderwärtige Kraftquellen. Die Möglichkeiten des Elektrizitätsverbrauches in der Landwirtschaft sind sehr zahlreich. Die weiteste Verbreitung hat der Strom für motorische Zwecke zum Ersatz der Handarbeit gefunden.

Deutschland steht in dieser Hinsicht wohl an erster Stelle. 90% aller ländlichen Betriebe haben elektrischen Anschluß. Der Stromverbrauch hierfür beträgt ca. 1000 Millionen kWst. Eine in dieser Hinsicht mit an erster Stelle stehende Gütervereinigung bei Klein-Wanzleben¹⁾ mit einem Flächenausmaß von 6500 ha, hat viele hundert Pferdestärken, u. a. 5 Dampfpflüge von je 20 PS, 28 Motorpflüge, 3 Dampfheber, eine große Anzahl Selbstbindemaschinen und Ablegemaschinen, dann Dreschsätze, welche je 45 bis 50 dz marktfähiges Getreide liefern, und viele andere ähnliche Einrichtungen im Betriebe. In allen Teilen dieses Großbetriebes kann elektrisch gedroschen werden, wozu 92 Dreschanschlüsse vorhanden sind. Der landwirtschaftliche Betrieb verfügt über eine große Trockenanlage, die je 24stündiger Arbeitsschicht 800 dz frische Rübenblätter trocknen kann u. dgl. m.

Die Elektrizität für Beleuchtungszwecke dient in der Landwirtschaft nicht nur der optischen Wirkung, sondern auch landwirtschaftstechnischen Zwecken: So z. B. werden Hühnerställe zum Zwecke der Vermehrung der Eierproduktion elektrisch beleuchtet, wodurch im Winter 20 bis 40% mehr Eier erzielt werden. Neue Verwendungszwecke treten stark in Erscheinung, so z. B. die Konservierung von Grün-

¹⁾ V. d. I. Nachr. 19. Oktober 1927.

futter durch elektrischen Strom, die Verwendung von Kippkübeln für Schweinefutterbereitung, deren Verbrauch allein bis zu 1 Milliarde kWst jährlich betragen könnte, Insektenbekämpfung durch elektrisches Licht, Bestrahlung von jungem Geflügel mit ultravioletten Strahlen u. dgl. m. Die Einführung des elektrischen Betriebes in der Landwirtschaft ist um so leichter und könnte um so schneller um sich greifen, als der Strompreis hier meist höher sein darf als für industrielle Zwecke.

Für England wurde z. B. errechnet, daß die Gesamtausgaben bei Strombezug für die meisten landwirtschaftlichen Zwecke nur etwa 6% von den Kosten der Handarbeit betragen, und daß selbst das Arbeiten mit Pferden noch viermal so teuer ist als der elektrische Betrieb. Für die Verbreitung der Elektrizität in der Landwirtschaft ist noch besonders vorteilhaft, daß der Hauptverbrauch im Sommer liegt, was die Belastung der Elektrizitätswerke vergleichmäßig. Es wird bereits in vielen Ländern durch Einrichtung von Musterwirtschaften starke Werbung für Verwendung von Elektrizität in der Landwirtschaft betrieben. Alle diese günstigen Umstände lassen ein weiteres Ansteigen des Stromverbrauches für diese Zwecke voraussehen. Der Strombedarf der deutschen Landwirtschaft nach den nächsten 10 Jahren wird auf 3 bis 4 Milliarden kWst geschätzt¹⁾.

In der Industrie sind die Ursachen der Steigerung des Kraftverbrauches verschiedenartig. Zunächst hat die Entwicklung der Großbetriebe als Folge der Erzeugungsvermehrung eine Vereinigung und Zusammenfassung großer Kraftmengen verursacht. Je größer die Leistungsfähigkeit einzelner Anlagen wurde, desto wirtschaftlicher erschienen die Einrichtungen, welche zum Übergang auf Maschinenbetrieb erforderlich waren. So hat schon die Entwicklung der einzelnen industriellen Betriebe aus den gewerblichen und kleingewerblichen Anfängen wesentlich zur Mechanisierung an Stelle der menschlichen Arbeitskraft beigetragen. Während beispielsweise kleine Molkereien in ländlichen Gegenden noch ausschließlich mit menschlicher Kraft arbeiten könnten, hat ihr Zusammenschluß zu größeren Molkereibetrieben die Möglichkeit geboten, menschliche Arbeitskraft größtenteils durch maschinelle Einrichtungen zu ersetzen.

Immerhin erfordert der Ersatz menschlicher Arbeit durch Maschinen an und für sich verhältnismäßig wenig Pferdekräfte. Der Mensch kommt bei den meisten Verrichtungen einer nur mit geringem Wirkungsgrad arbeitenden Maschine gleich. Dem Studium des Nutzeffektes menschlicher Arbeit wird in der letzten Zeit ein besonderer Zweig der Wissenschaft gewidmet; u. a. hat sich das Kaiser-Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie in Berlin mit diesen Studien beschäftigt.

1) Z. V. d. I. Bd. 71, S. 895. 1927.

Prof. Atzler, der Direktor dieses Institutes, hat Ergebnisse von Versuchen veröffentlicht, nach welchen der besterzielbare Wirkungsgrad bei Gewichtheben nur etwa 8%, beim Feilen etwa 9%, beim Stoßen im Senkrechtstehen etwa 14%, beim Kurbeldrehen etwa 20% beträgt. Eine der ursprünglichsten menschlichen Verrichtungen, für die wegen ihrer Übung von frühester Jugend an die wirtschaftlichste Arbeitsweise vermutet werden sollte, das Gehen auf waagerechter Bahn, wird nur mit einem Wirkungsgrad von im Höchstfall 35% ausgeführt¹⁾.

In kontinuierlichen Betrieben kann der Mensch beispielsweise an einer Zugkette kaum mehr als $\frac{1}{6}$ PS, an einer Kurbel etwa $\frac{1}{10}$ PS leisten. Bei den meisten Verrichtungen ist aber die tatsächliche Leistung noch wesentlich kleiner. Nach alten Studien von Rziha kann die durchschnittliche Leistung eines Arbeiters im Fabriksbetrieb mit ca. $\frac{1}{20}$ PS angenommen werden; dort, wo bloß Handarbeit vorliegt, ist sie noch wesentlich kleiner.

Daher ist auch der Kraftverbrauch von Maschinen, die lediglich die Handarbeit zu ersetzen haben, verhältnismäßig klein; so braucht z. B. eine Zigarettenmaschine, die im Tag 150000 Stück Zigaretten einschließlich Hülsen, Aufdruck usw. erzeugt und die ebensoviel leistet wie 80 bis 90 Arbeiter, nicht mehr als etwa 1 PS, Paketiermaschinen, die 3000 Pakete in der Stunde fix und fertig machen, entsprechend der Menge, die sonst 20 bis 30 Arbeiter in angestrengter Arbeit leisten, etwa $\frac{1}{2}$ bis 1 PS, Webstühle mit einem Kraftbedarf von ca. 0,3 PS leisten das 50fache der Handarbeit, Stickmaschinen das 150fache. Eine Melkmaschine, wie sie allerdings nur für die größten landwirtschaftlichen Betriebe in Frage kommt, kann mit einem Kraftbedarf von 3 PS 90 Kühe je Stunde melken, wozu normalerweise 15 bis 20 Menschen erforderlich wären. Eine moderne Rotations-Schnellpresse, die 150000 Zeitungen je Stunde vollkommen herstellt, druckt, schneidet und faltet, bringt mit wenigen Pferdekräften eine Leistung hervor, deren Bewältigung mit Handarbeit überhaupt kaum mehr denkbar wäre.

Der Kraftbedarf der die Menschenarbeit ersetzenden Maschinen ist infolgedessen für ihre Wirtschaftlichkeit fast bedeutungslos. Wenn zum Ersatz der Arbeitsleistung eines Arbeiters ein Bruchteil einer Pferdekraft genügt, können die Kosten der Pferdekraftstunden noch so hoch sein, sie werden den Aufwand für Löhne niemals erreichen. Bei Einführung des maschinellen Betriebes handelt es sich also meist nur um den Kapitalsdienst ihrer Anschaffung, der nahezu immer eine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit ergibt; diese Verhältnisse haben einerseits durch die gesteigerten Löhne und andererseits durch die verringerte Arbeitsleistung, wie sie in fast allen Ländern und in fast allen

¹⁾ Techn. Wirtsch. H. 4, S. 90—98. 1927.

Industriezweigen beobachtet wurde, besondere Bedeutung gewonnen. Durch Einführung des maschinellen Betriebes werden überdies gleichbleibende Verhältnisse geschaffen; die Gestehungskosten werden weniger abhängig von den unübersehbaren Verschiebungen in den Lohnverhältnissen. Hierzu kommt besonders schwerwiegend der große Vorteil der Unabhängigkeit des maschinellen Betriebes von der Qualität des Arbeitspersonales. Aus allen diesen Gründen ist mit einer weiteren und stetigen Steigerung des Kraftbedarfes zum Ersatz der Menschenarbeit zu rechnen. Wie aber aus obigen Beispielen hervorgeht, ist die hierdurch hervorgerufene Steigerung des Kraftbedarfes der absoluten Größe nach nicht übermäßig hoch.

Der Kraftbedarf der Industriezweige ist an und für sich überaus verschieden. Er wird im folgenden sowohl seiner absoluten Größe nach als auch im Verhältnis zum Wärmebedarf der betreffenden Industrie als Grundlage für die Wirtschaftlichkeit noch eingehend bei den einzelnen Industriezweigen zu besprechen sein. In kaufmännischer Hinsicht hängt die Bedeutung des Kraftbedarfes in erster Linie von dem Anteil ab, den die Kosten zu seiner Deckung an den gesamten Herstellungskosten des betreffenden Industrieproduktes darstellen. Wie verschieden die Verhältnisse hier liegen, läßt sich beispielsweise aus einigen Ziffern der deutschen Kraftmaschinenstatistik ersehen, in welcher nach der gewerblichen Berechnungstabelle vom Juni 1925 für einige Industriezweige der Kraftbedarf je 100 beschäftigte Personen angegeben ist.

Zahlentafel 3.

Industriezweig	Kraftbedarf je 100 beschäftigte Personen
Eisen- und Metallgewinnung	500 bis 650 PS
Chemische Industrie	300 „
Papierindustrie und Vervielfältigungsgewerbe	172 „
Industrie der Steine	138 „
Nahrungsmittelindustrie	127 „
Maschinenbau	118 „
Holzindustrie	108 „
Textilindustrie	107 „
Lederindustrie	94 „
Eisen- und Metallwaren	63 „
Baugewerbe	30 „
Bekleidungs-gewerbe	10 „
Durchschnitt aus der ganzen Industrie einschließlich Bergbau und Baugewerbe.	145 PS

Diese Ziffern sind nur Durchschnittswerte und in jeder der angeführten Industriegruppen kommen natürlich noch große Verschiedenheiten in Frage. Besonders große Unterschiede gibt es in der Gruppe der chemischen Industrie, in welcher nach der Zahlentafel nur ungefähr

3 PS auf einen Arbeiter entfallen, während es chemische Betriebe gibt, bei welchen bedeutende Kraftmengen und sehr wenig Arbeiter in Verwendung stehen. Gerade die hierher gehörigen elektrochemischen und metallurgischen Industrien haben sich in den letzten Jahrzehnten besonders entwickelt, und es ist hier, da es sich um die Erzeugung lebenswichtiger Bedarfsartikel handelt, die in immer größeren Mengen erzeugt werden müssen, eine Grenze für den Kraftbedarf in der nächsten Zeit nicht abzusehen.

Die Erschöpfung der Salpeterlager von Chile, deren Vorrat nach Schätzungen vor Kriegsbeginn nur noch 25 bis 50 Jahre reichen sollte, hat den Anstoß zur Stickstoffgewinnung aus der Luft im großen Stil gegeben. Die jährliche Salpetergewinnung in Chile betrug in den letzten Vorkriegsjahren ca. 2700000 t, Deutschland allein hat in jener Zeit im Jahre etwa 800000 t Chilesalpeter neben 400000 t schwefelsaurem Ammoniak gebraucht. Die österreichische Einfuhr an Chilesalpeter betrug in den letzten Friedensjahren 93000 t.

Zur Erzeugung einer Menge von Luftsalpeter, die dem Stickstoffgehalt nach der Chilesalpetererzeugung der letzten Friedensjahre gleichwertig ist, wären ca. 3500000 PS ununterbrochen, d. i. durch 8600 Stunden im Jahre in Betrieb zu halten. Der jährliche Stickstoffbedarf der Erde wird mit 6300000 t je Jahr angegeben. Seine Erzeugung aus der Luft in Form von Luftsalpeter würde ca. 64 Milliarden Pferdekraftstunden (8000000 PS durch 8000 Stunden je Jahr) erfordern.

Die Verwendung von Salpeter und anderen Stickstoffverbindungen wird aber eine weit größere werden. Die Landwirtschaft stellt ein Verwendungsgebiet von unermeßlicher Ausdehnung dar.

Um hierfür nur ein kleines Beispiel anzuführen, sei erwähnt, daß der Durchschnittsertrag eines Hektars in Deutschland 2000 kg Weizen oder 1600 kg Roggen beträgt, während in Österreich ein Hektar im Durchschnitt nur 1100 kg Weizen oder 1070 kg Roggen liefert. Um den Ertrag in Österreich auf jenen Deutschlands zu bringen, wären je Hektar rund 10 kg Stickstoff erforderlich, zu deren Erzeugung rund 100 Pferdekraftstunden benötigt werden. Wenn man für die gesamte Anbaufläche Österreichs von ca. 2,2 Millionen ha und für die verschiedenen landwirtschaftlichen Erzeugnisse diese Rechnung anstellt, so ergibt sich ein Düngerbedarf entsprechend rund 19000 t Stickstoff, zu deren Erzeugung fast 200 Millionen Pferdekraftstunden erforderlich wären. Dabei stünde die Verwendung von 10 kg Stickstoff je Hektar noch weit hinter den in Deutschland bereits verwendeten Düngermengen zurück. Hieraus kann man sich ein Bild über die Größenordnung der für derartige Zwecke verwendbaren Kraftmengen machen.

Deutschland galt vor dem Kriege als Hauptabnehmer Chiles. Der während des Krieges notwendig gewordene Ersatz für die Einfuhr von

Chilesalpeter hat zur Errichtung von Luftstickstoffanlagen ungewöhnlich großer Abmessungen (u. a. in Leuna, Oppau, Chorzow) geführt; während des Krieges waren Hunderttausende von Pferdestärken für diese Zwecke in Betrieb. Nach dem Kriege ist die Frage des Ersatzes von Chilesalpeter durch künstlichen Stickstoff eine rein industrielle und wirtschaftliche geworden. Die Erzeugung von künstlichen Nitraten nimmt ununterbrochen zu, während die Ausfuhr von natürlichem Salpeter aus Chile entsprechend abnimmt. Wie aus Zahlentafel 4 ersichtlich, ist die Salpeterausfuhr von Chile in den Jahren 1913 bis 1927 um mehr als 30% gefallen, während die Erzeugung von Kunstsalpeter ungefähr den Unterschied der Salpeterausfuhr deckt.

Zahlentafel 4.

Jahr	Salpeterausfuhr Chiles in t	Erzeugung von Kunstsalpeter in t
1913	2700000	5000
1927	1750000	800000

Die Zunahme der künstlichen Nitraterzeugung, ein nahezu beispielloser Erfolg des Fortschrittes der Technik und der hervorragenden industriellen Betätigung Deutschlands auf dem Gebiete der Chemie, haben zu wirtschaftlichen Kämpfen zwischen dem künstlichen Salpeter und dem chilenischen Salpeter geführt. Diese Kämpfe, die sich in erster Linie auf dem Gebiete der Preisfeststellungen abspielen und durch die immer geringer werdenden Herstellungskosten des künstlichen Salpeters die chilenischen Unternehmungen arg bedrängen, bilden eine große weltwirtschaftliche Aufgabe, deren Lösung kaum in anderer Weise als in einer schweren Niederlage der chilenischen Unternehmungen denkbar ist. Deutschland ist heute schon von der chilenischen Salpeter-einfuhr nahezu ganz unabhängig.

Über den Kraftbedarf der elektrochemischen und elektrometallurgischen Vorgänge, sowie über die Bedeutung und den Umfang dieses Wirtschaftszweiges gibt Zahlentafel 5¹⁾ ein ungefähres Bild. Es finden sich hier für die 15 bedeutendsten in Frage kommenden elektrochemischen Verfahren Angaben über die jährlichen Erzeugungsziffern.

Die letzte Spalte dieser Zahlentafel gibt den Kraftverbrauch der einzelnen Vorgänge für die Gewichtseinheit des betreffenden Erzeugnisses bzw. seiner Elemente an.

So werden z. B. zur Gewinnung von 1 kg Stickstoff in Form von Luftsalpeter 70 kWst oder rund 90 PSst gebraucht. Da 1 kg Stickstoff in etwa 8 kg Luftsalpeter enthalten ist, entfällt auf 1 kg Luftsalpeter

¹⁾ Diese Zusammenstellung ist ursprünglich einem Vortrage, den Prof. Dr. Emil Baur in Zürich im Jahre 1915 gehalten hat und der in der Zeitschrift für Wasserwirtschaft 1915 unter dem Titel „Die elektrochemischen und elektrometallurgischen Industrien“ veröffentlicht war, entnommen. Die Zifferangaben sind für die gegenwärtigen Verhältnisse richtiggestellt.

10 Die wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung des Energieverbrauches.

eine Energiemenge von rund 11 PSst. Für Kalkstickstoff ergibt sich ein Kraftverbrauch von ca. 4,7 PSst je kg. Einen sehr großen Kraftverbrauch weist die Herstellung von Wasserstoff durch Wasser-Elektrolyse auf; für 1 kg Wasserstoff sind 60 kWst, also ca. 80 PSst erforderlich.

Zahlentafel 5.

Erzeugungs-Vorgang	Jahres-Erzeugung	Beiläufiger Kraft (kWst)-Bedarf für
1. Chloralkalielektrolyse	410000 t NaOH + 370000 t Chlor + 13000 t Wasserstoff	1 kg NaOH } = 3,2 kWst + 1 kg Cl } 1 kg KOH = 2,8 kWst
2. Chlorat	18000 t KClO ₃ (1908)	1 kg KClO ₃ = 8 kWst
3. Kupferraffination . .	1 600 000 t Cu (1927)	1 kg Cu = 0,44 kWst
4. Aluminium	206000 t Al (1927)	1 kg Al = 25 kWst
5. Natrium	25000 t Na (1927)	1 kg Na = 15 kWst
6. Synthetisches Ammoniak		
a) chem. erzeugter H	} ca. 1 000 000 t N {	1 kg N = 2,1 — 3 kWst
b) elektrol. erzeugter H		1 kg N = 20 kWst
7. Kalkstickstoff (aus Karbid)	85000 t N (Deutschld. 1927)	1 kg N = 17,5 kWst (oder 1000 kg N in Form von Kalkstickstoff = 2 kW-Jahre)
8. Synthetische Salpetersäure (Luftverbrennung)	40000 t N	1 kg N = 70 kWst ¹⁾
9. Karbid (ohne Kalkstickstoff)	170000 t CaC ₂ (Deutschld. 1927) 610000 t CaC ₂ Welt (1927)	1 kg CaCe = 4 kWst
10. Ferrosilizium	200000 t FeSi { 45% 75% 90%	1 kg FeSi = { 6 kWst 11 „ 15 „
11. Carborundum	8000 t SiC	1 kg SiC = 10 kWst
12. Graphit	25000 t Graphit	1 kg Graphit = 10 kWst
13. Stahlraffination . . .	100000 t Stahl (1918)	1 kg Stahl = 1 kWst
14. Roheisen	160000 t Roheisen (Schweden 1920)	1 kg Roheisen = 2,5 kWst
15. Wasserzersetzung . .	—	1 kg H = 12 m ³ H = 60 kWst

Anmerkung: Wo nicht anders angegeben, beziehen sich diese Ziffern auf die Welterzeugung und auf das letzte Vorkriegsjahr.

Zum Vergleich des Kraftverbrauches dieser neueren elektrochemischen Verfahren gegenüber anderen Industrien ist in Zahlentafel 6 eine Zusammenstellung angeschlossen, in der einige andere Industriezweige aufgezählt sind.

Auf hüttenmännischen Gebieten bricht sich in der letzten Zeit immer mehr das Bestreben Bahn, den Brennmaterialverbrauch auf Kosten des Kraftverbrauches zu verringern.

¹⁾ Neueste Verfahren gehen bis auf etwa 5 kWst herunter.

Der Koksverbrauch in der Roheisenherstellung beträgt 0,8 bis 1,2 t je Tonne Roheisen. Er läßt sich durch Verwendung von Elektrizität bis auf $\frac{1}{3}$ verringern, wenn an elektrischem Strom ca. 2,5 kWst je kg Roheisen angewendet werden. Da aber im Hochofenbetrieb mit Koks aus den entweichenden Gichtgasen noch Kraft gewonnen werden kann (ca. 0,6 kWst je kg Roheisen), was beim Elektrohochofen zum größten Teil entfällt, entsprechen der ersparten Koksmenge von 0,6 bis 0,8 kg rund 3 kWst an elektrischem Strom. In der Stahlherstellung ist der Verbrauch von 0,2 bis 0,4 kg Kohle je kg Stahl durch Aufwendung von 0,8 bis 1 kWst vollständig zu ersparen (s. auch dritter Abschnitt, Eisen-Industrie).

Zahlentafel 6.

Industriezweig	Erzeugungseinheit	Kraft PSst
Elektrochemische Industrien:		
Luftsalpeter	je kg	11
Kalkstickstoff	je kg	5
Aluminium	je kg	35
Kalziumkarbid	je kg	5
Wasserstoff	je m ³	7
Andere Industrien:		
Sauerstoff (Luftdestillation)	je m ³	4
Holzstoff	je kg	2
Zement	je kg	0,13
Weizenmühle	je kg	0,1
Eis	je kg	0,05
Spinnerei	je kg	2
Elektrizität	je kWst	1,5

Die Bestrebungen zur weiteren Verwendung von elektrischer Energie in der Hüttentechnik werden eifrig verfolgt. Die Vorteile des elektrischen Betriebes sind hier insbesondere für Qualität und Reinheit des Produktes wichtig.

Durch diese wenigen Beispiele ist das sprunghafte Ansteigen des Kraftbedarfes durch die neuen elektrochemischen und elektrometallurgischen Fabrikationsmethoden wohl deutlich veranschaulicht.

Und mitten in dieser Welt steigenden Kraftbedarfes steht der Ingenieur und soll ihre Bedürfnisse decken.

Dabei handelt es sich aber nicht nur um die Deckung der notwendigen Kraftmengen an und für sich; es handelt sich in erster Linie darum, diese Kraftmengen genügend billig zu beschaffen. Je größer der Kraftbedarf als Erzeugungsanteil einer Fabrik ist, desto mehr tritt die Frage des Kraftpreises in den Vordergrund. Für die neuen Verfahren der Elektrochemie und der Elektrometallurgie ist der Preis einer Kilowattstunde einer der ausschlaggebenden Kostenanteile.

Wie sehr die Möglichkeit, elektrochemische und elektrometallurgische Verfahren anzuwenden, vom Strompreis abhängt, und wie niedrig die Strompreise sein müssen, wenn sie für derartige Verfahren überhaupt in Frage kommen sollen, läßt sich schon aus einigen der vorangeführten Ziffern beurteilen. Wenn beispielsweise bei der Stahlherstellung durch 0,9 kWst 0,3 kg Kohle erspart werden, so dürfte die kWst nicht mehr kosten als $\frac{1}{3}$ kg Kohle. In einer Gegend mit dem Kohlenpreis von Mk. 24 je t wäre sohin die Verwendung elektrischen Stromes für die Stahlherstellung ausgeschlossen, wenn der Strom wesentlich mehr kosten würde als 0,8 Pf. je kWst. Selbstverständlich gilt diese Preisgrenze nicht für Spezialstahl, der in der benötigten Qualität überhaupt nur im Elektroofen erzeugt werden kann, wohl aber gilt sie für die normalen Stahlsorten. Derartige Berechnungen lassen sich für sämtliche Erzeugnisse, die auf elektrochemischem und elektrometallurgischem Wege hergestellt werden können, anstellen. Die stetig größere Anwendung dieser Prozesse hat aber trotz der Erfolge der wissenschaftlichen Forschung, durch welche der Strombedarf je Einheit immer wieder herabgesetzt wird, als Schlußergebnis noch eine starke Vermehrung des Strombedarfes zur Folge.

Ähnlich dem Kraft- bzw. Strombedarf ist durch die neuzeitlichen Erzeugungsarten in der Industrie auch der Wärmebedarf im Steigen begriffen. Auch hier liegt die Ursache zunächst in der Steigerung der Erzeugung an und für sich, dann aber auch in der Verwendung der Wärme für neuartige Zwecke. In der chemischen Industrie werden z. B. Verfahren, die früher vielfach in kaltem oder nur mäßig warmem Zustande verliefen, unter wesentlich höheren Temperaturverhältnissen durchgeführt. Viele chemische Prozesse werden bei höherer Temperatur wesentlich beschleunigt und abgekürzt, ein Umstand, den die moderne Technik in dem ihr eigenen Streben nach vorteilhafter Gestaltung der Herstellung reichlich ausnützt. Zahlreiche Trockenprozesse, welche man früher einfach im Freien und an der Luft in der Sonne vor sich gehen ließ, werden jetzt mittels besonderer Einrichtungen unter Aufwand von Wärme künstlich durchgeführt u. dgl. m.

Der schnelle Aufschwung, den die Technik bei der Gewinnung der verschiedenartigsten Stoffe aus der Kohle in der letzten Zeit nahm, insbesondere die Gewinnung von Öl aus Kohle nach den neuesten Verfahren, erheischen große Wärmemengen, wobei es nicht nur auf diese selbst, sondern auch auf hohe Drücke und hohe Temperaturen ankommt. Überhaupt hat sich allgemein das Niveau der Drücke und der Temperaturen, unter denen die Herstellungsvorgänge verlaufen, in den letzten Jahren wesentlich gesteigert. Im späteren wird noch ausführlich darüber zu sprechen sein, wie einerseits bei einzelnen Verfahren hohe Drücke und Temperaturen aus chemischen und physikalischen

Rücksichten erforderlich werden, während andererseits der Zug der modernen Energiewirtschaft danach gerichtet sein muß, für viele Herstellungszwecke mit möglichst niederen Drücken und Temperaturen das Auslangen zu finden.

Insgesamt zeigt die Entwicklung der Wärmewirtschaft einerseits ein Ansteigen des Wärmebedarfes seiner absoluten Höhe nach, andererseits aber eine Verschiebung der Druck- und Temperaturgrenzen sowohl nach oben als auch nach unten. Die Verschiedenartigkeit der Bedürfnisse der sich immer mehr verfeinernden industriellen Herstellungsarten hat diese Ausbreitung der Druck- und Temperaturgebiete nach oben und nach unten zur Folge gehabt. Die richtige Deckung der Herstellungsbedürfnisse im Rahmen eines einheitlichen Kraft- und Wärmewirtschaftsplanes wird dadurch eine immer schwieriger zu übersehende Aufgabe. Die schablonenhafte Lösung energiewirtschaftlicher Fragen ist nur mehr in ganz wenigen Industrien mit einheitlicher Arbeitsweise und einheitlichen Rohstoffen und da auch nur in begrenztem Maße möglich (z. B. Zuckererzeugung, Dampfmühlen), während in den meisten Industriezweigen jeder einzelne Betrieb hinsichtlich seiner Kraft- und Wärmeversorgung eine Aufgabe für sich darstellt, deren wirtschaftliche Lösung nicht nur von den besonderen, für die betreffende Anlage in Frage kommenden Herstellungsarten, sondern auch von örtlichen Verhältnissen und vielen anderen Umständen abhängt.

Über den Wärmebedarf der Industrie und seine Deckung.

Die Wärmeverwendung zu verschiedenen industriellen Arbeitsvorgängen (Trocken-, Koch-, Heizzwecke u. dgl.) ist nahezu ebenso vielgestaltig wie die Industriezweige, die bei der Erzeugung Wärme brauchen. Die ursprünglichste Art der Deckung des Wärmebedarfes bestand in der Verwendung unmittelbaren Feuers; der über dem Feuer hängende steinerne, eiserne oder kupferne Trog ist der erste industrielle Kocher. Diese Art der Wärmeverwendung ist mit wenigen Ausnahmen, wie Schmelz-, Glüh- und Brauvorgänge, heute bei den meisten Industriezweigen vollständig, bei den wenigen übrigen zum größten Teile durch neuere Verfahren ersetzt worden, bei denen die Wärmevorgänge mittels eines Heizmittels (Dampf, Heißwasser, Warmwasser od. dgl.) durchgeführt werden. Das Kochen, Heizen, Trocknen mit Dampf hat sich nahezu in allen Industriezweigen eingebürgert, trotzdem das Bestreben, das Zunft- und Gewohnheitsmäßige beizubehalten, der Einbürgerung neuer Verfahren besonders in früherer Zeit große Schwierigkeiten bereitete. Auch heute noch gibt es gewisse Industriezweige, bei denen die Meinungen über die richtigen Koch- und Heizverfahren geteilt sind; in vielen Industrien findet man verschiedene Verfahren; es tritt sogar nicht selten der Fall ein, daß beispielsweise vom Dampfkochen auf das ursprüngliche Feuerkochen wieder zurückgegangen wird. Für gewisse Vorgänge, welche sehr hohe Temperaturen erfordern, z. B. das Darren, ist das Beheizen mit heißen Gasen in der Natur des Verfahrens begründet, sei es, daß die Feuergase unmittelbar dazu verwendet werden, sei es, daß mittels Heizkörpern Heißluft für diesen Zweck erzeugt wird. Ersteres Verfahren wird (z. B. beim Trocknen von Rübenschnitten) aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Einfachheit vielfach benützt. Im allgemeinen kann aber festgestellt werden, daß wohl mindestens 90% aller Koch-, Heiz- und Trockenvorgänge in der Industrie unter Verwendung eines Heizmediums (vornehmlich Dampf) vor sich gehen.

Die Wärmeerfordernisse der einzelnen Verfahren sind überaus verschieden. Die Anforderungen erstrecken sich nicht nur auf die Wärmemengen überhaupt, sondern auch auf bestimmte Temperaturniveaus,

die zwischen gewissen Grenzen weder überschritten noch unterschritten werden dürfen. Von größter Wichtigkeit ist jedoch auch noch, daß viele Vorgänge sehr stark schwankende Wärmemengen brauchen bzw. einen bestimmten Temperaturverlauf in gewissen Zeitabschnitten verlangen; sowohl die wirtschaftlichste Zeitdauer der Verfahren, als auch die Qualität der erzeugten Waren hängt meist davon ab, daß allen diesen Anforderungen Rechnung getragen werde.

Die Feststellung des Wärmebedarfes und seines zeitlichen Verlaufes kann zwar bei einzelnen Vorgängen rechnerisch erfolgen. Diese Rechnungen müssen aber immer noch durch den Versuch ergänzt oder bestätigt werden; oft, insbesondere dann, wenn auch chemische Einwirkungen mitspielen, bildet der Versuch die einzige Möglichkeit, den Wärmebedarf

und seine Schwankungen in den einzelnen Zeitabschnitten einwandfrei festzustellen (siehe Bd. I, S. 8). Grundbedingung für die Erzielung eines richtigen Ergebnisses ist aber, daß der Arbeitsvorgang während des Versuches so geführt werden kann, wie es die Praxis erfordert, d. h.

daß die in jedem Augenblick aus fabrikationstechnischen Rücksichten erforderliche Wärmemenge auch tatsächlich zur Verfügung steht. Wenn beispielsweise der Dampfkessel nicht in jedem Zeitpunkt so viel Dampf liefert, als der Vorgang eben braucht, erhält man durch einen praktischen Dampfverbrauchsversuch an dieser Anlage ein ganz falsches Bild über die Bedürfnisse dieses Prozesses. In Abb. 1 ist durch die gestrichelte Linie der Dampfbedarf eines Kochvorganges, wie er in der Praxis tatsächlich auftritt, angegeben. Es kommen hierbei Dampfverbrauchsspitzen bis nahezu 9000 kg je Stunde vor. Wenn jedoch der Kessel, der den notwendigen Dampf dazu liefert, nur max. 5000 kg/st erzeugen läßt, so verläuft der Vorgang nach der voll ausgezogenen Linie. Die Wärmemenge (*a*), welche wegen der zu geringen Leistungsfähigkeit des Kessels nicht zugeführt werden konnte, muß später zugeführt werden (*b*), was eine Verlängerung der Teilvorgänge zur Folge hat. Der Zustand, der eigentlich nach 12 Stunden erreicht sein sollte, tritt erst nach 15 Stunden ein. Wenn man nun in einer der-

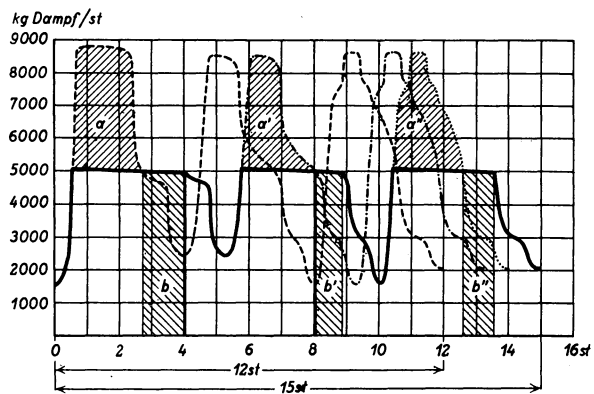


Abb. 1. Dampfbedarf eines Kochvorganges.

artigen Betriebsanlage den Wärmeverbrauch feststellen wollte, würde man das Bild, wie es sich aus der voll ausgezogenen Linie ergibt, für den Wärmebedarf der Kochung erhalten, während tatsächlich der Wärmebedarf der gestrichelten Linie entspricht. Dies gilt für alle Herstellungsverfahren, deren Art und Dauer in einem, den Betriebsleitern oft nicht bewußten, hohem Maße von den Verhältnissen der Dampferzeugung oder auch von der Dampfverteilung (Leitungsdimensionen u. dgl.) abhängt. Infolgedessen muß man bei Messungen, die man zwecks Bestimmung des Dampfbedarfes von Arbeitsvorgängen macht, immer sorgfältig prüfen, ob das Messungsergebnis nicht durch unzureichende Dampfzufuhr beeinflußt ist. Auf der Erkenntnis, daß die meisten dieser Verfahren nicht mit höchster Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden können, weil die Gesamtanlagen den großen Schwankungen in ihrem Dampfbedarf nicht nachkommen, und die Dampfspitzen, die sie erfordern, nicht anstandslos gedeckt werden können, fußt auch ein Teil der großen Erfolge, welche in der Industrie durch die Wärmespeicher erzielt werden können. (Näheres hierüber im vierten Abschnitt.)

I. Industrielle Trockenverfahren.

Es gibt wohl kein Gebiet der Wärmewirtschaft, bei dem so grundlegende Mannigfaltigkeiten in den verschiedenen Industriezweigen obwalten, wie auf dem Gebiete des Trocknens.

Zunächst ist das Verhalten der Materialien während des Trocknens verschiedenartig. Durch die Eigenschaften des Materials wird aber in erster Linie das Prinzip des Trockenapparates bestimmt. Materialien, die im feuchten Zustand zur Verkrümelung neigen oder im getrockneten Zustand leicht zerbröckeln oder in Staub zerfallen, dürfen natürlich im Trockenapparat keinen großen mechanischen Einwirkungen unterworfen werden. Hier kommen also umlaufende Trommeln, wie sie für widerstandsfähige Stoffe vorteilhaft verwendet werden können, nicht in Frage. Für leicht zerfallende Stoffe sind auch Einrichtungen unbrauchbar, in denen das Trockengut auf Sieben bewegt wird, die auf Walzen laufen und die auf mehreren Etagen untergebracht sind, so daß das Material jeweils vom oberen Sieb am Ende der Laufbahn auf das zunächst darunter liegende hinunterfällt, um dort wieder auf die andere Seite geführt zu werden. Vielmehr werden für solche Zwecke meistens Trockeneinrichtungen verwendet, in denen das Trockengut auf Horden gelegt wird, die in einen Trockenkasten eingeschoben werden. Solche Einrichtungen, in denen das Gut ruht, kommen für viele Zwecke der chemischen und pharmazeutischen Industrie ausschließlich in Frage. Auch eines Bandtrockners mit einem einfachen

Band, das durch einen entsprechend langen luftgeheizten Schlauch geführt wird, kann man sich vielfach bedienen. Das nasse Gut wird am Anfang des Kastens auf das Band aufgelegt und am Ende desselben im getrockneten Zustand abgenommen.

Oft muß das Trockengut hängend getrocknet werden; Hängetrockner kommen z. B. in verschiedenen Zweigen der Druckerei in Anwendung. In der Textildruckerei läuft das bedruckte Gewebe direkt von der Druckmaschine in die sogenannte Mansarde, wo es sich in etwa 3 m langen Schleifen an einzelnen Stäben hängend langsam durch den Trockenraum bewegt, in welchem es einem stärkeren oder geringeren warmen Luftstrom ausgesetzt ist. In der Tapetendruckerei erfolgt dieser Trockenvorgang meist in offenem Raum, der durch einige Heizkörper etwas erwärmt wird. Bandartige Stoffe werden vielfach auf Trockenzylindern (geheizte Trommeln, über die das Band läuft) getrocknet. Derartige Apparate sind in der Textilindustrie, Papierindustrie u. a. von großer Bedeutung. Die verschiedenen Trockenprinzipien müssen mitunter vereinigt werden und ergeben dann oft verwickelte Verhältnisse für die Wege des Wärmemediums. Schon diese wenigen Beispiele zeigen, welche weitgehende Rücksicht auf die Art des Trockengutes bei dem Entwurf der Trockeneinrichtungen zu nehmen ist.

Ebenso wichtig und für die Güte des Trockengutes maßgebend sind die rein wärmetechnischen Verhältnisse. Es ist schon im ersten Band (S. 217) darauf hingewiesen worden, welche Wichtigkeit der Temperatur, bei der getrocknet wird, allerdings vom Standpunkte wirtschaftlichster Wärmeausnutzung, zukommt. Noch wichtiger scheint jedoch die Einhaltung bestimmter Temperaturen, wegen der in Frage kommenden Stoffeigenschaften und der damit zusammenhängenden chemischen und physikalischen Vorgänge. Ihr Einfluß auf die Trocknung ist wissenschaftlich noch nicht genau geklärt, wie denn überhaupt die im Innern der Stoffe während der Trocknung vor sich gehenden Teilvorgänge noch nicht genügend erforscht sind. Das im Trockengut enthaltene Wasser muß im Verlaufe des Trockenvorganges in den Poren zunächst verdunsten, und es müssen dann Druck- und Diffusionserscheinungen vor sich gehen, die bewirken, daß dieser Wasserdunst aus den tiefer im Innern gelegenen Poren allmählich in die der äußeren Schichten hinüber wandert, um dann von der Oberfläche in den trocknenden Luftstrom zu gelangen. Diese Vorgänge sind äußerst verwickelt, denn es kommen dabei noch physikalische Nebenerscheinungen wie Oberflächenspannung, Wärmefluß u. dgl. zusätzlich in Betracht. Oft treten Reaktionserscheinungen auf, deren Berücksichtigung den Vorgang günstig beeinflussen, deren Unkenntnis aber eine schwere Schädigung des Trockengutes zur Folge haben kann. Hierher gehört z. B. bei der Heutrocknung die Oxydation des Heues, die bei Temperaturen über

70° C auftritt, oder das Karamelisieren bei der Trocknung von Zuckerrüben, das Ranzigwerden von Milcherzeugnissen und ähnliches. Überhaupt ist bei Lebens- und Futtermitteln die möglichst vollkommene Erhaltung der Nährstoffe von Wichtigkeit und sachgemäßes Trocknen daher nicht nur wegen der zu erreichenden Qualität, sondern auch wegen der Haltbarkeit unbedingt geboten.

Die neuere Forschung unterscheidet schon hinsichtlich der Art, wie das Wasser im Trockengut enthalten ist, drei Typen von Feuchtigkeit, die in der Bezeichnung „Haftwasser“ (an der Oberfläche), „Kapillarwasser“ (in den Zwischenräumen zwischen den Körperteilchen) und „Quellwasser“ (innerhalb der Zellenwände) ihren Ausdruck finden¹⁾. Jede dieser Wasserarten erfordert für ihre Entfernung aus dem Trockengut verschiedene Rücksichtnahme. Außer dem meist zu entfernenden Wasser können auch andere Flüssigkeiten in Frage kommen.

Beim Trocknen durch Wärmezufuhr mittels eines gas- oder dampfförmigen Wärmeträgers muß immer der Dampfdruck im Wärmeträger unterhalb des Sättigungsdruckes liegen. Nur dann hat die Flüssigkeit im Trockengut die Möglichkeit, herauszudampfen. Sie nimmt dabei aus dem Wärmeträger Wärme auf, dieser wird dadurch abgekühlt und mit Dampf angereichert.

Zum Eindringen der Wärme in das Arbeitsgut und zur Entfernung des Wasserdampfes aus diesem ist je nach dessen Beschaffenheit eine in weiten Grenzen schwankende Zeit erforderlich. Je größer z. B. das Verhältnis von Oberfläche des Trockengutes zu seiner Stärke oder je geringer Stärke und Dichte eines Stoffes ist, um so kürzer ist bei gleicher sonstiger Beschaffenheit die Trockenzeit. Bei empfindlichen Trockengütern muß die notwendige Beschränkung in der Temperatur oft durch Wahl einer entsprechend langen Trockenzeit ausgeglichen werden.

Auch der zweckmäßigen Führung des Wärmeträgers an der Oberfläche des Trockengutes kommt große Bedeutung zu. Durch Wirbelbildung wird die Möglichkeit begünstigt, daß stets neue ungesättigte Teile des Wärmeträgers mit der Gutoberfläche in Berührung kommen.

Wird mit Luft getrocknet, so verhält sich der Sättigungsdruck des Dampfes annähernd wie die vierte Potenz der Temperatur. Daher steigt bekanntlich das von 1 kg Trockenluft aufnehmbare Dampfgewicht sehr rasch bei Erhöhung ihrer Temperatur. Man kann daher bei höheren Temperaturen mit wesentlich geringeren Mengen des Wärmeträgers auskommen als bei niedrigeren, wie aus Zahlentafel 7 hervorgeht.

¹⁾ Siehe diesbezüglich: Die Trockentechnik von M. Hirsch (eingehende Darstellung der Theorie und Praxis des Trocknens und der Trockner). Berlin: Julius Springer 1927.

Zahlentafel 7. Von 1 kg Trockenluft mittragbares Dampfgewicht bei 760 mm Barometerstand.

Lufttemperatur Grad Celsius	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1 kg Feuchtigkeit erfordert zur Abdampfung eine trockene Luftmenge von Kilogramm.	68	36,5	20,05	11,5	6,5	3,6	1,8	0,7	0

Man kann das Luftgewicht L in kg, welches zur Abdampfung von 1 kg Wasser aus dem Trockengut erforderlich ist, aus der Gleichung

$$L = \frac{1}{f_e - f_a}$$

ermitteln, wobei f_a und f_e den Wassergehalt je Kilogramm warmer Frischluft bzw. Abluft bedeuten. Bei der Wasseraufnahme erniedrigt sich die anfängliche Temperatur des Wärmeträgers auf die Temperatur der Abluft t_e . Hierbei hat der Wärmeträger die Wärmemenge Q abgegeben. Wird berücksichtigt, daß die spezifische Wärme für Luft etwa 0,25 und für Dampf etwa 0,5 je kg beträgt und daß für die Verdampfung von 1 kg Wasser rund 600 WE nötig sind, so ergibt sich die Abkühlung der Luft annähernd zu

$$t_a - t_e = \frac{600 (f_e - f_a)}{0,25 + 0,5 f_a} \text{ } ^1).$$

Das Sinken des Bedarfes an Heizdampf bei Zulassung höherer Ablufttemperaturen ist aus Abb. 2 ersichtlich²⁾. Es zeigt beispielsweise, daß bei Abluft von 55° C und 80proz. Sättigung der Heizdampfverbrauch für 1 kg Wasseraustreibung nur 1,28 kg beträgt, während bei besättigter Abluft von 30° C 1,44 kg Heizdampf benötigt wird.

Mit gesättigter Abluft kann jedoch in der Praxis, namentlich wenn nur geringere Frischlufttemperaturen zulässig sind, selten gerechnet werden. Bei den früher meist gebräuchlichen Trockeneinrichtungen, z. B. in der Textilindustrie, entweicht oft die Abluft mit einer Sättigung von nur 10 bis 20%. Um dem Ziele möglichst hoher Sättigung näher zu kommen, verwendet man in neuerer Zeit weitgehend den sogenannten Umluftbetrieb, bei welchem die Abluft zum Teil mit Frischluft vermengt und wieder aufgewärmt, neuerlich über das Trockengut geführt wird. Auch in der Zwischenerhitzung ist ein Mittel gegeben, Entnahmeluft durch neuerliche Aufwärmung dem Trockenvorgang für verstärkte Wasseraufnahme nochmals dienstbar zu machen.

¹⁾ Genauer gerechnet ist aus $(0,25 + 0,5 f) dt = 600 df$. (1)

$t_a - t_e = 1200 \log \text{nat} \frac{0,25 + 0,5 f_e}{0,25 + 0,5 f_a}$. (2)

²⁾ Siehe auch Backhaus: Trocknen, Kochen, Verdampfen. Sparwirtschaft 1927, H. 7, S. 367.

Zu den Heißdampfverbrauchsziffern, die sich theoretisch ergeben, kommen in der Praxis Zuschläge von 50 bis 100%, die den verschiedenen Verlusten beim Trockenvorgang und der notwendigen Aufwärmung des Trockengutes Rechnung tragen.

Während noch bis vor kurzer Zeit die wärmewirtschaftliche Untersuchung auf rechnerischem Wege vorgenommen wurde, kann heute hierfür die Molliersche

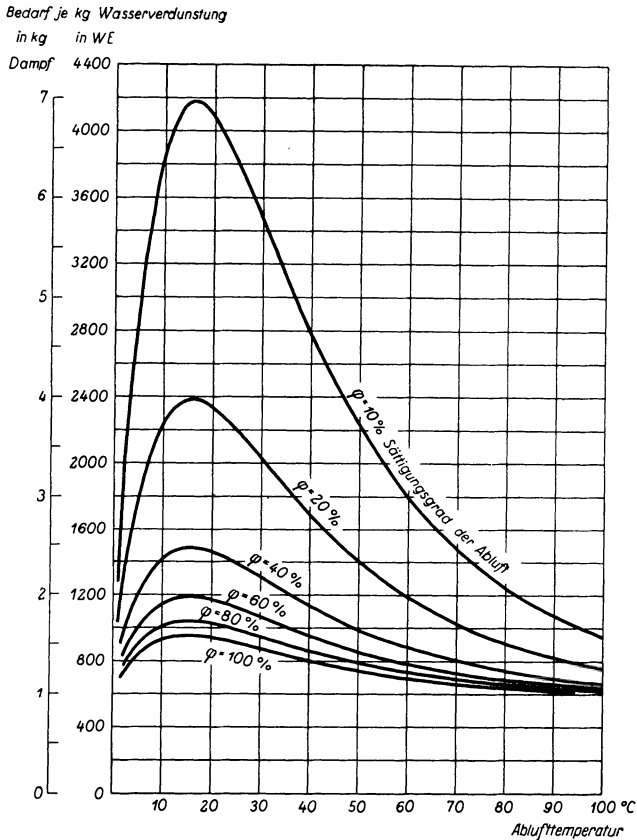


Abb. 2. Wärme- und Dampfbedarf beim Trocknen in Abhängigkeit von Temperatur und Sättigungsgrad der Abluft.

$i-x$ -Tafel¹⁾ benützt werden. Mit dieser Tafel ist die Begutachtung von Trockenvorgängen in weit übersichtlicherer und einfacherer Weise möglich als durch Rechnung.

Die Erkenntnis, welche zur Herstellung der $i-x$ -Tafel Veranlassung gab, besteht darin, daß in der Praxis vor und nach dem Trockenkasten sowohl das Gewicht der Trockenluft als auch der Gesamtwärmeinhalt meist der gleiche ist. Es verändert sich im Trockenkasten lediglich das je 1 kg Trockenluft mitgetragene Wassergewicht und die Temperatur, und zwar nimmt das erstere zu, die letztere

¹⁾ Z. V. d. I. 1923, S. 869.

ab, wobei die Luft angenähert einer Zustandsänderung mit gleichbleibendem Wärmehalt unterliegt.

In Abb. 3 ist ein Ausschnitt der Molliersche $i-x$ -Tafel dargestellt. Auf der Abszisse sind die je 1 kg Trockenluft mitgetragenen Wassergewichte (in der Literatur stets mit dem Buchstaben x bezeichnet) aufgetragen. Die Zustände mit gleichem x -Gehalt liegen auf einer Senkrechten. Die Linien mit gleichem Wärmehalt (i konstant) stehen schräg zur x -Achse, da hierdurch die Deutlichkeit der Darstellung erhöht wird. In dieses $i-x$ -Diagramm sind dann noch die Linien gleicher Temperatur (t konstant), die Sättigungslinie ($\varphi = 1$) und die Linien verschiedener relativer Sättigung eingetragen.

Die Vorgänge bei den normalen Heißlufttrocknern stellen sich nun im $i-x$ -Diagramm, wie an den nachstehenden drei Beispielen gezeigt sei, wie folgt dar:

1. Der einstufige Heißlufttrockner. Die kalte Frischluft habe eine Temperatur von $t_1 = 20^\circ \text{C}$ und eine relative Feuchtigkeit von $\varphi_1 = 60\%$. Mit diesen zwei leicht meßbaren Größen ist der Luftzustand eindeutig bestimmt und durch Punkt 1 auf Abb. 3 dargestellt; es gehört ihm ein Wassergehalt von

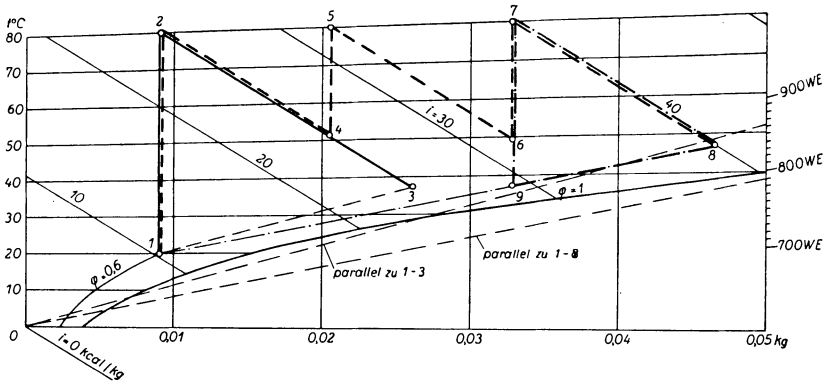


Abb. 3. Darstellung eines Trockenvorganges in der Mollierschen $i-x$ -Tafel.

$x_1 = 0,009 \text{ kg}$ zu. Die kalte Frischluft werde nun durch eine Heizbatterie hindurchgetrieben und dadurch auf $t_2 = 80^\circ \text{C}$ erwärmt; im $i-x$ -Bild wird die Zustandsänderung während der Aufheizung durch eine Linie mit gleichbleibendem x , also durch eine Senkrechte dargestellt; Punkt 2 liegt im Schnittpunkt der Geraden $x_1 = 0,009$ und $t_2 = 80^\circ \text{C}$. Die heiße Luft wird dann in den Trockner geleitet und verlasse diesen annahmeweise mit der Temperatur $t_3 = 38^\circ \text{C}$. Im Beharrungszustande kann nun angenommen werden, daß im Trockner weder eine wesentliche Wärmemenge zu- noch abgeführt wird, so daß die Luft vor und nach dem Trockner fast den gleichen Wärmehalt aufweisen wird. Die Zustandsänderung im Trockner geht daher praktisch längs einer Linie mit i_2 konstant bis zum Punkt 3 vor sich. Die von 1 kg Luft weggetragene Wassermenge ergibt sich zu $x_3 - x_1 = 0,026 - 0,009 = 0,017 \text{ kg}$ und die für 1 kg Wasserverdampfung aufzuwendende Wärmemenge ist am Randmaßstab des Diagrammes dort abzulesen, wo der zu 1 bis 3 parallele durch den Ursprung gehende Strahl den Diagrammrand trifft; der Strahl zeigt auf 870 WE. Mit Hilfe des Diagrammes ist also auch in überaus einfacher Weise der Wärmehaufwand für 1 kg Wasserverdampfung bestimmbar und damit ist ein restloses wärmewirtschaftliches Kriterium ermöglicht; es müssen hierzu lediglich die leicht bestimmbareren Größen t_1, t_2, t_3 und φ_1 gemessen werden.

2. Der mehrstufige Heißlufttrockner. Es wird hierbei die Luft mehrfach aus dem Trockner herausgeholt und angenommenerweise immer wieder durch Zwischenerhitzung auf 80°C gebracht, wobei die Zustandsänderungen durch den Linienzug 1, 2, 4, 5, 6, 7 und 8 gegeben seien; die den Punkten 4, 6, 8 zugehörigen Temperaturen sind hierbei 51° , 49° , 47°C , jene der Punkte 2, 5, 7 ist stets 80°C .

Je 1 kg Trockenluft werden hier $x_3 - x_1 = 0,0465 - 0,009 = 0,0375$ kg Wasser verdampft und für 1 kg verdampftes Wasser ergibt sich der Wärmeaufwand, wenn wieder parallel zu 1 bis 8 ein Strahl vom Ursprung zum Randmaßstab geführt wird, auf diesem zu 780 WE. Durch die Zwischenerhitzung wird sonach mit weniger Luft und einem geringeren Wärmeaufwand getrocknet als beim Einstufentrockner, und zwar ist je 1 kg Wasserverdampfung der Luftaufwand $0,017 \cdot 100 : 0,0375 = 45\%$, während die hierbei auftretende Wärmeersparnis $(870 - 780) \cdot 100 : 870 = 10,4\%$ gegenüber dem Einstufentrockner beträgt.

3. Der Umlufttrockner besteht im wesentlichen darin, daß die Abluft nach Verlassen des Trockners zum Großteil wieder rückgesaugt und nur ein geringer Teil Frischluft zugesetzt wird.

Entweicht z. B. die Luft aus dem Trockner wieder mit dem Zustand lt. Punkt 8 und wird sie mit Frischluft derart gemischt, daß sie vor der Heizbatterie einen Feuchtgehalt von $x_6 = x_9 = 0,033$ kg aufweist, so liegt der mit Punkt 9 bezeichnete Mischzustand einerseits auf Verbindungsgeraden 1 bis 8 und andererseits auf der Senkrechten mit $x = 0,033$ und hat eine Temperatur von $37,5^{\circ}\text{C}$. Das Gemisch werde dann in der Heizbatterie von $37,5^{\circ}\text{C}$ wieder auf 80°C aufgewärmt und entspricht sonach dem Zustand lt. Punkt 7, um dann aus dem Trockenkasten wieder mit 47°C (Punkt 8) auszutreten. Die Zustandsänderungen bei Umluftbetrieb sind dann auf der Abb. 3 durch den Linienzug 9, 7, 8 dargestellt. Je 1 kg Trockenluft werden dann gleich wie vor $x_8 - x_1 = 0,0465 - 0,009 = 0,0375$ kg Wasser verdampft und 1 kg Wasser benötigt wieder lt. Strahl parallel zu 1 bis 8 dieselbe Wärme wie vor, also 780 WE, woraus ersichtlich ist, daß auch der Umluftbetrieb sparsamer als jener mit einem Einstufenapparat ist. Im Trockner muß aber eine größere Luftbewegung als bei den zwei anderen Fällen stattfinden, und zwar in dem betrachteten Beispiel um etwa 20% mehr als beim Einstufentrockner.

Aus Vorstehendem dürfte der große Wert, den die Molliersche ι - x -Tafel zur Beurteilung von Trockenvorgängen besitzt, zur Genüge hervorgehen. Eingehendere Erklärungen sind aus der jüngeren Fachliteratur¹⁾ zu entnehmen.

Als Hauptanforderungen bei der wärmewirtschaftlich zweckmäßigen Durchführung eines Trockenvorganges können, wie schon im ersten Band (S. 216) angedeutet, gelten: Die Trockenluft soll möglichst mit der für das zu behandelnde Trockengut höchstzulässigen Anfangstemperatur verwendet und in einer solchen Weise darüber geführt werden, daß eine möglichste Abluftsättigung erzielt werden kann. Die geeignetsten Mittel hierzu sind richtige Führung und richtige Geschwindigkeit von Ware und Luft gegeneinander, zweckentsprechende Wirbelung, Umluftverfahren oder Zwischenerhitzung.

Es ist wichtig, die Erfüllung dieser Anforderungen im Betrieb zu überwachen, d. h. die Temperatur der Frischluft, Warmluft und Abluft sowie den Feuchtigkeitsgehalt der Abluft nach Möglichkeit laufend zu

¹⁾ Siehe Hirsch: a. a. O. — Mollier: Z. V. d. I. 1923, S. 869.

messen. Ferner ist die Feuchtigkeitsabnahme des Gutes vor und nach dem Trocknen durch Wägung und der Dampfverbrauch des Trockenapparates am besten durch Kondensatmessung zeitweise festzustellen. Zur Feuchtigkeitsmessung der Abluft ist das Psychrometer nach August in Gebrauch, welches im wesentlichen aus zwei Thermometern besteht, deren eines an der Kugel stets feucht gehalten wird. Durch ein Diagramm (Abb. 4) ist es möglich, aus den Angaben des trockenen und des feuchten Thermometers die relative Feuchtigkeit der Abluft zu ermitteln.

Die vorstehend angeführten Messungen sollten mindestens stichprobenweise vorgenommen werden, um nicht gröbere Fehler des Trockenbetriebes unbeachtet zu lassen.

So vielartig die Ausführung der verschiedenen Trockeneinrichtungen im einzelnen auch ist, lassen sich doch in wärmetechnischer Hinsicht drei Gruppen unterscheiden.

a) Einrichtungen, die nach dem Gegenstromprinzip arbeiten; das sind solche, bei denen die Luft so über das Trockengut streicht, daß die wärmsten und bereits am meisten ausgetrockneten Teile des Trockengutes mit der in den Trockner eintretenden

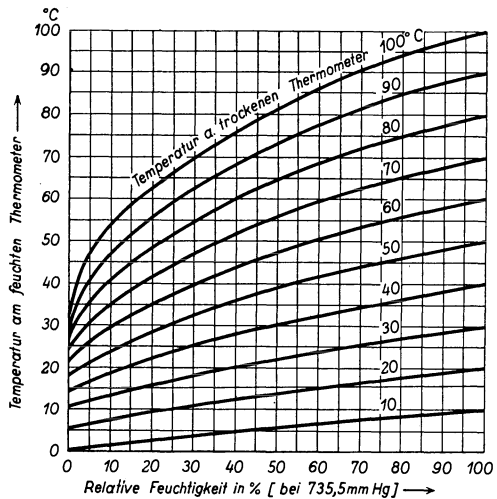


Abb. 4. Bestimmung der relativen Feuchtigkeit aus den Angaben des feuchten und trockenen Thermometers.

trockenen Warmluft in Berührung kommen, während die kältesten und mit der meisten Feuchtigkeit noch behafteten Teile des Trockengutes von dem den Apparat verlassenden, also bereits abgekühlten und mit Feuchtigkeit in hohem Maße angereicherten Wärmeträger bestrichen werden. Bei diesem Verfahren kann die mit der Luft in den Apparat gebrachte Wärme sehr weit ausgenützt werden, da die Luft fast bis auf die Eintrittstemperatur des Trockengutes abgekühlt werden kann. Der Temperaturunterschied zwischen Wärmeträger und dem Trockengut während des ganzen Trockenvorganges kann also nieder gehalten werden. Dies ist von Wichtigkeit bei solchen Stoffen, die an ihrer Oberfläche oder an ihrer sonstigen Beschaffenheit Schaden leiden können, wenn sie in verhältnismäßig kaltem Zustande einer sehr warmen Luftströmung ausgesetzt werden (z. B. Holz, Felle und auch andere faserige, sowie auch pulverige Stoffe).

b) Einrichtungen, die nach dem Gleichstromprinzip arbeiten. Das in den Trockner eintretende, also noch kalte und sehr feuchte Trockengut kommt gleichzeitig mit der in den Trockner eintretenden heißen Luft in Berührung. Da beim Austritt aus dem Apparat der Wärmeträger etwas wärmer oder äußersten Falles gleich warm ist, wie das Trockengut, ist dabei ein hoher Temperaturunterschied zwischen Trockengut und Wärmeträger am Anfange der Trocknung bedingt.

Der Temperaturverlauf von Trockengut und Wärmeträger ist zur Kennzeichnung des Gegenstrom- und Gleichstromprinzipes in Abb. 5 unter *a* und *b* dargestellt. Die dick ausgezogenen Linien beziehen sich auf das Trockengut, die dünn ausgezogenen auf den Wärmeträger. Man erkennt aus diesen Bildern, daß der mittlere Temperaturunterschied, welcher für die wärmetechnische Wirkungsweise des Trockners von Wichtigkeit ist, gewöhnlich beim Arbeiten im Gleichstrom größer ist; bei Einrichtungen, die nach diesem Prinzip arbeiten, kommt man daher in der Regel auch mit geringeren Trockenräumen bzw. Trockenzeiten aus.

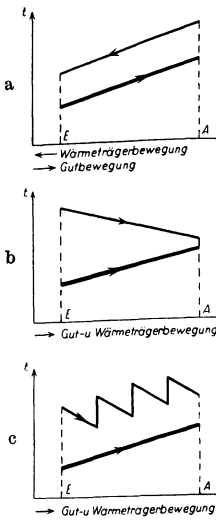


Abb. 5. Schema des Gegenstrom-, Gleichstrom- und Querstromprinzipes in der Trocknung.

c) Einrichtungen, bei denen die Strömungsrichtung des Wärmeträgers gegen das Trockengut wechselt (Querstrom), oder in denen durch besondere Ausführungen die charakteristischen Merkmale des Gleich- und Gegenstrom-Prinzipes nicht rein in Erscheinung treten. Dies ist beispielsweise der Fall bei Trocknern mit künstlicher Luftdurchwirbelung oder bei Trockeneinrichtungen, bei denen der Wärmeträger, nachdem er nur einen Teil des Trockners durchströmt hat, wieder erwärmt wird (Regenerierung, Zwischenerhitzung). Die Entwicklung der Trockentechnik zeitigt immer mehr Einrichtungen dieser letzteren Art und man erkennt aus dem Bilde *c* in Abb. 5, welches einen mit Regenerierung des Wärmeträgers arbeitenden Trockner schematisch darstellt, daß durch diese Regenerierung auch bei den im Gleichstrom arbeitenden Apparaten die höchstauftretenden Temperaturunterschiede zwischen Wärmeträger und Trockengut wesentlich geringer gehalten werden können, als in einem nach dem Gegenstromprinzip arbeitenden Trockner ohne Regenerierung. Es sind gleichsam die Vorteile des Gleich- und Gegenstromes hier vereinigt.

Eine vollkommene Trocknung des Gutes ist häufig nicht nur überflüssig, sondern auch schädlich. Es gibt Trockengüter, die bei voll-

kommener Trocknung bis auf einen Feuchtigkeitsgehalt von Null Schaden leiden, so daß ein Mindest-Feuchtigkeitsgehalt schon durch technologische Gründe bedingt ist; so z. B. hat Wolle eine sehr große Wasseraufnahmefähigkeit, so daß zu weitgehende Trocknung eine erhöhte Wasseraufnahme aus der Luft und damit eine Ungleichmäßigkeit der Fäden zur Folge hätte. Auch aus kaufmännischen Gründen ist oft das Belassen einer gewissen Feuchtigkeit erforderlich, z. B. dort, wo ein gewisser Feuchtigkeitsgehalt der Fertigware handelsüblich ist, und der Fabrikant keinerlei Interesse daran hat, eine über dieses Maß hinausgehende Trocknung zu erzielen. Die Fertigware verliert, wenn sie stärker als erforderlich getrocknet wird, an Gewicht, was einen Schaden bedeutet. In manchen Industriezweigen wird infolgedessen sorgfältig darauf geachtet, daß das Fertigerzeugnis nicht weniger Feuchtigkeit enthält als zulässig, und es wird, wenn die Trocknung zu weit gediehen sein sollte, gegebenenfalls noch eine Nachfeuchtung vorgenommen.

Zur Verminderung des Wärmeverbrauches bei Trockenvorgängen wurden verschiedene Wege begangen. Man versuchte die Abluftwärme zur teilweisen Erwärmung der Frischluft mittels Heizkörpern zu verwenden, doch war die meist geringe Ablufttemperatur der Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen nicht förderlich.

Viel vorteilhafter ist die Verwendung des sogenannten „Umluftbetriebes“, bei dem die Abluft zu größerem oder kleinerem Teil der Frischluft wieder zugesetzt wird. Diese den Wärmeverbrauch vermindern Methode wird in der letzten Zeit vielfach angewendet, ist aber noch nicht genügend in der Trockenpraxis verbreitet. Der wärmetechnische Vorteil des Umluftbetriebes liegt darin, daß ein Teil der Abluftwärme wieder verwendet wird, während der Nachteil, der darin besteht, daß mit der warmen Abluft auch Feuchtigkeit in die Frischluft gebracht wird, mehr als aufgewogen wird durch den Vorteil der kostenlos erzeugten höheren Temperatur.

Die weitere Entwicklung dieses Umluftbetriebes führt dann schließlich zu Trocknungsverfahren, bei denen ausschließlich die Abluft verwendet und vor ihrer Wiedereinführung in den Apparat lediglich durch einen Heizkörper erhitzt wird. Auf diese Weise gelangt man zu Einrichtungen, die mit einem Wärmeträger von mehr als 100° arbeiten und aus welchen lediglich gesättigter Dampf von atmosphärischer Spannung entweicht. Dieses Trockenprinzip ist in einzelnen Industriezweigen in Erprobung begriffen.

Unabhängig von diesen aus der Entwicklung des Umluftbetriebes sich ergebenden Vorgängen sind Trockenverfahren, die ausschließlich mit überhitztem Dampf arbeiten, zu neuartigen Zwecken in der letzten Zeit eingeführt worden. Der Dampf bewegt sich hierbei

im ständigen Kreislauf über Trockengut und Heizkörper, durch welche er immer wieder regeneriert wird. Den allgemeinen Grundsätzen der Trocknung entsprechend, entweicht die Feuchtigkeit aus dem Trockengut so lange, als der Dampfdruck im Wärmeträger geringer ist als der Sättigungsdruck. Da nun der Dampfdruck des überhitzten Dampfes geringer ist als der Druck, den der in den Poren des Trockengutes enthaltene Flüssigkeit bei gleicher Temperatur entspricht, geht eben die Trocknung im Strome überhitzten Dampfes vor sich. Selbstverständlich kommen derartige Verfahren nur in Frage, wo das Trockengut die höheren Temperaturen verträgt und wo es auf keine besonders weitgehende Entfeuchtung des Gutes ankommt. Dort, wo diese Voraussetzungen zutreffen, ist jedoch dieses Verfahren wärmewirtschaftlich überaus vorteilhaft. In der Praxis ist es in dem bekannten Fleißnerschen Kohlentrocknungsverfahren, welches von der österreichischen Alpenen Montangesellschaft durchgeführt wird, sehr erfolgreich zur Braunkohlentrocknung in Anwendung gekommen. Der Wassergehalt der Braunkohle wird hierdurch von ca. 35% auf 15% in recht wirtschaftlicher Weise heruntergebracht.

Andere Möglichkeiten der Verwertung der warmen Abluft finden sich in ihrer Verwendung zur Heizung oder zur Entneblung von Räumen. Für diese Zwecke kommt natürlich nur eine Abluft mit geringem Feuchtigkeitsgehalt in Frage. Handelt es sich um Arbeitsräume, darf sie außerdem keine Verunreinigungen (Staub, schädliche Dämpfe u. ä.) mitführen. Auch als Verbrennungsluft ist die Abluft von Trockenanlagen versuchsweise schon verwendet worden.

Die im Trockengute nach Verlassen des Trockners noch enthaltene Wärme wird durch Überleiten der Frischluft wieder zu gewinnen versucht; bei Kanaltrockenanlagen wird dieses Verfahren vereinzelt angewendet.

Es sind auch Versuche gemacht worden, die Verdampfung der Gutfeuchtigkeit dadurch zu fördern und zu beschleunigen, daß im Trockenraum mit Unterdruck gearbeitet wird. Bei Beurteilung der Wirtschaftlichkeit muß hier aber der große Arbeitsaufwand zur Erzeugung dieses Unterdruckes berücksichtigt werden. Vakuum-Trockner haben für einzelne Zwecke bereits Eingang in die Praxis gefunden.

Von Wichtigkeit für viele Trockenanlagen ist auch die Art, in welcher die Bewegung der Trockenluft im Trockner erzielt wird. Insbesondere unterscheidet man Trockenanlagen mit Saug- und Druckwirkung. Bei ersteren wird die Luft aus dem Trockenraum gesaugt, so daß ein kleiner Unterdruck in diesem entsteht. Die Entstehung dieses Unterdruckes ist schon dadurch möglich, daß ein Auftrieb der warmen Abluft in der Art der Schornsteinwirkung hervorgerufen wird. In der Regel werden aber Ventilatoren hierzu verwendet. Bei den Appa-

raten mit Saugwirkung besteht der Nachteil, daß durch alle Fugen des Apparates, dann aber auch insbesondere, wenn irgendwelche Türen oder Schlitze zum Einführen oder Ausführen des Trockengutes geöffnet sind, ein kalter Luftstrom eingesaugt wird und eine Abkühlung des ganzen Trockners oder einzelner Teile desselben stattfindet. Dies beeinträchtigt natürlich die Gleichmäßigkeit des Arbeitsvorganges in hohem Maße und ist auch wärmetechnisch von Nachteil. Bei den Anlagen mit Druckbetrieb, bei welchen die Warmluft in den Trockenraum mittels Ventilatoren gepreßt wird, herrscht im Innern ein kleiner Überdruck. Durch die Öffnungen dieser Trockner entweicht gegebenenfalls etwas Warmluft. Es findet aber keine wesentliche Veränderung des Zustandes im Innern des Trockners statt. Die Trockentechnik macht wenn irgend möglich, von den mit Überdruck arbeitenden Anlagen Gebrauch.

Die Trocknung mit heißen Gasen (Rauchgasen) ist unter Umständen sehr wirtschaftlich, namentlich wenn das Trockengut gegen hohe Temperaturgrade, allenfalls auch gegen Verunreinigungen der Rauchgase unempfindlich ist. Sie wird in verschiedenen Industrien geübt; häufig findet Abfallwärme hierzu Verwendung. (Lohetrocknung in der Lederindustrie, Schnitzeltrocknung in der Zuckerindustrie, Schlempetrocknung in der Spiritusindustrie, Trocknung des Einsatzgutes in oder vor den Brennöfen der keramischen Industrie, worüber bei Besprechung dieser Industriezweige im vierten Abschnitt noch Näheres folgt.)

Einen besonderen Fall stellt die Trocknung mit dampfgeheizten Zylindern dar. Hier sorgt die Trockenvorrichtung nur für die Wärmezufuhr in das Gut, welches meist Band- oder Fadenform, also geringe Materialstärke besitzt. Die aus dem Gut ausgetriebene Feuchtigkeit muß von der Raumluft aufgenommen und weggeführt werden, weshalb für deren lebhaftige Bewegung Sorge zu tragen ist. Vom rein dampftechnischen Standpunkt ist bei solchen Trockeneinrichtungen in grundsätzlich ähnlicher Weise wie bei anderen Heizkörpern für gute Entwässerung und Entlüftung zu sorgen, um die Heizfläche auf voller Leistung zu erhalten. Die Konstruktion von Vorrichtungen für diesen Sonderzweck hat neuerdings Fortschritte zu verzeichnen. (Lütschenapparate zum Blankhalten der inneren Zylinderflächen, Innenrippenkonstruktion, Zylinder-Entwässerung Patent Dabeg u. a.)

Wenn die Theorie des Trocknens auch nicht in allen Einzelheiten wissenschaftlich ergründet ist, und die technologischen und physikalischen Vorgänge beim Trocknen der verschiedenen Stoffe nicht nach allen Richtungen hin aufgeklärt sind, ist es doch der Fabrikationspraxis möglich gewesen, gewisse Grenz- und Bestwerte für die den Trockenvorgang beeinflussenden Umstände festzulegen. So z. B. kennt die Praxis meist die für die einzelnen Abschnitte beste Zeitdauer oder

die höchsten Temperaturen, welche beim Trocknungsverlauf der einzelnen Stoffe in Frage kommen.

Für die meisten Trockengüter gibt es eine kritische Temperatur, deren Überschreitung, wie schon früher erwähnt, das Gut schädigt. Auf Grund von Berichten, die auf der Tagung der Institution of Chemical-Engineers in London im Dezember 1928 gehalten wurden¹⁾, sind derartig kritische Temperaturen für:

Gips	82—138° C
Ziegelsteine	77—93° C
Tabakstiele	93° C
Papier	60—65° C
Firnisanstriche auf Metall.	63° C
Firnisanstriche auf Holz	38—50° C
Felle	40—50° C
Geschirrware	49° C
Gelatine.	43,5° C
Seife	38° C
Sohlenleder	32° C
Kautschuk	27—32° C
Leim	21—32° C
Tabakblätter	29,5° C

Die Schädigung des Gutes bei höheren Temperaturen äußert sich entweder in Sprüngen, Rissen, aber auch in Formveränderungen (Rollen oder Welligwerden, Verkrümmen von plattenartigen Körpern, wie Holzpappe, Fourniere u. dgl.), ferner in Veränderung des molekularen Zustandes (Weichwerden, wie z. B. Leim) oder schließlich auch in weitgehenden chemischen Veränderungen. Da nun die zulässige Höchsttemperatur den Wirkungsgrad der Trockenanlage mitbestimmt (je höher die Temperatur, bei welcher der Trockenvorgang verlaufen kann, desto wirtschaftlicher kann in der Regel die Trocknung vor sich gehen), darf es nicht wundernehmen, daß in manchen Industriezweigen Trockner vorhanden sind, welche mit 70 bis 80% Nutzeffekt arbeiten, während für andere Betriebe durch die Eigenschaften des Trockengutes der Nutzeffekt mit nur 20 oder 30% begrenzt ist.

Dies gibt aber auch wichtige Fingerzeige für die Durchbildung der Trockeneinrichtungen für den einzelnen Verwendungszweck. Die Vertreter der Maschinenfabriken, die sich mit dem Bau derartiger Trockner befassen, beantworten mitunter die Frage des Industriellen, ob denn die Maschinenfabrik einen Trockner für dieses Material und die hier in Frage kommenden besonderen Zwecke schon einmal hergestellt hätte, mit dem Hinweis darauf, daß doch eigentlich das Trocknen, sowie überhaupt die ganze Wärmewirtschaft, eine einheitliche Wissenschaft sei. Dies ist nur zum Teil richtig; tatsächlich gibt es in den einzelnen

¹⁾ Arch. Wärmewirtsch. 1929, H. 2.

Industriezweigen kaum zwei Trockenanlagen ganz gleicher Ausführungsart für verschiedene Stoffe. Vor der Verwendung eines neuartigen Trockners müssen infolgedessen eingehende Versuche gemacht werden, und wenn es auch vom Standpunkte des technischen Fortschrittes auf das wärmste zu begrüßen ist, wenn neuartige Anlagen für bestimmte Herstellungsarten oder bekannte Trockner für neue Zwecke in Verwendung genommen werden, ist es doch notwendig, daß der Industrielle, der ein Abkommen mit der Maschinenfabrik trifft, zunächst einmal auf Grund seiner gesammelten Erfahrungen genau erwägt, ob die Ausführung und Wirkungsweise der Anlage den besonderen Eigenschaften des Stoffes Rechnung trägt, und, wenn auch in diesem Belange alles berücksichtigt erscheint, muß er sich trotzdem bewußt bleiben, daß es sich um einen Versuch handelt, bei dem noch unerwartete Erscheinungen auftreten können. Am besten fährt der Industrielle in diesem Falle, wenn vor der Anwendung des Trockners für einen neuartigen Trocken Zweck auf einer ähnlichen Einrichtung, die in der Fabrik eines anderen Industriezweiges besteht, mit dem in Frage kommenden Gut Versuche gemacht werden.

Von großer Bedeutung für die Wärmewirtschaft des Trocknens ist der Feuchtigkeitsgehalt des Trockengutes am Anfang und am Ende des Trockenprozesses; denn hierdurch wird die Menge des aus dem Trockengut zu verdunstenden Wassers bestimmt.

Wenn beispielsweise ein Material beim Eintritt in den Trockner 70% Feuchtigkeit hat und in diesem so getrocknet werden soll, daß es nach der Trocknung noch 10% Feuchtigkeit enthält, so sind je kg getrocknetes Gut 2 kg Wasser zu entfernen. (Da 1 kg getrocknetes Gut 0,9 kg reinen Trockenstoff und 1 kg nasses Gut 0,3 kg Trockenstoff enthält, sind zur Herstellung von 1 kg getrocknetem, 3 kg nasses Gut erforderlich. Dieses enthält aber $3 \times 0,7$, d. s. 2,1 kg Wasser, wovon 0,1 kg im getrockneten Gut verbleibt, so daß 2 kg entfernt werden müssen.)

Enthält allgemein 1 kg nasses Gut w_1 kg Wasser und s_1 kg Trockenstoff beim Eintritt in den Trockner, und enthält 1 kg getrocknetes Gut beim Austritt aus dem Trockner w_2 kg Wasser und s_2 kg Trockenstoff, so ergibt sich die je kg getrockneten Gutes im Trockner zu entfernende Wassermenge w aus:

$$w = \frac{s_2}{s_1} \cdot w_1 - w_2.$$

Nun ist aber

$$s_2 = 1 - w_2$$

und

$$s_1 = 1 - w_1,$$

woraus folgt:

$$w = \frac{w_1 - w_2}{1 - w_1}.$$

Man erkennt schon aus dieser Gleichung, und kann danach durch Beispiele für jeden Einzelfall errechnen, daß der Wassergehalt des nassen Gutes von weitaus größerer Bedeutung für die Menge des zu entfernenden Wassers ist, als man aus der Wassergehaltsziffer selbst entnehmen kann.

In Abb. 6 sind diese Verhältnisse bildlich dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist der Wassergehalt des getrockneten Stoffes, auf der vertikalen Achse die je kg getrockneten Gutes im Trockner zu entfernende Wassermenge verzeichnet. Jede der eingezeichneten Linien

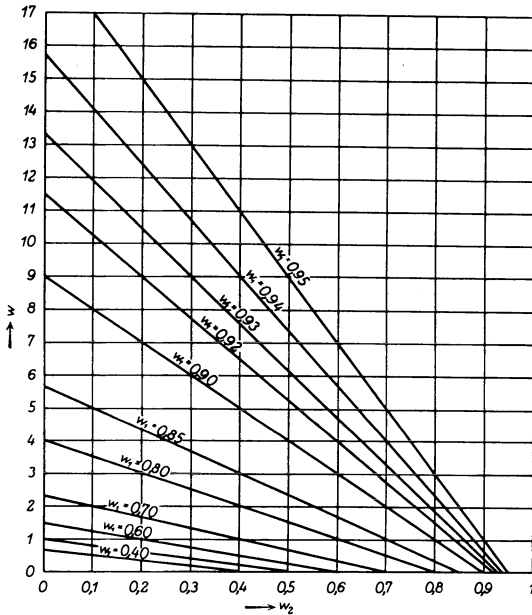


Abb. 6. Einfluß des Wassergehaltes vor und nach dem Trocknen auf die zu entfernende Wassermenge.

gilt für einen bestimmten, darauf verzeichneten Wassergehalt des nassen Gutes. Es zeigt sich hieraus, daß z. B. beim Trocknen eines Stoffes, welcher 0,9 kg, also 90% Wasser enthält, auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 0,2 kg, d. i. 20%, insgesamt 7 kg Wasser je Kilogramm getrockneten Stoffes zu entfernen sind. Wenn aber das aufgegebene nasse Gut 92%, also nur 2% mehr Wasser enthält, so ist die zu entfernende Wassermenge statt 7 kg bereits 9 kg.

Man sieht ferner aus diesem Bild, daß der verbleibende Feuchtigkeitsgehalt des getrockneten Stoffes auf die gesamte zu entfernende Wassermenge von wesentlich geringerem Einfluß ist, und zwar treten alle diese Verhältnisse um so mehr in die Erscheinung, je größer die Feuchtigkeit des nassen Gutes ist. Hieraus folgt nun weiter, daß die Vorgänge, die dem Trocknen vorangehen, und bei den meisten Industriezweigen in einer mechanischen Entfernung des Wassers bestehen (Pressen, Gautschen, Schleudern u. dgl.), möglichst vollkommen sein sollen, da jedes Hundertteil geringerer Feuchtigkeit, mit welchem das Gut in den Trockner kommt, für die gesamte zu entfernende Wassermenge und so für die Leistungsfähigkeit der Anlage und die Wirtschaftlichkeit des

Trockenvorganges von überaus großer Bedeutung ist. Diese Verhältnisse sind in vielen Betrieben nicht genügend erkannt, und es wird oft den Anlagen und Einrichtungen, welche die mechanische Entfernung des Wassers besorgen, nicht die genügende Aufmerksamkeit zuteil. Allerdings erfordern viele derartige Einrichtungen, insbesondere Pressen, einerseits große Aufwendungen für ihre Anschaffung, andererseits großen Kraftbedarf. Bei der großen wirtschaftlichen Bedeutung möglichst geringen Feuchtigkeitsgehaltes bei Beginn des Trockenvorganges sind die Aufwendungen für die vorangehenden Arbeiten meistens gerechtfertigt.

Gänzlich unbeachtet erscheint in vielen Industriezweigen der Einfluß der Zähflüssigkeit (Viskosität) des Wassers im nassen Trockengut. Die Zähflüssigkeit des Wassers ist absolut genommen sehr gering, weist aber doch bei verschiedenen Temperaturen eine verschiedene Höhe auf; bei etwa 70° ist sie halb so groß wie bei 15° C¹⁾. Hieraus folgt, daß der Vorgang des Herauspressens von Wasser aus dem Trockengut durch Erhöhung der Temperatur gefördert werden kann. Diese Erkenntnis ist einstweilen noch wenig verwendet worden, um den Effekt von Pressen zu heben. Vereinzelt findet sich in der Zellstoffindustrie die Einrichtung zur Erwärmung der Zellstoffbahn vor der letzten Presse durch einen Heizzylinder. Viel wirkungsvoller erfolgt eine derartige Erwärmung durch Strahlungsheizkörper, welche die für die Zähflüssigkeit günstigste Temperatur in einfacher Weise und auf kleinem Raum erzielen lassen, ohne daß die Zellstoff- oder Papierbahn mit der Heizfläche in Berührung kommt. In der Pappenindustrie werden die hydraulischen Pressen mit einer Einrichtung versehen, durch welche die Pappenpakete durch elektrischen Strom erwärmt werden, wodurch nach Beendigung des kalten Preßprozesses noch ein weiteres wirkungsvolles Auspressen erfolgt. Mit derartigen Pressen kann beispielsweise der nach dem kalten Pressen verbleibende Feuchtigkeitsgehalt noch um weitere 30% verringert werden, was für die darauffolgende Trocknung von großer Bedeutung ist.

II. Anwärmen und Kochen von Flüssigkeiten.

Die verschiedenen Verfahren zum Erwärmen von Flüssigkeiten werden in der industriellen Praxis allgemein als Kochprozesse bezeichnet, gleichgültig ob die zu erwärmende Flüssigkeit hierbei bis zur Siedetemperatur oder nur bis zu einer niedrigeren Temperatur gebracht wird. Durch die Kochung wird in erster Linie bezweckt, das Arbeitsgut

¹⁾ Siehe Landolt-Börnstein: Physikalische Tabellen. Berlin: Julius Springer 1923.

(Bad) auf eine höhere Temperatur zu bringen; die Durchführung dieses Vorganges erfolgt in Pfannen, Kesseln, Bottichen und sonstigen Behältern, die je nach den beabsichtigten Zwecken und je nach den Eigenschaften des betreffenden Gutes die verschiedenartigsten Formen haben können.

Die Kochung kann bei atmosphärischem Druck, bei höherem Druck oder unter Vakuum erfolgen. Das Kochen unter höherem als atmosphärischem Druck, das natürlich in geschlossenen und den Druckverhältnissen angepaßten Gefäßen stattfinden muß, hat meist den Zweck, die Erwärmung des Bades bis zu einer höheren Temperatur als dem normalen Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit zu bringen, was aus chemischen oder technologischen Rücksichten erforderlich sein kann. Durch das Kochen unter Vakuum wird der Zweck verfolgt, das Sieden der Flüssigkeit schon bei einer niedrigeren als der Normal-Siedetemperatur hervorzurufen. Dies ist z. B. dort erforderlich, wo die Siedetemperatur bei atmosphärischem Druck aus irgendwelchen chemischen oder technologischen Rücksichten für die betreffende Flüssigkeit zu hoch ist, bzw. unerwünschte Veränderungen in ihr hervorruft; andererseits ist aber auch das Kochen im Vakuum, weil eben hierbei das Sieden bei niedriger Temperatur erfolgt, für viele Vorgänge auch in wärmetechnischer Hinsicht wirtschaftlicher. In letzterer Hinsicht ergibt sich der größte wärmewirtschaftliche Vorteil des Kochens im Vakuum dann, wenn durch Verwendung von mehreren hintereinander geschalteten Vakuumbehältern (Mehrkörper-Apparate) die Brüden des einen als Heizmedium für den nächsten Körper verwendet werden, wie es beispielsweise in der Zuckerindustrie seit langem allgemein gebräuchlich ist.

Je nach der Temperatur, welche gefordert wird, kann der Wärmeträger, der die Zuführung der Wärme vermittelt, verschiedener Art sein. Wie schon für die Herstellungsvorgänge im allgemeinen erwähnt, ist das Kochen mit Feuergasen fast überall verlassen worden; die Kochungen werden vornehmlich mittels Dampf durchgeführt. Einen bemerkenswerten Fall bilden die Sudpfannen in der Brauindustrie, bei denen die Dampfkochung durch das Feuerkochen mitunter wieder verdrängt worden ist. Die Ursachen hierfür rühren zum Teil von Rücksichten auf Geschmack, Farbe und sonstige Eigenschaften des Bieres her, finden aber auch vielfach nicht im Wesen des Kochens selbst, sondern in mittelbaren Erscheinungen ihre Erklärung. Wenn beispielsweise das Hopfensieden in einer feuerbeheizten Sudpfanne den Vorteil bringen soll, daß das daraus erzeugte Bier von längerer Haltbarkeit ist, so erklärt sich dies nach Meinung vieler Braufachleute dadurch, daß die Sudpfanne für das unmittelbare Feuerkochen eine andere Form besitzt als jene für Dampfkochung. Erstere ist in den Längen- und

Breitenabmessungen groß und die Flüssigkeitshöhe ist daher nieder, während bei der Braupfanne in der üblichen Pfannenform der Hopfensud 1,5 m hoch steht. Die unteren Partien des Hopfensudes stehen also bei der mit Dampf geheizten Braupfanne unter dem etwas größeren Druck der darüber befindlichen Flüssigkeitssäule; bei der feuergeheizten Pfanne ist diese Höhe geringer¹⁾.

Im Gegensatz zu Feuergasen, die die Wärme bei Koch- und Anwärmvorgängen fast ausnahmslos nur durch Heizflächen an das Gut abgeben können, kann dies bei Dampf außer auf mittelbarem Wege unter Verwendung von Heizflächen auch noch unmittelbar durch Einblasen des Dampfes in das Gut erfolgen, wobei sich der Dampf in dem Bade verflüssigt und dieses verdünnt; nur in besonderen Fällen ist ein Wiederaustreten des Dampfes beabsichtigt.

Der zur Verwendung kommende, in das Bad eingeblasene Dampf kann Satt- oder Heißdampf sein. In der Praxis der unmittelbaren Kochung ist vornehmlich das Kochen mit Sattdampf eingeführt. Der Versuch, mit den vorhandenen Einrichtungen ohne weiteres auf überhitzten Dampf überzugehen, zeigt in der Regel das sonderbare Ergebnis, daß, obwohl 1 kg Heißdampf einen größeren Wärmehalt hat als 1 kg Sattdampf gleicher Spannung, das Kochen mit eingeblasenem Heißdampf weniger wirtschaftlich, oft überhaupt nicht in der gewünschten Weise durchführbar ist. Die Ursache hiervon liegt in dem verschiedenartigen Verhalten der in die Flüssigkeit eingeblasenen und durch diese aufsteigenden Heißdampf- und Sattdampfbläschen. Das Sattdampfbläschen hat wesentlich günstigere Wärmeübergangsverhältnisse und es setzt sofort nach Eintreten des Bläschens in das Bad eine ausgiebige Wärmeabgabe unter Kondensation des in dem Bläschen enthaltenen Dampfes ein; das Dampfbläschen schrumpft schnell zusammen und ist nach einem kurzen zurückgelegten Wegstück im Flüssigkeitsbad vollkommen verschwunden, wobei seine Wärme in das Bad übergegangen ist. Ein eingeblasenes Heißdampfbläschen gibt aber zunächst seine Überhitzungswärme an das Bad ab, wobei jedoch die Wärmeübergangsverhältnisse von überhitztem Dampf an die Flüssigkeit wesentlich ungünstiger sind als bei gesättigtem Dampf. Erst wenn das Dampfbläschen die Sattdampftemperatur angenommen hat, beginnt die ausgiebige Wärmeabgabe. Da aber bis zu diesem Zeitpunkte das Bläschen bereits einen großen Teil seiner Aufwärtsbewegung zurückgelegt hat, besteht die Gefahr, daß das restliche Wegstück bis zur Flüssigkeitsoberfläche nicht lang genug ist, um es zur vollkommenen

¹⁾ Andere Gesichtspunkte, welche hierbei noch in Frage kommen, siehe Redenbacher u. Huber: Wirkungsweise der Dampf- und der Feuerkochung bei Flüssigkeitsbehältern. Arch. Wärmewirtsch. 1926, H. 4.

Kondensation zu bringen, so daß also noch ein kleines Dampfbläschen die Oberfläche des Bades verläßt. Diese Verhältnisse sind in Abb. 7 dargestellt, und zwar versinnbildlicht *a* die Verhältnisse bei Satttdampf, *b* jene bei überhitztem Dampf, wobei für beide Fälle Dampfaustrittsöffnungen (Bläschen) ungefähr gleicher Größe angenommen sind.

Um nun auch bei Verwendung von überhitztem Dampf die vollkommene Kondensation des Bläschens noch innerhalb des Bades zu ermöglichen, ist nichts anderes erforderlich, als dafür zu sorgen, daß die aufsteigenden Dampfbläschen entsprechend klein sind, in welchem Falle sich die Verhältnisse, wie sie unter *c* dargestellt sind, einstellen. Je kleiner die mit dem Bad in Berührung tretenden Dampfbläschen sind, um so größer ist das Verhältnis ihrer Oberfläche zu ihrem Rauminhalt und um so rascher werden sie aufgezehrt. Man wird also in der

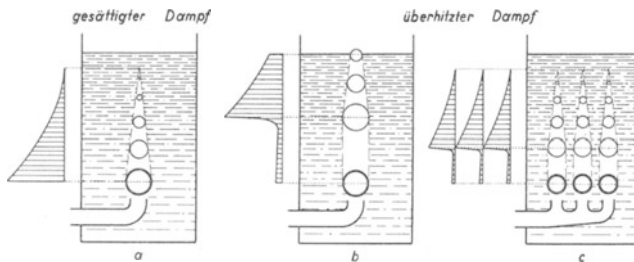


Abb. 7. Verschiedenes Verhalten von gesättigtem und überhitztem Dampf beim Einblasen in Flüssigkeiten.

Praxis die Austrittsöffnungen bei Verwendung überhitzten Dampfes wesentlich kleiner, dafür jedoch in entsprechend größerer Anzahl auszuführen haben.

Wenn in dieser Weise den Eigenheiten des Heißdampfes Rechnung getragen wird, so ist er ebenso wie Satttdampf gleicher Spannung brauchbar und behält außerhalb dieses Zusammenhanges noch seine verschiedenen Vorzüge (größerer Wärmeinhalt, keine Kondensationsverluste bis zur Verbrauchsstelle u. dgl. mehr). Überdies hat aber die Möglichkeit, überhitzten Dampf für Fabrikationszwecke zu verwenden, auch noch den großen Vorteil, daß man den Dampf der gleichen Leitung entnehmen kann, die zur Dampfmaschine oder Dampfturbine führt. Selbstverständlich kann aber das Kochen mit überhitztem Dampf überhaupt nur dort in Frage kommen, wo die technologischen Verhältnisse es gestatten, d. h. wo die hohe Temperatur der Dampfbläschen dem Bade oder den darin enthaltenen aufzukochenden Stoffen keinen Schaden zufügt, wie dies beispielsweise bei Verwendung hoch überhitzten Dampfes zur Kochung gewisser Hölzer in der Zellstoffindustrie auftreten kann (Braunwerden des Stoffes).

Für das Kochen und Anwärmen genügt in den meisten Anwendungsfällen Dampf geringer Spannung, was insbesondere von Wichtigkeit ist, wenn es sich um die Verwertung von Abdampf handelt. In dieser Hinsicht gewinnt immer mehr die Erkenntnis Verbreitung, daß die früher vielfach verwendeten höheren Spannungen des Einblasedampfes häufig nicht erforderlich sind, und daß bei entsprechender Bemessung der Dampfzuführungswege auch mit Abdampf der Arbeitszweck in einwandfreier Weise erreicht werden kann.

Da zwischen dem eingeblasenen Dampf und dem Arbeitsgut die Möglichkeit einer chemischen Reaktion besteht, so ist in vielen Fällen die chemische Beschaffenheit des Dampfes nicht gleichgültig. Meistens handelt es sich darum, unerwünschte chemische Reaktionen durch Verunreinigung des Dampfes zu vermeiden, also den Dampf möglichst rein zu verwenden. Die Erfüllung dieser Forderung ist schon bei Frischdampf nicht immer gesichert; liegt doch die Möglichkeit vor, daß verschiedene der chemischen Kesselwasserbehandlung entstammende Chemikalien mitgerissen werden. Beim Abdampf von Kolbendampfmaschinen spielt die Verunreinigung durch Zylinderöl die Hauptrolle. Bei Anwendung bewährter Entölungsverfahren ist zwar eine weitgehende Entölung möglich, doch kann sich der dadurch erzielbare Reinheitsgrad des Dampfes bei unmittelbarer Einblasung bei großer Empfindlichkeit des Arbeitsgutes als unzureichend erweisen (z. B. beim Färben heller Textilwaren). Aber auch bei Unempfindlichkeit des Arbeitsgutes gegen gut entölten Abdampf liegt eine wesentliche Gefahr in möglichen Störungen der Entölung, welche das Ergebnis des Arbeitsvorganges geradezu in Frage stellen können. Es gibt übrigens Verwendungszwecke, bei denen selbst die geringsten Spuren von Öl, wie sie auch bei bester Entölung nicht zu vermeiden sind, schädliche Wirkungen haben. Dies ist besonders bei solchen Erzeugnissen der Fall, bei denen es auf vollkommene Geruchlosigkeit und auf den Geschmack ankommt. Merkwürdigerweise ist z. B. das Vieh in dieser Hinsicht überaus empfindlich und verweigert in vielen Fällen die Aufnahme von Nahrung, wenn auch nur Spuren gewisser Öle darin enthalten sind. Außer der meist verwendeten mechanischen Entölung des Abdampfes und dem Verfahren des sogenannten Dampfwaschens (Durchleiten des Dampfes durch Wasser gleicher Temperatur) gibt es in neuerer Zeit auch chemische Verfahren (z. B. jenes der Maschinenfabrik Starke und Hoffmann, nach welchem der ölhaltige Dampf in einen Kessel eingeblasen wird, der eine Lösung von Aluminiumhydroxyd enthält; die Entölung soll hierbei praktisch restlos vor sich gehen).

Die Dampfeinblasung wird hauptsächlich zur bloßen Erwärmung von Flüssigkeiten verwendet, doch kann sie auch dazu dienen, leicht siedende, sich mit Wasser mischende Flüssigkeiten zu destillieren

(s. S. 49). Sie findet ferner Anwendung, um Gemenge von schwer-siedenden, mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeiten in die einzelnen Bestandteile zu zerlegen. Hierbei werden die bereits entsprechend erhitzten, schwersiedenden Bestandteile durch den eingeblasenen, nicht kondensierenden Wasserdampf mitgerissen. Für diese Zwecke ist Heißdampf besonders geeignet. Bei solchen Verfahren, die hauptsächlich in der Petroleumraffination verwendet werden, wirkt der Dampf weniger als Wärmeträger, sondern durch seine Strömung, welche die Bestandteile des Arbeitsgutes in fein verteilter Form mitreißt.

Wie aus vorstehendem ersichtlich, hat der eingeblasene Dampf außer der Wärmeübertragung bei vielen Vorgängen auch noch andere Zwecke zu erfüllen. Vielfach wird er auch dazu verwendet, eine heftige Durchwirbelung des Bades zu erzielen, und man begegnet in der Industrie einzelnen Verfahren, bei denen in schon siedende Bäder immer noch Dampf eingeblasen wird, um das Sieden aufrecht zu erhalten und die Bewegung in der Flüssigkeit zu verstärken. Selbstverständlich kann hier von einer Wärmeabgabe überhaupt keine Rede mehr sein und der Dampf entweicht wärmetechnisch ungenützt aus dem Bade. Überdies ist bei derartigen Verfahren eine entsprechend hohe Spannung des Dampfes erforderlich, um die Durchwirbelung genügend lebhaft zu gestalten. Wenn nicht ganz besondere Gründe vorliegen, den eingeblasenen Dampf zu derartigen rein mechanischen Zwecken zu verwenden, ist diese Arbeitsweise als wärmetechnisch unwirtschaftlich möglichst zu vermeiden. In den meisten Fällen wird man für die erforderliche Durchwirbelung mechanische Einrichtungen treffen können, die, wenn ihr Kraftverbrauch auch noch so groß ist, immer noch wesentlich billiger sind als die Verwendung höher gespannten Dampfes.

Wenn man von Ausnahmefällen absieht und die in der Industrie gebräuchlichen allgemeinen Koch- und Anwärmvorgänge durch unmittelbare Einblasung von Dampf zusammenfassend betrachtet, kann man den Nutzeffekt dieser Verfahren, wenn sie richtig und bis zur vollen Kondensation des Dampfes geführt werden, als sehr günstig ansehen. Die Verluste bestehen fast ausschließlich in der Leitung und Strahlung der Einrichtung und in der Verdunstung an der Flüssigkeitsoberfläche.

Bei der zweiten Art des Aufwärmens und Kochens mittels Dampf unter Anwendung von Heizflächen gelten die allgemeinen Grundsätze der Wärmeübertragung. Bedeutet Q die übertragene Wärme, k die Wärmedurchgangszahl, ϑ_m den mittleren Temperaturunterschied zwischen Wärmeträger und Arbeitsgut und F die Heizfläche in m^2 , so gilt

$$Q = k \cdot \vartheta_m \cdot F \text{ in WE je Stunde}^1).$$

¹⁾ Ist der Temperaturunterschied zwischen Wärmeträger und Arbeitsgut am Eingange mit ϑ_e , am Ausgange des Gutes mit ϑ_a bekannt, so ist der mittlere

Die Wärmeübertragung kann auch hier im Gleich- oder Gegenstrom erfolgen und es gelten dann sinngemäß auch hierfür die hierüber bei Besprechung der Trockenvorgänge gemachten Bemerkungen.

Die Wärmedurchgangszahl ist in erster Linie von der Beschaffenheit des Wärmeträgers und des Gutes abhängig. Wird als Wärmeträger gesättigter Dampf verwendet, so steigt bei sonst gleichen Verhältnissen das mittlere Temperaturgefälle mit höherer Dampfspannung, wodurch auch größere Heizleistungen erzielt werden. Im allgemeinen ist es vorteilhaft, im Arbeitsgut eine lebhaftere Bewegung zu erzielen, was bei höheren Dampfspannungen bzw. Dampftemperaturen infolge des erhöhten spezifischen Wärmeumsatzes eintritt, anderenfalls durch Rührwerke usw. ermöglicht werden kann. Wenn zulässig, ist es empfehlenswert, den Dampf im Behälter durch kurze und enge Rohre zu leiten, wodurch er ständig in lebhafter Bewegung erhalten und eine kräftige Heizwirkung erzielt wird. In gleicher Weise wie bei Dampfheizungen ist auf gute Kondensat- und Luftabfuhr aus dem Dampfraum zu achten. Umwälzeinrichtungen, die zur Entlastung oder zum Ersatz einzelner Kondensstöpfe den aus den Heizflächen entweichenden Abdampf im Kreislauf der Heizfläche nochmals zuführen, haben sich unter bestimmten Voraussetzungen auch zur Abkürzung der Anwärmezeit recht gut bewährt. Die Heizflächen sind von jeder Verunreinigung (Kesselstein oder Ölschichte) frei zu halten, um ein unter Umständen sehr starkes Sinken der Heizleistung zu verhindern.

Für die Wärmedurchgangszahl kann bei Anwendung von kupfernen Röhren im allgemeinen gelten:

$$k = \frac{1900}{\sqrt{d \cdot l}}$$

Hierbei bedeuten d den Rohrdurchmesser und l die Rohrlänge in m. Bei schmiedeeisernen Rohren ermäßigt sich k auf $\frac{3}{4}$ und bei gußeisernen auf die Hälfte des obigen Wertes. Die angeführte Formel liefert meist k -Werte von 5000 bis 10000 WE je m^2 .

Bei Verwendung von Heizmänteln oder Doppelböden an Stelle von Röhren, wird k bedeutend geringer und bewegt sich etwa zwischen

Temperaturunterschied ϑ_m , der für die obige Formel in Frage kommt, eindeutig gegeben; ist nämlich

$$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0,01 \quad 0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,6 \quad 0,8 \quad 1,0$$

so ist $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0,215 \quad 0,391 \quad 0,5 \quad 0,583 \quad 0,658 \quad 0,786 \quad 0,897 \quad 1,0$

Wenn beispielsweise das Arbeitsgut mit 15°C ein- und mit 75°C austritt, und der Wärmeträger im Gegenstrom zum Gute mit 100°C ein- und mit 20°C austritt, so ist $\vartheta_e = 20 - 15 = 5$; $\vartheta_a = 100 - 75 = 25$; somit $\vartheta_e : \vartheta_a = 5 : 25 = 0,20$ und schließlich $\vartheta_m = 0,5 \times 25 = 12,5^\circ \text{C}$. (E. Hausbrand.)

1300 und 3000. Die höheren Werte ergeben sich bei gut entlüfteten Dampfkräusen.

Findet beim Verfahren ein Kochen der wässrigen Gutflüssigkeit nicht statt, und ist auch sonst nicht für rege Bewegung der Flüssigkeit an den Wänden des Heizkörpers gesorgt, so erniedrigt sich die Wärmedurchgangszahl wesentlich. Sie kann dann im allgemeinen mit k etwa 500 angenommen werden.

Beim Aufwärmen und Kochen durch beheizte Flächen wird heute fast ausschließlich Sattdampf verwendet. Die Verwendung von Sattdampf ist auch hier durch einen sehr günstigen Wärmeübergang zwischen Dampf und Heizfläche gekennzeichnet. Bei Verwendung von überhitztem Dampf ergibt sich dagegen ein anderer, meist geringerer Wärmeübergang. Es ist zwar die Temperatur des überhitzten Dampfes und damit der Temperaturunterschied zwischen dem Wärmeträger und dem Bad bei Verwendung von überhitztem Dampfe größer, die Wärmeübergangszahl von Dampf an die Heizfläche ist jedoch bei überhitztem Dampf wesentlich kleiner als bei gesättigtem (nur etwa 15 bis 20 WE je m² Heizfläche und 1° Temperaturunterschied), was den höheren Temperaturunterschied in der Gesamtwirkung oft übertrifft. Allerdings sind die früheren Ansichten der industriellen Praxis, welche die Verwendung überhitzten Dampfes zur Erwärmung mittels Heizflächen fast gänzlich ausschlossen, durch neuere Arbeiten überholt. Die Wärmeübertragung von Heißdampf an die Heizfläche läßt sich durch große Geschwindigkeit, die man dem Heißdampf gibt, wesentlich verbessern. Überdies ist nachgewiesen worden, daß sich auch bei Verwendung überhitzten Dampfes eine gewisse „Wasserhaut“ an den Heizflächen ansetzt und die Wärmeübertragung fördert. Die Versuche über dieses Gebiet können jedoch noch nicht als vollkommen abgeschlossen gelten¹⁾. Aus den neueren Untersuchungen geht hervor, daß an praktisch ausgeführten Heizanlagen die Gesamtwärmeübertragung beim Betrieb mit Heißdampf mindestens gleich ist der beim Betrieb mit Sattdampf. Die Schwankungen in der Größe der Wärmeübertragung hängen hauptsächlich davon ab, welcher Teil der dampfberührten Heizflächen von einer Kondensathaut mit ihrer steigernden Wirkung auf den Wärmeübergang bedeckt ist. Je größer der benetzte Teil der Heizfläche ist, desto stärker wird sich das höhere Temperaturgefälle des überhitzten Dampfes zum Ausgleich des geringeren Wärmeüberganges an den nichtbenetzten Teilen auswirken können. Unabhängig von den Forschungsergebnissen wird aber in der Praxis die Verwendung überhitzten Dampfes auf vielen Gebieten erprobt

¹⁾ Siehe Stender: Der Wärmeübergang bei kondensierendem Heißdampf. Z. V. d. I. 1925, S. 27.

und es sind auch schon einzelne Erfolge erzielt worden¹⁾. Am wichtigsten ist der Heißdampf für Koch- und Anwärmevorgänge, bei Bädern, welche Temperaturen über den Sattedampftemperaturen niedergespannten Dampfes verlangen (z. B. Erhitzen von Teerbädern für das sogenannte Tränken elektrotechnischer Betriebsmittel). Die große Geschwindigkeit längs der Heizflächen, welche bei Verwendung von Heißdampf erforderlich ist, kann in vorteilhafter Weise dadurch erzielt werden, daß von der üblichen Anordnung eines Kondensstopfes hinter der Heizfläche abgewichen wird (die Geschwindigkeit des Heißdampfes längs der Heizfläche ist bei Verwendung eines Kondensstopfes begrenzt), indem der Heizdampf, nachdem er die Heizfläche bespült hat, durch einen Überhitzer strömt, wo er die abgegebene Überhitzungswärme wieder erlangt, während die durch das geringfügige Kondensat verlorengegangene Dampfmenge durch Frischdampf ersetzt wird.

Viele Einrichtungen zum Kochen und Anwärmen arbeiten sowohl mit Heizflächen als auch mit Einblasung (beispielsweise in der Zelluloseindustrie, der Färberei u. a.). Mit der unmittelbaren Einblasung wird einerseits eine Beschleunigung der Anwärmezeit, überdies auch — wie schon erwähnt — eine Durchwirbelung bezweckt, während die zusätzliche Anwärmung durch eingebaute Heizflächen unter anderem eine zu weitgehende Verdünnung des Bades verhindern oder auch eine ruhige Nachwärmung ermöglichen sollen.

Im Rahmen der Gesamtwärmewirtschaft eines Fabrikbetriebes bilden die dampfverbrauchenden Kocher gewöhnlich eine unangenehme Einrichtung. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß das Zusammenfallen des stoßweisen Anwärmens und Kochens zahlreicher Einzelvorrichtungen, hauptsächlich in den Morgenstunden und zu Beginn der Nachmittagschicht, erhebliche Dampfverbrauchsspitzen bedingt, die zu starken Augenblicksbelastungen der Kesselheizfläche führen. Häufig wird nur mit Rücksicht auf diese Spitzen eine wesentlich größere Kesselheizfläche in Betrieb gehalten, als es für den durchschnittlichen Dampfbedarf notwendig wäre. Andererseits nimmt der Wirkungsgrad der Kesselanlage während der Forcierungszeiten be-

¹⁾ Aus Versuchsergebnissen haben M. Jakob und S. Erk, Berlin (Forschungsarbeiten H. 310) mit Hilfe eines „Gütegrad des Wärmeüberganges“ genannten Vergleichsmaßes neuerlich nachgewiesen, daß beim Beheizen von Verdampfern und ähnlichen Apparaten der Wärmeübergang bei Heißdampf im allgemeinen etwas größer ist, als bei Sattedampf. Die Versuche sind an dem einfachsten Fall, des senkrechten vom Dampf durchströmten und außen gekühlten Rohres gemacht worden. Die Ergebnisse stimmen aber mit den Folgerungen der Nusselt'schen Theorie der Oberflächenkondensation überein. (Siehe auch Z. d. V. I. 1929, S. 761 u. S. 1517), vgl. auch Kaiser: „Heiß- oder Sattedampf für Heizanlagen“. Z. d. bayr. Revis.-Vereins 1929, S. 263.

deutend ab. Diese Übelstände lassen sich in zweierlei Weise erheblich abschwächen. Zunächst kann in vielen Fällen ein Vorrat von Heißwasser für die Anwärme- und Kochvorgänge in einfachen Speicheranlagen bei entsprechender Abdampf- und Abwärmeausnutzung bereitgestellt werden, der die Frischdampfverbrauchsspitzen entsprechend abpuffert und die Abdampfverwertung erleichtert. Andererseits kann aber auch der großen Verschwendung in der Dampfzuführung, die gerade beim Anwärmen und Kochen von den Bedienungsleuten meist unnötig getrieben wird, ein Riegel dadurch vorgeschoben werden, daß zunächst durch Einbau von Drosselscheiben in die unmittelbaren Dampfzuführungsleitungen nur der für die unbedingt erforderliche Dampfmenge benötigte Querschnitt freigegeben wird, daß weiterhin der Druck vor der Verwendungsstelle im allgemeinen soweit als möglich abgesenkt wird. Letzteres ist im übrigen, wie bereits mehrfach erwähnt, auch für die Zwecke der Abdampfverwertung unbedingt erforderlich.

Trotzdem werden, da es auf die Dauer wirklich einwandfrei arbeitende Kondenstöpfe kaum gibt, die durch Heizflächen betriebenen Anwärme- und Kochprozesse immer verhältnismäßig große Verluste durch mit dem Kondenswasser abgehende Dampfmen gen haben, zumal die Bedienungsleute häufig nicht davon abzubringen sind, die Kondensstöpfe mehr oder weniger geöffnet zu halten, um genügend schnelles Kochen zu sichern.

Es sind daher Bestrebungen im Gange, an Stelle des Wärmeträgers „Dampf“ für die Anwärme- und Kochvorgänge den Wärmeträger „Heißwasser“ zu verwenden, das unter einem der Arbeitstemperatur entsprechenden Druck gehalten und durch die Heizflächen umgewälzt wird. (Grundsätzlich ist die Anwendung von Druckheißwasser schon sehr alt, beispielsweise in der sogenannten Perkinsheizung, bei der Heißwasser unter Druck von mehreren 100 at als Wärmeträger dient oder in Fernheizwerken.) Das Heißwasser kann dabei in der für die meisten Kochverfahren ausreichenden Druckgrenze zwischen 1 und 6 atü gehalten werden. Die Erwärmung des Heißwassers kann durch Abwärme (Abdampf höheren Druckes, Abgase in Ekonomisern, Abhitze-kesseln u. dgl.) erfolgen, gegebenenfalls kann das Druckwasser auch nach patentierten Verfahren aus dem Wasserraum der Dampfkessel selbst im Kreislauf entnommen werden. Grundsätzlich ist bei der Umwälz-Heißwasserheizung nur der Unterschied zwischen Vor- und Rücklauf temperatur durch neue Wärmezufuhr auszugleichen, während alle Verluste durch Kondenstöpfe und Brüden in Wegfall kommen.

Die Wirtschaftlichkeit der Heißwasserheizung an Stelle der Dampfheizung hängt in erster Linie von der Durchbildung der vorhandenen Anlagen bzw. der Anlagekosten ab, die für Auswechslung der Leitungen, Heizflächen, Umwälzeinrichtungen und die Nachwärmung und Spei-

cherung des Heißwassers verursacht werden. Erst in zweiter Linie spielt der Kraftbedarf für die Umwälzung und der Brennstoffverbrauch eine Rolle. In vielen Fällen hat sich die Druckheißwasserheizung bereits als recht wirtschaftlich erwiesen; sie hat im übrigen auch den Vorteil, daß eine ziemlich genaue Einstellung sowohl der Arbeitstemperatur als der zugeführten Wärmemenge in den einzelnen Apparaten durch Regelung von Heißwassertemperatur und Geschwindigkeit in einfacher Weise möglich ist. Dagegen erfordert die richtige Bemessung und Einzeldurchbildung der Heißwasserheizung große, den Betriebsleitern aus verständlichen Gründen meist noch mangelnde Erfahrung.

Für die Heizflächenbemessung ist dabei zu berücksichtigen, daß die Wärmeübertragungszahl k bei den in Frage kommenden Temperaturen sich in weiten Grenzen bewegt. Selbstredend kann die Heißwasserheizung auch mit der unmittelbaren Dampfeinblasung verbunden werden.

Beim Betrieb von Kochern mit heißen Gasen (Feuerkochung) ist in erster Linie eine kräftig wirbelnde Gasführung um die Heizflächen anzustreben. Nichtsdestoweniger ergeben sich hier bedeutend geringere Wärmedurchgangszahlen als bei Verwendung von Dampf als Wärmeträger. Für k kann hier gesetzt werden

$$k = 2 + 10 \cdot \sqrt{v},$$

wobei v die Gasgeschwindigkeit bedeutet. Bei Verunreinigung der Heizflächen (etwa bei Rauchgasen) sinkt k etwa auf die Hälfte des Formelwertes. Die Wärmewirtschaft der Feuerkochung ist im übrigen nach ähnlichen Gesichtspunkten zu beurteilen, wie diejenige des Kesselbetriebes, doch verbietet die geringe Größe der in Frage kommenden Feuerungseinrichtungen weitgehende Aufwendungen, etwa für Feuerungsuntersuchung. Man hat neuerdings die Verringerung der Bedienung durch Übergang auf gasförmige Brennstoffe in Einzelfällen in Betracht gezogen. Hierbei kommt außer der Einfachheit auch die größere Reinheit der Gasfeuerung, oft auch die höhere Temperatur und ihre leichtere Regelung in Frage.

III. Verdampfen und Destillieren (Rektifizieren).

Verdampfungsvorgänge finden Anwendung, wenn Flüssigkeiten eingedickt (eingedampft) oder aus Lösungen fester Stoffe die festen Bestandteile durch Herausdampfen der Flüssigkeit ausgeschieden werden sollen: Als Destillation (Rektifikation) bezeichnet man solche Vorgänge, durch welche aus einem Gemenge von mehreren Flüssigkeiten ein Bestandteil abgeschieden wird. Für beide Verfahren gilt vieles von dem, was bei Besprechung der Koch- und Anwärmvorgänge im vorhergehenden Absatze behandelt ist, insbesondere wirken sich hier die

Eigenschaften von Satt- und Heißdampf und Heißwasser in ähnlicher Weise aus, wie es dort geschildert wurde. Die Verdampfungsvorgänge haben auch sonst manche grundsätzliche Ähnlichkeit mit Kochvorgängen, nur dienen sie anderen technologischen Zwecken und weisen in der technischen Durchführung Verschiedenheiten auf.

Die Durchführung der Verdampfungsvorgänge mit unmittelbarem Feuer ist in der Großindustrie fast nicht mehr vorzufinden; es wird mit ganz wenigen Ausnahmen Dampf als Wärmeträger verwendet. Der Dampf gibt hierbei seine Kondensationswärme an die zu verdampfende Flüssigkeit ab, wodurch die mit dem Heißdampf zugeführte Wärmemenge fast ganz in dem im Verdampfer entstehenden Dampf, den sogenannten Brüden, enthalten ist. Es kann, roh gerechnet, mit einem Kilogramm Frischdampf durch den einfachen Vorgang 1 kg Wasser verdampft werden. Der auf diese Weise entstandene Brüden Dampf kann aber wieder als Wärmeträger für einen zweiten Verdampfungsvorgang benützt werden, und die ersten durchgreifenden Schritte zur wärmewirtschaftlichen Verbesserung der Verdampfungsvorgänge bestanden darin, daß man die Brüdenwärme benützte, um mit ihr neue Flüssigkeitsmengen zu verdampfen. Jedes Kilogramm Brüden Dampf verdampft wieder, roh gerechnet, ein Kilogramm Wasser. Auf diese Weise entstanden die sogenannten Mehrkörper- oder Mehrfacheffekt-Verdampfer, in welchen mit einem Kilogramm Arbeitsdampf ungefähr so viel Kilogramm Wasser aus dem Arbeitsgut abgedampft werden, als einzelne Verdampfkörper hintereinander geschaltet sind. Der weitgehenden Wiederholung dieses Vorganges bei dem die in einem Verdampferkörper entwickelten Brüden Dämpfe als Heizmedium für den nächsten verwendet werden, ist aber dadurch eine Grenze gesetzt, daß der Übergang von Wärme aus dem Heizmedium in die zu verdampfende Flüssigkeit einen Temperaturunterschied voraussetzt, für den die höchste und niedrigste zur Anwendung geeignete Größe gegeben ist. Überdies begrenzt sich die Zahl derartiger Wiederholungen der Verdampfungsvorgänge in der beschriebenen Weise auch durch die Größe der in Frage kommenden Heizflächen und die für die Durchführung der Vorgänge erforderliche Zeit. Die vom Heizmedium an den Verdampferinhalt übertragene Wärmemenge W_m ergibt sich aus der einfachen Beziehung:

$$W_m = k \cdot F (t_1 - t_2) \cdot z.$$

Hierin bedeutet k die entsprechende Wärmedurchgangszahl je m² Heizfläche und Stunde, F die Heizfläche in m²; $t_1 - t_2$ den Temperaturunterschied zwischen dem Heizmedium und der zu verdampfenden Flüssigkeit und z die Zeit in Stunden. Man ersieht aus dieser Formel, daß, wenn der Temperaturunterschied $t_1 - t_2$ gering gehalten werden

soll, entweder die Heizfläche F oder die Zeitdauer z des Vorganges entsprechend größer werden muß, um eine bestimmte Wärmemenge zu übertragen. Die Unterbringung einer entsprechend großen Heizfläche in einem Apparat setzt aber außer den Schwierigkeiten für die Ausführung erhöhte Anlagekosten voraus, während die Verlängerung der Zeitdauer für die Abwicklung des Vorganges, abgesehen von technologischen Einflüssen, betriebstechnische Nachteile aufweist und überdies zur Folge hat, daß die Verluste, welche vornehmlich in Leitung und Strahlung bestehen, bei größerer Dauer des Vorganges zunehmen und sich sohin auch wärmewirtschaftlich nachteilig ausdrücken. Wie an diesem Beispiel gezeigt, kann man bei vielen Vorgängen der praktischen Wärmetechnik immer wieder finden, daß die Verringerung der wirkenden Temperaturunterschiede auf der einen Seite wärmewirtschaftliche Vorteile bringt, während sie auf der anderen Seite erhöhte Anlagekosten und Verlängerung der technologischen Vorgänge und damit Vermehrung der Wärmeverluste zur Folge hat; in jedem einzelnen Falle ist es notwendig, die Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen und das richtige Verhältnis unter Berücksichtigung aller dieser Umstände ausfindig zu machen.

Die höchste Temperatur, welche für den Heißdampf im ersten Verdampferkörper in Frage kommt, ist entweder durch die technologischen Eigenschaften der zu verdampfenden Flüssigkeit oder aber dadurch begrenzt, daß eine Verwertung von Abdampf möglich sein soll, dessen Spannung nicht viel über der Atmosphäre liegt. Verwendet man im ersten Verdampferkörper Dampfspannungen von etwa 1 atü entsprechend Temperaturen von 120° C und arbeitet man mit einem Temperaturunterschied von 20° zwischen dem Heißdampf und der Flüssigkeit, so herrscht im Verdampfer atmosphärischer Druck, seine Brüden entweichen mit ca. 100° und wenn sie in einem zweiten Verdampferkörper ausgenützt werden sollen und auch hier ein Temperaturunterschied von 20° wirken soll, muß dafür Vorsorge getroffen sein, daß die Verdampfung im zweiten Körper bei einer Temperatur von 80° vor sich geht, was nur dann möglich ist, wenn der Apparat unter Vakuum steht. (Die Temperatur von 80° entspricht einer Spannung von nur 0,5 at absolut.) In diesem Falle muß durch Luftpumpen das Vakuum aufrecht erhalten werden, ferner sind zur Absaugung der niedergeschlagenen Brüden Kondensat-Pumpen erforderlich. Schließlich ist ein Mischkondensator zur Niederschlagung der letzten Brüdenämpfe vorzusehen. Solche Anlagen nennt man Unterdruck-Verdampfer im Gegensatz zu den Überdruckkörpern, bei denen in den einzelnen Körpern Überdruck herrscht. Meist sind Überdruck- und Unterdruckkörper hintereinander geschaltet; es finden sich die verschiedensten Zusammensetzungen, wie 1 Überdruckkörper mit 1 bis 2 hintereinander ge-

schalteten Unterdruckkörpern oder 2 Überdruck- und einige Unterdruckkörper u. dgl. Nachdem die einzudampfende Flüssigkeit auf ihrem Wege von dem einen Körper zum anderen in einen Raum geringeren Druckes kommt, wird beim Übertritt jeweils eine gewisse, der Temperatur entsprechende Wärmemenge frei, welche natürlich ebenfalls zur Verdampfung beiträgt, so daß theoretisch in einer verlustlosen, mehrstufigen Verdampferanlage noch etwas mehr verdampft werden kann als sich aus der in den ersten Körper eingeführten Dampfmenge und der Anzahl der Stufen ergibt.

Die Verdampferanlagen sind in vielen Zweigen der chemischen Industrie in großer Menge und in den verschiedenartigsten Zusammensetzungen in Verwendung. In der Zuckerindustrie stellen die Verdampfer einen der wichtigsten Teile der Einrichtung dar. Ein Dreikörperapparat einfacher Konstruktion zeigt beispielsweise folgende Verhältnisse:

Zahlentafel 8.

	1. Körper	2. Körper	3. Körper
Spannung (Temperatur) des Heizmediums	3 ata (133°)	1,3 ata (105°)	0,7 ata (90°)
Brüdentemperatur	105°	90°	60°

In einer derartigen Anlage können 125 kg kochenden Dünnsaftes von 16% auf 60% seines Gehaltes an Trockenstoff eingedickt werden. Dem ersten Körper werden etwa 29 kg Dampf zugeführt und hiermit in den drei Körpern insgesamt etwa 91 kg Wasser aus dem Dünnsaft entfernt. (Näheres siehe auch dritter Abschnitt unter „Zuckerindustrie“.)

Die zweckmäßige Anordnung und Arbeitsweise der Verdampfer ist für die Wirtschaftlichkeit von ausschlaggebender Bedeutung. Die richtige Ausführung und Bemessung der Einrichtung ist aber um so schwerer, als hierbei zu berücksichtigen ist, daß die spezifische Wärme und die Siedetemperatur der zu verdampfenden Flüssigkeit mit steigender Dichte größer bzw. höher werden.

Diesem Umstande muß dadurch Rechnung getragen werden, daß der wirksame Temperaturunterschied zwischen Heizmedium bzw. Brüden und der zu verdampfenden Flüssigkeit in den letzten Körpern des Verdampfers größer gehalten wird als in den früheren. Die Unterschiede in den spezifischen Wärmen sind hierbei verhältnismäßig groß. So gilt beispielsweise für Zuckerlösungen:

Zahlentafel 9.

bei 10% Gehalt an Trockenstoff: spez. Wärme	0,93
„ 30% „ „ „ „ „	0,80
„ 50% „ „ „ „ „	0,67
„ 70% „ „ „ „ „	0,54
„ 90% „ „ „ „ „	0,41

Die Siedepunkterhöhung ist innerhalb der Eindickgrenzen, wie sie im Verdampfer vorkommen, nicht so bedeutend; sie beträgt bei etwa 60% Gehalt an Trockenstoff nur 3 bis 4°. Selbstverständlich verhalten sich aber andere Lösungen in bezug auf spezifische Wärme und Siedepunkterhöhung anders.

Die Berücksichtigung all dieser Verhältnisse ist für den Wärmetechniker in der chemischen Technik noch dadurch erschwert, daß verschiedene Ausdrucksweisen für die Bezeichnung der Dichte gebräuchlich sind. In den meisten Zweigen der chemischen Industrie wird nach Grad Baumé¹⁾, in anderen Industrien wird nach Gewichthundertteilen der gelösten Körper (z. B. in der Zuckerindustrie nach Hundertteilen Zucker) gerechnet. In anderen Fällen wird wieder das spezifische Gewicht zur Grundlage der Berechnungen genommen, so daß die für die Ermittlung der aus einer Lösung und zu einem bestimmten Zweck herauszudampfenden Wassermenge Berechnungen unter Zuhilfenahme von Zahlentafeln und sonstigen Hilfsmitteln erheischt. Der Wärmetechniker würde eine größere Einheitlichkeit auf diesem Gebiete begrüßen.

Wie im vorstehenden angeführt, ist die Zahl der Verdampfungsstufen einerseits durch das verfügbare Gesamtgefälle der Temperatur (Dampfeintrittstemperatur im ersten Körper, Brüdenaustrittstemperatur im letzten Körper), andererseits durch die zu einer wirtschaftlichen Wärmeübertragung erforderlichen Temperaturunterschiede in den einzelnen Verdampfkörpern bedingt, wobei zu beachten ist, daß, je dicker im Laufe des Vorganges die einzudampfende Lösung wird, um so größer der Temperaturunterschied zwischen Heizmedium und Heizgut sein muß, um noch eine wirksame Wärmeübertragung zu ermöglichen. Im allgemeinen besitzen die wirtschaftlichen Verdampfer mindestens 3 Körper. Bei hoher Anfangstemperatur und gutem Kondensator-Vakuum ging man auch bis zu 6 und sogar 7 Körpern, doch sind diese Ausführungen ziemlich selten geblieben, da solche Anlagen in bezug auf Beschaffung und Instandhaltung den erzielten Vorteilen gegenüber viel zu kostspielig sind. Der Fortschritt der Höchstdruckdampferzeugung hat bei der Abdampfverwertung die Gegendrücke der Dampfkraftmaschinen zu erhöhen ermöglicht; da-

1) Die Beziehung zwischen Grad Baumé und spez. Gewicht von Lösungen ist:

Zahlentafel 10.

1° Bé	1,007 kg je dm ³
10° Bé	1,075 „ „ „
20° Bé	1,162 „ „ „
30° Bé	1,263 „ „ „
40° Bé	1,383 „ „ „
50° Bé	1,530 „ „ „

durch werden Verdampferanlagen wirtschaftlich, bei denen die Eintrittsspannung (das ist natürlich nur dort der Fall, wo die zu verdampfende Flüssigkeit hohe Temperaturen gestattet) mehrere Atmosphären beträgt. Derartige Anlagen können als reine Überdruckanlagen ausgebildet sein, bei denen auch noch die Brüden des letzten Körpers mit einem Drucke entweichen, der ihre weitere Verwertung für sonstige Erzeugungszwecke (insbesondere Anwärmzwecke u. dgl.) gestattet. Vielfach wird ein Teil der Brüden der Verdampferanlage entzogen, um zu anderen Zwecken Verwendung zu finden.

Von den in Verdampferanlagen auftretenden Verlusten wurden jene durch Leitung und Strahlung der Einrichtungen, zu denen auch die verbindenden Rohrleitungen zu rechnen sind, erwähnt. Diese Verluste betragen gewöhnlich nur wenige Hundertteile, dahingegen treten auch durch die Ableitung von im Dampf und in den Brüden enthaltenen Luft- und Gasmengen Verluste auf, die gegebenenfalls stärker ins Gewicht fallen können¹⁾.

Der einstufige Verdampfer, der nach dem Vorangeführten schon überholt erscheinen könnte, hat neuerdings durch das Verfahren der Brüdenverdichtung mittels „Wärmepumpe“ wieder an Bedeutung gewonnen. Bei diesem Verfahren wird Heizdampf nur zur Einleitung des eigentlichen Vorganges benötigt. Wenn aus der einzudampfenden Flüssigkeit Brüdendämpfe zu entweichen beginnen, werden sie mittels eines Verdichters auf den Druck des Heizdampfes verdichtet und zur weiteren Eindampfung verwendet; der ursprünglich benötigte Heizdampf kann dann abgestellt werden. Dieses Verfahren macht sich so nach einerseits die Erscheinung zunutze, daß mit 1 kg Heizdampf rund 1 kg Brüdendampf aus der Lösung ausgetrieben wird. (Wird dann dieses Kilogramm Brüdendampf mit dem Kompressor auf die Heizdampfspannung verdichtet, so kann es durch Kondensation seine Verdampfungswärme mit höherer Temperatur genau so gut wie der ursprüngliche Heizdampf abgeben und hierdurch das weitere Ausdampfen von 1 kg Brüden aus der Lösung bewirken.) Andererseits bleibt bei diesem Verfahren die Brüdenwärme restlos erhalten; sie wird durch die bei der Verdichtung aufgewendete Arbeit „veredelt“, das heißt auf ein höheres Temperaturniveau gepumpt, woraus sich auch die hier für den Verdichter übliche Bezeichnung „Wärmepumpe“ erklärt.

Der verwendete Verdichter erhält seinen Antrieb meist mittels Elektromotor. Gewöhnlich wird ein Kreisel-Verdichter, seltener ein

¹⁾ Näheres über alle hier berührten Fragen der Zuckerindustrie, siehe in dem sehr lehrreichen Buche von Karl Schiebl: Wärmewirtschaft in der Zuckerindustrie. Dresden und Leipzig: Steinkopff 1926; ferner Gelinek: Die Verdampfung und ihre Entwicklung in der Zuckerindustrie. Sparwirtschaft 7. 8. 1924.

Kolben-Verdichter verwendet, da letzterer die Brüden verölt, was nachteilig für die nachfolgende Kondensation der verdichteten Brüden ist.

Der Kraftbedarf der Wärmepumpen, welcher natürlich für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens von größter Bedeutung ist, wird hauptsächlich von der Größe der Verdichtung, diese aber wieder von dem erforderlichen Temperaturunterschiede, den der Verdampfer zwischen Heiz- und Brüdendampf benötigt, beeinflusst. Im vorstehenden wurde bereits begründet, daß es aus wirtschaftlichen Gründen meist notwendig ist, einen Temperaturunterschied von mindestens 20° C zuzulassen. In diesem Falle hätte also, wenn die einzudampfende Flüssigkeit nicht über 80° C warm sein darf, die Wärmepumpe die Brüden von 0,5 auf 1 ata, entsprechend einer Temperatursteigerung von 80° auf 100° C, bzw. wenn die Flüssigkeit mit 120° eingedampft werden soll, von 2 ata auf 4 ata, entsprechend einer Temperaturzunahme von 120° auf 140° C zu verdichten. Da in genügender Annäherung die Verdichtungsarbeit proportional der prozentuellen Drucksteigerung angesetzt werden kann, folgt aus vorstehendem, daß die Größe der Verdichtungsarbeit je 1 kg Brüdeneindampfung von dem Temperaturunterschied zwischen Brüden- und Heizedampf, nicht aber von der Brüdentemperatur abhängt.

Wärmepumpen normaler Ausführung setzen von der im Antriebsmotor aufgenommenen elektrischen Energie 40 bis 60% in Verdichtungsarbeit um. Die Größe dieser Arbeit ist, wie vorstehend nachgewiesen, abhängig von der notwendigen Temperatursteigerung. Bei einer Temperatursteigerung von 20° C sind zur Abdampfung von 1 kg Brüden durch die Wärmepumpe etwa 0,06 bis 0,08 kWst aufzuwenden. Soll die Wärmepumpe wirtschaftlich am Platze sein, so muß dieser Energieaufwand billiger sein als etwa 1/3 kg Dampf, mit welchem sich in einem Dreifach-Verdampfer ebenfalls 1 kg Brüden entfernen lassen¹⁾.

Die Anwendung von Verdampfern mit Wärmepumpen ist meist auf folgende Fälle beschränkt:

1. Wenn im allgemeinen mit sehr niedrigem Strompreis gerechnet werden kann, so daß das Eindampfen mit elektrisch betriebenem Brüdenverdichter dem Eindampfen im Mehrfachverdampfer wirtschaftlich überlegen ist (Nachtstrom öffentlicher Werke, Überschußstrom von Wasserkraftanlagen u. dgl. m.).

2. Wenn im besonderen aus technologischen Gründen die Eindampfung nur in einem bestimmten, eng begrenzten Temperaturgebiet vorgenommen werden darf, wodurch sich von vornherein die Aufstellung von Mehrfachverdampfern verbietet (häufig bei Eindampfung von organischen Flüssigkeiten) und wenn überdies

¹⁾ Siehe Backhaus: a.a.O. und E. Hausbrand: Verdampfen, Kondensieren und Kühlen. Berlin: Julius Springer 1918.

a) der Kraftbedarf einer Fabrik so gering ist, daß selbst bei Anwendung einer Gegendruck-Dampfmaschine für die Eindampfung nicht genügend Maschinenabdampf erhalten werden kann, demzufolge also das Eindampfen vorwiegend mit Frischdampf vor sich gehen müßte, oder wenn

b) der Kraftbedarf nur zeitweilig mit dem Dampfbedarf in Einklang steht, so daß gleichfalls während eines größeren Zeitraumes der Betrieb der Eindampfanlagen mit Frischdampf zu erfolgen hätte. Hierbei kann es sich auch ergeben, daß infolge der Einstellung der Kraftanlage auf annähernd gleichbleibende Energieerzeugung (bei verringertem Strombedarf für andere Zwecke) billiger Überschußstrom für eine elektrisch betriebene Brüdenverdichtungsanlage zur Verfügung steht.

Man erkennt auch aus diesen von Dr. Ing. Ötken angegebenen Richtlinien, daß die Wärmepumpe fast niemals so billig arbeiten kann wie die gewöhnlichen Eindampfer, wenn sie mit Maschinenabdampf beheizt werden; die Wärmepumpe kann vielmehr lediglich in Sonderfällen mit gewöhnlichen Eindampfern in Wettbewerb treten, wenn diese mangels vorhandenen Maschinenabdampfes mit Frischdampf beheizt werden müßten und sehr billige Strompreise vorliegen.

Bei den industriellen Destillations- und Rektifikationsvorgängen, welche die Trennung eines Flüssigkeitsgemenges in seine Bestandteile durch Verdampfen bezwecken, wird der Umstand ausgenützt, daß der aus einem Flüssigkeitsgemenge entstehende Dampf die Einzelbestandteile des Gemenges in geänderter prozentueller Zusammensetzung enthält, wobei in der Regel die leichtere Flüssigkeit im Dampf bedeutend stärker vertreten ist. Dadurch wird es möglich, durch mehrfache Hintereinanderschaltung von Verdampfungs- und Kondensationsvorgängen eine weitgehende Trennung der einzelnen Bestandteile herbeizuführen¹⁾.

Für die hierzu verwendeten Einrichtungen, welche je nach der Durchführungsart der Vorgänge (ununterbrochen oder unterbrochen) gewisse Verschiedenheit aufweisen, sind wesentlich:

Die Blase, die Verstärkerkolonne, der Kondensator und der Kühler.

In der Blase werden die zu trennenden Flüssigkeiten durch Wärmezufuhr (Dampfeinblasung oder Erwärmung durch Heizflächen) verdampft. In der Verstärkerkolonne findet durch mehrfache Berührung von Dampf und Flüssigkeit des zu rektifizierenden Flüssigkeitsgemisches wiederholtes Verdampfen und Kondensieren statt, das eine Trennung der Gemengeteile durch allmähliche Anreicherung des Dampfes mit leichter siedenden Bestandteilen bewirkt. (Durch Kondensation des

¹⁾ Siehe Backhaus: a. a. O. Ferner Vogelbusch: Wärmewirtschaftliche Fragen bei der Zerlegung von Flüssigkeitsgemischen durch Destillation. Sparwirtschaft 1928, 1.

Dampfes über einem Flüssigkeitsgemenge wird Wärme frei, welche ihrerseits aus dieser Flüssigkeit Dämpfe erzeugt. Der sich ergebende Dampf ist reicher an Leicht siedendem, die verbleibende Flüssigkeit reicher an Schwersiedendem.) Der Vorgang findet in der Weise statt, daß Flüssigkeit und Dampf die einzelnen „Kammern“ der Rektifikationskolonne in entgegengesetzter Reihenfolge im Gegenstrom durchströmen, und zwar geht der sich von Boden zu Boden mit dem leichtsiedenden Bestandteile anreichernde Dampf nach oben zum Kondensator und die sich von Boden zu Boden mit dem schwersiedenden Bestandteile anreichernde Flüssigkeit nach unten zur Blase. In jeder Kammer (über jedem „Boden“) der Verstärkerkolonne steigert sich die Anreicherung des Dampfes mit Leichtsiedendem. Im Kondensator werden die aus der letzten Kammer der Verstärkerkolonne aufsteigenden Dämpfe durch Abkühlung (meist mittels Wasser) teilweise verflüssigt. Der Restteil der Dämpfe geht in den Kühler, wird dort niedergeschlagen und als Enderzeugnis, welches nur leichtsiedende Bestandteile enthält, gewonnen.

Die im Kondensator verflüssigten Dämpfe (der „Rücklauf“) werden durch alle Kammern im Gegenstrom zu den aus der Blase kommenden Dämpfen geleitet. Der Rücklauf gibt Leichtsiedendes an die letztgenannten Dämpfe ab. In dieser Weise stellt sich ein Beharrungszustand in der Verstärkerkolonne ein, so daß die Verstärkung der über den einzelnen Kammerböden befindlichen Flüssigkeiten unverändert bleibt.

Der Dampfverbrauch eines Destillierapparates hängt von der Wirkungsweise der Verstärkerkolonne ab. Je vollkommener der einzelne Kammerboden arbeitet, je größer innerhalb gewisser Grenzen die Zahl der Kammerböden ist, um so geringer wird die Menge des Rücklaufes, welche zur Erzielung eines bestimmten Enddestillates nötig ist, und um so geringer wird der Wärmeumsatz in der Kolonne. Je vollkommener ferner der Wärmeaustausch zwischen Abwärmeträger und dem zu trennenden Flüssigkeitsgemisch innerhalb der Verstärkerkolonne gestaltet werden kann, um so weniger Heizdampf wird zum Weitererhitzen des Letztgenannten auf Siedetemperatur verbraucht. Tatsächlich finden sich in der Praxis heute noch Destilliereinrichtungen, welche bei Verwendung für ein und denselben Stoff bei gleichen äußeren Betriebsbedingungen bezüglich der Dampfverbrauchszahlen 60 bis 80% voneinander abweichen. Neben Ausführungen, die eine hochentwickelte wärmewirtschaftliche Stufe aufweisen, gibt es solche, bei denen nicht der leiseste Versuch zur Einschränkung des Wärmebedarfes unternommen wurde. Vielfach wird auch dem Umstand, daß Destillationsvorgänge oft mit Dampf von geringer Spannung (0,5 bis 1 atü) durchführbar sind, zu wenig Beachtung geschenkt. Man betreibt Anlagen oft nur deshalb mit höher gespanntem Frischdampf, weil die vorhandene Ein-

richtung dies notwendig macht und läßt die Möglichkeit unbeachtet, den Betrieb mit verhältnismäßig geringen Kosten auf die Verwendung von Maschinen-Ab- oder Entnahmedampf umzustellen. Im übrigen werden diese Fragen noch im dritten Abschnitt unter Gärungsindustrie (siehe S. 163 u. f.) behandelt.

Zweiter Abschnitt.

Über den Kraftbedarf in der Industrie und seine Deckung.

(Die Industrie der Stromerzeugung.)

Zur Deckung des Kraftbedarfes stand in den ältesten Zeiten nur die Menschenkraft zur Verfügung und auch dort, wo mehrere Betriebe nach damaligen Begriffen eine gemeinsame Krafterzeugung hatten, wurden die Zentralmaschinen durch Menschenkraft (z. B. Treitmühlen), später auch tierische Kraft (Pferdemühlen, Göpel u. dgl.) betrieben. Der nächste Schritt in der Entwicklung der Kraftbedarfsdeckung war die Verwendung der Energie des fließenden Wassers in verschieden ausgebildeten Wasserrädern, deren weitere Vervollkommnung zu den Wasserturbinen führte. Die Anwendung der Wasserkraft hat einen großen Einfluß auf die Lage der einzelnen Betriebe ausgeübt. Sie mußten den Wasserläufen nachgehen; dadurch war die damalige Industrie in der Wahl des Standortes sehr beschränkt. Erst die Einführung der Wärmekraftmaschine hat in dieser Hinsicht einigermaßen Wandel geschaffen, obwohl auch hier zunächst die Nähe der Kohlengruben bevorzugt wurde. Die Industrie war erst in der Lage, ihren Standort vollkommen unabhängig von der Kraftquelle zu wählen, als durch entsprechenden Ausbau des Verkehrs die Frage des Kohlentransportes und insbesondere später durch die Einführung des elektrischen Betriebes die einfachste Möglichkeit geschaffen war, Energie in Form von elektrischem Strom in einer vormals ungeahnt einfachen Weise auf verhältnismäßig weite Entfernungen zu leiten. Nichtsdestoweniger ist auch heute noch die Auswahl des richtigen Standortes bei einzelnen Industrien von energiewirtschaftlichen Fragen beeinflusst. So ist die Nähe von Kohlenwerken für die Industrie der Stromerzeugung, bei der die Verwendung der Abfallkohle die Kosten wesentlich erniedrigt, von Wichtigkeit, und für große elektrochemische Industrien, bei denen der Preis der elektrischen Energie einen namhaften Anteil der gesamten Gestehungskosten bildet, ist eine nicht gar zu weite Entfernung von der elektrischen Zentrale, die den erforderlichen Strom

liefert, mit Rücksicht auf möglichste Verringerung der Leitungskosten eine oft wichtige Bedingung.

Der Kraftbedarf des einzelnen industriellen Unternehmens setzt sich aus dem Kraftbedarf der einzelnen Maschinen zusammen, der von den Erzeugerfirmen auf Grund von Erfahrungswerten angegeben wird. Diese Angaben werden vielfach mißverstanden. Sie stellen einen Durchschnitt des Kraftbedarfes dar, der meistens keineswegs mit der zum Antrieb der Maschine erforderlichen Motorgröße übereinstimmt. Bei den meisten Arbeitsmaschinen in den verschiedensten Industrien treten auch im normalen Betrieb Schwankungen im Kraftverbrauch auf, die entweder im Wesen des Arbeitsvorganges begründet sind oder auch durch Ungleichmäßigkeiten des verarbeiteten Stoffes hervorgerufen werden. Derartigen plötzlichen und mehr oder weniger lang dauernden Schwankungen im Kraftbedarf muß der Antriebsmotor Folge leisten. Seine eigene Überlastungsfähigkeit reicht zur Bewältigung dieser Spitzen gewöhnlich nicht aus und es muß infolgedessen der Antriebsmotor immer größer gewählt werden, als dem von der Lieferantin der Arbeitsmaschine angegebenen durchschnittlichen Kraftverbrauch entspricht. Es empfiehlt sich infolgedessen, jeweils außer der Angabe des durchschnittlichen Kraftbedarfes auch noch besonders die Angabe „der erforderlichen Motorleistung“ einzuholen und womöglich eine Gewährleistung dafür zu verlangen, daß mit einem Motor dieser Leistung der normale Betrieb unter Berücksichtigung der hierbei auftretenden Schwankungen im Kraftbedarf anstandslos geführt werden kann. Diese Angaben sind auch im Transmissionsbetrieb wertvoll, da sie die Unterlagen bieten für die Berechnung der an den einzelnen Transmissionssträngen möglicherweise vorkommenden Höchstbelastungen.

Die Ermittlung des Gesamtkraftbedarfes einer industriellen Anlage erfolgt nun aus der Zusammenfassung des Kraftbedarfes der einzelnen Maschinen, wobei jedoch auf die Gleichzeitigkeit Rücksicht zu nehmen ist. Die Summe der PS oder kW aller in einer Anlage vorhandenen Motore ergibt eine Kraftmenge, welche praktisch niemals erforderlich wird. Selbst die Spitze des Kraftverbrauches eines industriellen Unternehmens ist in der Regel wesentlich geringer als die Summe der Nennleistung aller Motore. Der mittlere oder durchschnittliche Kraftverbrauch ist oft nur ein Bruchteil dieser Summe. Wenn die Summe der Nennleistungen aller Motore eines größeren industriellen Betriebes 1000 kW beträgt, wird die größte Spitze des Kraftbedarfes etwa zwischen 700 und 900 kW liegen und der durchschnittliche Kraftbedarf bei normalem Betrieb dürfte meist nicht größer sein als 500 bis 700 kW. Die für die Ermittlung der richtigen Größe einer Eigenkraftanlage hierbei besonders zu berücksichtigenden Verhältnisse sind bereits im 1. Band Seite 5 besprochen.

Die Frage, inwieweit Bestrebungen, den Kraftverbrauch zu verringern, am Platze sind, ist nicht in allen Fällen einheitlich zu beantworten und hängt von dem Wesen des betreffenden Industriezweiges, insbesondere aber von den Kosten der Kraft ab. In solchen Industrien, wo die Kraft gleichsam Abfallprodukt der sonstigen Energiewirtschaft ist, wovon im folgenden noch ausführlich die Rede sein wird, hat die Verringerung des Kraftverbrauches natürlich eine andere Bedeutung als in einem Betriebe, der Kraft beziehen oder sie selbst teuer erzeugen muß, oder aber die Möglichkeit hat, den bei ihm vorhandenen Überschuß an Kraft vorteilhaft anderweitig zu verwerten.

Die wichtigsten Faktoren, welche für die Gesteungskosten der Krafteinheit in Frage kommen, sind, wie bereits im 1. Band dieses Werkes besprochen, einerseits die aus den Kosten der Anlage und der Art ihrer Betriebsmittel sich ergebenden jährlichen Aufwendungen für Abschreibung, Verzinsung, Erhaltung und Bedienung, andererseits die Aufwendungen für Betriebsstoffe. Letztere entfallen bei Wasserkraftanlagen fast vollständig und bestehen bei Wärmekraftwerken überwiegend in den Kosten des Brennmaterials. In allen Fällen aber hat die Ausnützung der Anlage eine große Bedeutung. Infolgedessen sollen zunächst die verschiedenen, mit der Ausnützung unmittelbar und mittelbar zusammenhängenden Begriffe etwas erläutert werden. Die Kenntnis dieser Begriffe ist nicht nur von Wichtigkeit für den Leiter einer Kraftanlage, der die hier in Frage kommenden Umstände mit allen ihren Auswirkungen unmittelbar kennenzulernen Gelegenheit hat; auch jeder, der Kraft bzw. elektrischen Strom bezieht, muß sich über diese Zusammenhänge klar sein, wenn er über Strompreise, Stromart und Strommengen verhandeln und die vielen in Stromlieferungsverträgen enthaltenen Bestimmungen in ihren Auswirkungen für seinen eigenen Betrieb richtig erfassen will (siehe auch Bd. 1, S. 242).

Eine genaue Abgrenzung der Begriffe, die dabei regelmäßig auftreten, ist nicht nach allen Richtungen hin möglich. Es finden sich zwar Erklärungen in der Literatur vielfach¹⁾ vor, der Sprachgebrauch hat sie sich aber noch nicht so weit zu eigen gemacht, daß sie einheitlich verwendet werden. Es wird sich infolgedessen trotz der nachfolgenden Erklärungen oft als zweckentsprechend erweisen, den einen oder anderen Begriff in Verträgen noch näher umschreiben zu lassen.

Schon das Wort „Kraft“ wird im Sprachgebrauch anders verwendet, als es physikalisch richtig ist. Die Physik kennt den Begriff der „Leistung“, die in der Technik meist in Pferdekraft (PS) oder Kilowatt (kW), und den Begriff der „Energie“ (Arbeit), die in der Technik

¹⁾ Z. B. Klingenberg: Bau großer Elektrizitätswerke, 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1924; ferner Ornig: Österreichs Energiewirtschaft. Berlin: Julius Springer 1927.

meist in Pferdekraftstunden (PSst) oder Kilowattstunden (kWst) ausgedrückt wird. Die praktische Technik verwendet das Wort „Kraft“ bald für Leistung, bald für Arbeit, obwohl es richtig für keines von beiden anzuwenden wäre.

Mit „Leistung der Kraftanlage“ eines Elektrizitätswerkes oder dgl. bezeichnet man gewöhnlich die Gesamtleistung aller dort installierten Kraftmaschinen. Weiter ist z. B. zu unterscheiden, ob es sich um die Leistung, gemessen an der Welle der Kraftmaschine, oder ab Stromerzeuger, und bei Transformatorenanlagen vor (primär) oder hinter dem Transformator (sekundär) handelt u. dgl. m. Man spricht auch von „Normalleistung“, das ist die Leistung, bei der die günstigsten Verhältnisse (besten Wirkungsgrad, geringster Betriebsmittelverbrauch u. dgl.) obwalten, ferner von „Nenn- oder Volleistung“, das ist die größte Leistung, die noch ständig, also auch in 24stündigem Betrieb, anstandslos von der betreffenden Anlage oder den einzelnen Maschinen hergegeben werden kann. Schließlich bezeichnet man mit „Spitzenleistung“ die höchste Leistung, die vorübergehend (und auch hier findet man oft noch eine genauere Festlegung, z. B. $\frac{1}{4}$ stündig, $\frac{1}{2}$ stündig u. dgl.) entnommen werden kann.

Der Ausdruck „Anschlußwert“ bezeichnet die Summe der Nennleistungen aller Kraft- oder Stromverbraucher eines Betriebes, die an ein Elektrizitätswerk oder eine sonstige Stromabgabequelle angeschlossen sind. Eine derartige Quelle kann beispielsweise ein Transformator sein, von dem aus ein oder mehrere Betriebe versorgt werden, oder es kann lediglich die Zuführungsstelle zu dem strombeziehenden Unternehmen sein. Es kommt, wie schon einleitend erwähnt, im allgemeinen nicht oder nur äußerst selten vor, daß alle angeschlossenen Verbrauchsstellen gleichzeitig mit ihrer normalen oder vollen Leistung arbeiten; der tatsächliche Leistungsverbrauch einer Anschlußstelle ist durchschnittlich wesentlich geringer als der im vorstehenden Sinne errechnete Anschlußwert. Man kann z. B. Betriebe finden, bei denen die Summe der Motorleistungen beispielsweise 300 kW beträgt, während der zugehörige Transformator nur eine Maximalleistung von 200 kVA¹⁾ zuläßt, wobei er für alle im Betrieb vorkommenden Belastungen vollkommen ausreicht.

Aus der Tatsache, daß die gesamte ausgebaute Leistung niemals voll ausgenützt wird, ergeben sich dann verschiedene Begriffe der Ausnützung.

¹⁾ Die Leistung der Transformatoren sowie auch Drehstromerzeuger werden in kVA angegeben. Die Leistung in kW findet man durch Multiplikation mit dem der Verbraucheranlage eigenen $\cos \varphi$. Beträgt dieser beispielsweise 0,7, so ist die Leistung des 200 kVA-Transformators $200 \cdot 0,7 = 140$ kW. Näheres über „ $\cos \varphi$ “ siehe Bd. 1, S. 242 und Bd. 2, S. 73.

Ein vielfach angewendeter Begriff ist die „Benutzungsdauer“. Sie bezeichnet die Stundenanzahl, während der das Elektrizitätswerk oder eine bestimmte von einem Elektrizitätswerk dem Verbraucher ständig zur Verfügung zu haltende Höchstleistung (-strommenge) in ihrer gesamten Höhe verbraucht werden müßte, um die gleiche Kilowattstundenanzahl zu ergeben, wie die, welche während eines Jahres tatsächlich verbraucht worden ist. Es wird oft in diesem Sinne auch von einer „Benutzungsdauer der Spitze“ gesprochen.

Abb. 8 zeigt ein Bild über die Stromlieferung einer Elektrizitätswerks-Zentrale, wie es für einen Wintertag und für ein Werk, das verhältnismäßig großen Lichtkonsum zu decken hat, charakteristisch ist. Der Strombedarf steigt in der Spitze bis zu 6000 kW an. Die verbrauchte Energie kann in „Grundbelastungsenergie“ und „Spitzenenergie“ unterteilt werden, wenn die Gleichförmigkeit der in den verschiedenen Zeiten abge-

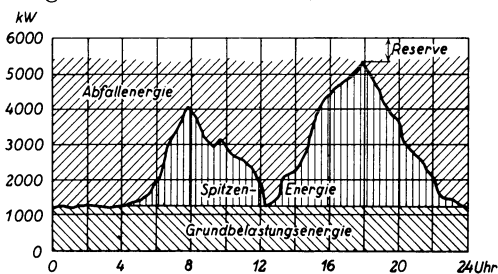


Abb. 8. Schematisches Stromverbrauchsbild eines Elektrizitätswerkes an einem Wintertag.

verschiedenen Zeiten abgenommenen Leistungsmengen beurteilt werden soll.

Dabei können noch verschiedene Mittelwerte beobachtet werden. Man spricht von einem Tagesmittel, Monatsmittel, Jahresmittel der Erzeugung und des Verbrauches, von Winter- und Sommermittel, wobei in

Mitteleuropa der Winter etwa die Zeit von November bis März (5 Monate) und der Sommer April bis Oktober (7 Monate) umfaßt; im allgemeinen wird naturgemäß diese Einteilung stark von der Art des Betriebes, seiner geographischen oder Höhenlage u. dgl. m. beeinflußt.

Es würde zu weit führen, auf viele andere in der Elektrizitätsindustrie gebräuchlichen und mehr oder weniger genau zu umschreibende Begriffe wie Gleichzeitigkeitsfaktor, Betriebszeitfaktor, Schwankungsverhältnis, wirtschaftliche Charakteristik einer Zentrale u. v. a. einzugehen. Wenn im folgenden von „Ausnützung“ die Rede ist, so soll damit immer das Verhältnis der mittleren Jahresleistung zur Leistung der gesamten für den Betrieb zur Verfügung stehenden Maschinen gemeint sein. Eine Zentrale mit z. B. 3 Aggregaten je 3000 kW, d. i. 9000 kW Maschinenleistung hat, wenn hier in einem Jahre insgesamt 30 000 000 kWst erzeugt werden, eine mittlere Jahresbelastung von $30\,000\,000 : 8760 = 3430$ kW; die Ausnützung dieser Zentrale ist dann $3430 : 9000 = 38\%$.

Die Ausnützung kann (s. auch Bd. 1, S. 29) in Benutzungsstunden ausgedrückt werden: 30 000 000 kWst entsprechen 3333 Benutzungsstunden

stunden der gesamten Leistungsfähigkeit von 9000 kW; man sagt dann: dieser Jahresverbrauch entspricht 3333 Benützungsstunden der zur Verfügung stehenden Werksleistung. (Aus den Benützungsstunden ergibt sich natürlich ebenfalls die Ausnützung mittels Teilung durch 8760; $3333 : 8760 = 38\%$).

Die jährlichen Aufwendungen für den Kapitaldienst (Tilgung und Verzinsung des Anlagekapitals) und für Erhaltung bleiben in ein und derselben Anlage je ausgebautes Kilowatt gleich groß, ob viel oder wenig Strom erzeugt, d. h. ob die Anlage gut oder schlecht ausgenützt wird. Diese jährlichen Aufwendungen, in einem Hundertsatze des Anlagekapitales angegeben, werden als feste Betriebskosten bezeichnet, im Gegensatze zu den Kosten des Brennmateriales, die von der Menge des erzeugten Stromes abhängen, demnach je nach der schlechteren oder besseren Ausnützung der Anlage niedriger oder höher sind und infolgedessen als veränderliche Betriebskosten bezeichnet werden.

Die Frage nach den Gestehungskosten der kWst bei Wasserwerken, bei welchen nur die festen Betriebskosten in Rechnung zu setzen sind, beantwortet sich am einfachsten an Hand des graphischen Bildes (Abb. 9).

In diesem Bilde geben die Abszissen die Ausnützung der Anlage in Hundertteilen an, als Ordinaten sind die Jahreskosten je ausgebautes Kilowatt aufgetragen, d. i. also die Summe aus Tilgung, Verzinsung des Anlagekapitales und Kosten der Erhaltung der Anlage je Kilowatt. Jeder der vom Ursprung ausgehenden Strahlen enthält dann, wie eine einfache Überlegung zeigt, Punkte, welche gleiche Stromkosten je kWst darstellen.

Betragen beispielsweise die gesamten Jahreskosten einer Wasserwerksanlage Mk. 150,— je ausgebautes Kilowatt (entsprechend etwa Anlagekosten von Mk. 1250,— je Kilowatt, wie sie als beispielsweise Durchschnitt in Rechnung gesetzt werden können, und einem Satze von 12% für Tilgung, Verzinsung, Erhaltung usw.), so betrachtet man die Horizontale mit der Ordinate 150 bzw. ihre Schnittpunkte mit den Strahlen, welche die kWst-Preise angeben. Der Punkt *A* dieser Horizontalen, der beispielsweise der Ausnützung von 68% entspricht, liegt auf dem Strahle, den der Strompreis von 2,5 Pf. je kWst ergibt.

Eine nach gegenwärtigen Begriffen billige Wasserkraftanlage, die nur etwa Mk. 800,— je ausgebautes Kilowatt kostet und etwa Mk. 100,— jährliche Gesamtkosten je kWst aufweist, erzeugt bei 25proz. Ausnützung die kWst nicht billiger als 4,6 Pf. (Punkt *B* der Abb. 9) und müßte mit einer Ausnützung von ca. 57% arbeiten, um Stromkosten von 2 Pf. zu ergeben (Punkt *C*).

Um auf Strompreise von 1 Pf. zu kommen, dürften die Jahreskosten, selbst in einer Anlage, welche voll (100proz.) ausgenützt ist, nicht höher sein als etwa Mk. 88,— je kW. Dies ist bei einem Satze von 12% für Kapitaldienst u. a. nur bei einer Anlage möglich, welche nicht mehr als etwa Mk. 735,— für das ausgebaute kW (Punkt *D*) kostet. Strompreise von 0,5 Pf. je kWst sind auch bei 100proz. Ausnützung nur bei

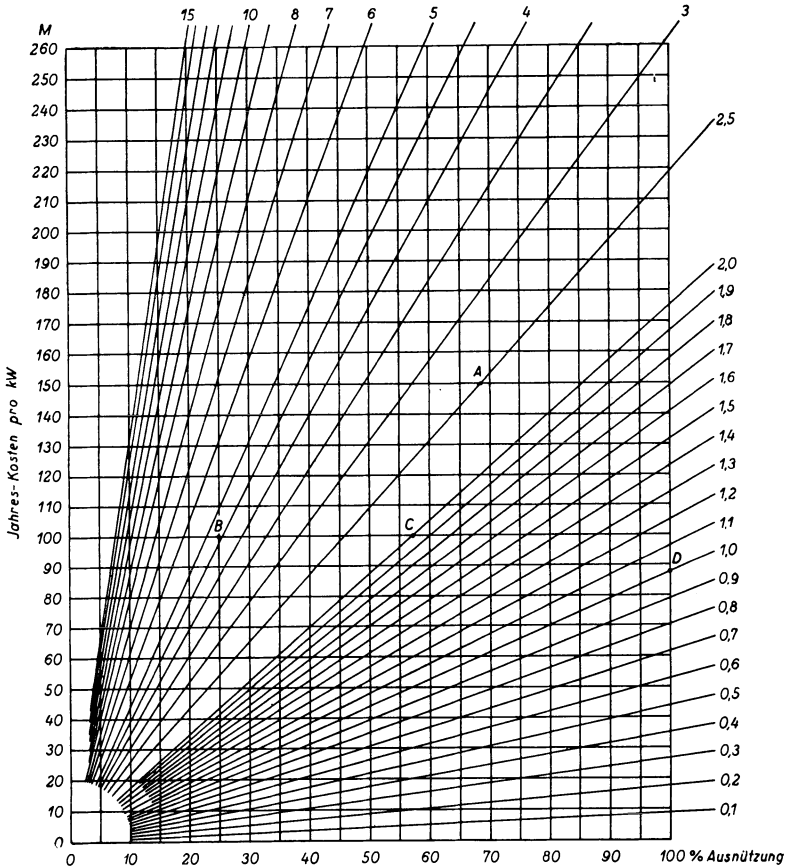


Abb. 9. Gestehungskosten der kWst bei Wasserkraftwerken.

Anlagen möglich, welche nicht mehr als etwa Mk. 370,— je ausgebautes kW kosten. An der Seeküste Norwegens und Dalmatiens und den außereuropäischen Ländern gibt es vereinzelte Werke, bei denen der Gestehungspreis der kWst sich in der Größenordnung von 0,5 bis 1 Pf. bewegt; sie stammen aus der Vorkriegszeit und hatten an und für sich niedere Anlagekosten; das zum Ausbau erforderliche Kapital konnte zu einem niederen Zinsfuß beschafft werden und überdies arbeiten diese Werke mit entsprechend hoher Ausnützung meist im Anschluß

an chemische oder Papierfabriken, welche jederzeit die gesamte verfügbare Strommenge zu verwerten in der Lage sind. Elektrizitätswerkstätten mit so niedrigen Gestehungspreisen der kWst gehören aber zu den seltensten Ausnahmen. Bei den im letzten Jahrzehnt gebauten Wasserkraft-Elektrizitätswerken, deren Herstellungskosten um sehr vieles höher sind als in der Vorkriegszeit und bei den heutigen hohen Zinssätzen, sind Durchschnittspreise der kWst dieser Größenordnung ausgeschlossen. In absehbarer Zeit wird es nicht mehr möglich sein, aus Wasserkraftanlagen so billige Energie zu erhalten, wie aus Werken, die unter günstigen Bedingungen in der Vorkriegszeit gebaut worden sind. Es liegt ein ähnliches Verhältnis vor wie beim Vergleich zweier Industrieunternehmungen, von denen das ältere mit stark abgeschriebenen Einrichtungen bei der Selbstkostenberechnung im Vorteil ist

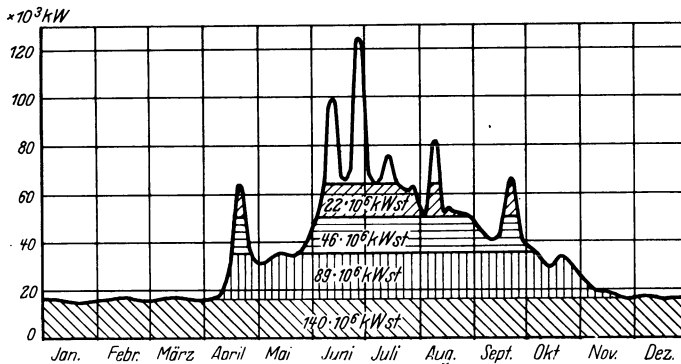


Abb. 10. Die aus einem Flußlauf zu gewinnende Energie bei verschiedener Ausbaugröße des Wasserkraftwerkes.

gegenüber einem neuen, das hohe Abschreibungs- und Verzinsungsbelastungen aufweist. Alle Errungenschaften der Technik sind in einem derartigen Falle notwendig, um die neue Anlage der abgeschriebenen gegenüber halbwegs wettbewerbsfähig zu machen, selbst wenn die letztere mit veralteten Einrichtungen arbeitet. Es ist demnach ein dringendes Gebot, bei der Errichtung von Wasserkraftwerken die niedrigsten Herstellungskosten bei gleichzeitig höchstem Wirkungsgrad der verwendeten Betriebsmittel anzustreben.

Hierfür ist zunächst die Feststellung der richtigen Ausbaugröße einer Wasserkraftanlage von Wichtigkeit. Die Wassermengen in den Flußläufen sind zu den verschiedenen Jahreszeiten verschieden und schwanken oft, besonders bei Flußläufen in Gebirgen, zwischen sehr weiten Grenzen. Abb. 10 zeigt beispielsweise die aus einem Flusse zu den verschiedenen Zeiten eines Jahres zu gewinnende Energie. Die Höchstleistung von 120000 kW tritt nur ganz kurzzeitig auf, aber auch Leistungen von etwa 65000 kW sind nur während etwa $2\frac{1}{2}$ Monaten

verfügbar und während längerer Zeit des Jahres, insbesondere während der Wintermonate, geht die Leistung etwa bis auf nur 16000 kW zurück. Man bezeichnet jene niedrigste Leistung, die immer, also auch zu den Zeiten geringsten Wasserstandes vorhanden ist, mitunter als „Edelkraft“, im Gegensatz zu den Kraftmengen, die nur während kürzerer Zeiträume verfügbar sind. Wenn nun an diesem Flußlauf ein Werk für eine Leistungsfähigkeit von 16000 kW gebaut wird, könnten hiermit $16000 \cdot 8760$, d. s. rund 140 Millionen kWst im Jahre erzeugt werden. Wenn die Kraftanlage für 35000 kW bemessen wird, ist insgesamt die der vertikal schraffierten Fläche entsprechende Mehrenergie von 89 Millionen kWst zu gewinnen. Ein weiterer Ausbau um weitere 15000 kW, also auf 50000 kW bringt nur noch ein Mehr von 46 Millionen kWst. In jedem einzelnen Fall ist festzustellen, ob die Mehrkosten der größeren Anlage in einem entsprechenden Verhältnis stehen zu dem Mehrgewinn an elektrischer Energie. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß sich die Mehrleistung bei dem größeren Ausbau nur auf eine jeweils kürzere Zeit erstreckt, wodurch der Verkaufswert dieser Energie geringer wird. Für das dargestellte Beispiel dürfte die beste Wirtschaftlichkeit beim Ausbau auf etwa 35000 kW liegen.

Bei Wasserkraftanlagen dieser Art ist die Ausnützung nicht nur abhängig vom Verbrauch, also von den Schwankungen, die im Strombezug bei den verschiedenen Abnehmern eintreten, sondern in erster Linie auch von den Schwankungen in der verfügbaren Wassermenge. Dies gilt zunächst für die sogenannten „Laufwerke“, das sind Anlagen, welche (im Gegensatz zu „Speicherwerken“) keine Speicher besitzen, daher zu wasserarmer Zeit nur so viel Kraft erzeugen lassen, als eben Wasser im Flußlauf vorhanden ist, während zu wasserreicher Zeit das überschüssige Wasser ungenutzt fortfließt. Speicherwerke ermöglichen demgegenüber, das überschüssige Wasser in entsprechend angelegten Becken anzusammeln, um damit zur gegebenen Zeit größeren Bedarf decken zu können. Man unterscheidet hier wieder je nach Größe und Zweck Tagesspeicher, Jahresspeicher u. dgl.

Da in Laufwerken in der Nacht meist ein großer Teil der Wassenergie ungenutzt zu Tal fließt und diese Werke auch nur über eine sehr geringe oder fast gar keine Momentanreserve verfügen, werden jetzt vereinzelt sogenannte „Pumpspeicherwerke“ angelegt. Es wird hierbei an günstigen Stellen auf einer Berghöhe nahe dem Flußlauf ein künstliches Wasserbecken gebaut. Zu den Zeiten schwacher Kraftwerksbelastung wird die hier überschüssige Kraft zum Betriebe einer Pumpstation verwendet, welche mit aus dem Flusse geschöpftem Wasser das Hochbecken anfüllt. Zu den Zeiten starker Kraftwerksbelastung wird dann das aufgespeicherte Wasser aus dem Hochbecken wieder abge-

lassen und zum Antriebe von Turbinen verwendet. Der hier erzeugte Strom dient dann zur Unterstützung des Laufwerkes.

Überschlägig kann damit gerechnet werden, daß die derart gewonnene Nutzleistung 45 bis 55% der aufgewendeten Leistung beträgt, daß also hiermit ein namhafter Energieverlust verbunden ist. Trotzdem ist aber der wirtschaftliche Nutzen derartiger Pumpspeicherwerke mitunter gegeben, denn es kann hierdurch die Stromkapazität bedeutend gesteigert werden.

In Anbetracht der großen Bedeutung, welche den Pumpspeicherwerken neuester Zeit zugemessen wird, seien daher im folgenden zwei derartige Anlagen, die sich auch durch ihre gewaltigen Abmessungen auszeichnen, erwähnt.

So hat das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk ein Pumpspeicherwerk bei Herdecke a. d. Ruhr gebaut. Es wurden hier vier Maschinensätze aufgestellt, von denen drei aus Motor-Generator, Voith-Spiralturbine und Voith-Sulzer-Speicherpumpe auf gemeinsamer Welle bestehen, während der vierte Satz zunächst noch keine Pumpe erhält. Die Turbinen sind für eine mittlere Leistung von 45000 PS, die Pumpen für 34000 PS Kraftaufnahme gebaut.

Das Hochspeicherbecken, welches das am Ufer der Ruhr zu erbauende Kraftwerk mit Wasser versorgen soll, erhält einen Fassungsraum von rund 1,57 Mill. m³. Das Wasser wird dem Staubecken (Wasservorlage) des in der Ruhr im Bau befindlichen Laufkraftwerkes Hengstey entnommen. Bei einer mittleren Turbinenleistung von $4 \cdot 45000 \text{ PS} = 180000 \text{ PS}$ werden insgesamt rund 103 m³ Wasser je Sekunde verbraucht, so daß sich bei Vollaussnutzung aller Turbinen eine Betriebszeit von rund 4,2 Stunden für das Speicherwerk ergibt. Zur Füllung des Speicherbeckens müssen die drei Pumpen bei einer mittleren Gesamtfördermenge von 37 m³/sek rund 12 Stunden im Betrieb sein. Während dieser Zeit werden für ihren Antrieb rund 100000 PS gebraucht.

Die Schwankung des Wasserspiegels im oberen Speicherbecken beträgt 18,7 m. Ihr steht eine Wasserspiegelschwankung in der als unteres Becken dienenden Wasservorlage des Laufwerkes Hengstey von 0,7 m gegenüber. Vom Hochspeicherbecken führen entsprechend den vier Maschinensätzen vier Rohrleitungen zum Kraftwerk am unteren Becken. Die schiefe Länge der Rohrleitungen, welche in zwei getrennten Trassen geführt werden, beträgt rund 380 m. Im Krafthaus wurden die vier Maschinensätze mit liegender Welle in Richtung der Welle nebeneinander aufgestellt. Die Spiralturbinen sind mit den Generatoren starr gekuppelt. Zwischen den Pumpen und den Generatoren sind im Betriebe ein- und ausschaltbare Kupplungen vorgesehen.

Die Voith-Turbinen sind für eine Nennleistung von 45000 PS bei einem mittleren Gefälle von 155 m gebaut und erreichen die Höchstleistung von 48500 PS bei 163 m Gefälle. Die drei Voith-Sulzer-Speicherpumpen werden für eine größte Förderhöhe von 166 m und 12 m³/sek Wassermenge gebaut, wobei sie eine Antriebsleistung von 32500 PS verlangen. Die Förderleistung steigt auf 34000 PS bei einer Förderhöhe von 149 m und einer Wassermenge von 13,6 m³/sek.

Ein anderes in verschiedener Beziehung bemerkenswertes Pump-Speicherwerk ist in der letzten Zeit im Freistaat Sachsen in Angriff genommen worden. Es handelt sich um ein hydraulisches Pumpspeicherkraftwerk, das in Zusammenarbeit der Stadt Dresden und der A.-G. Sächsische Werke auf der Flur Niederwartha bei Dresden errichtet wird. Das Werk soll einen Ausgleich der Belastungsspitzen im Überlandnetz der sächsischen Elektrizitätsversorgung herbeiführen und außerdem vor allem die Stromversorgung des Verbrauchsgebietes Groß-

Dresden unbedingt sicherstellen, auch für den Fall, daß die Stromlieferung aus dem Überlandnetz in irgendeiner Weise gestört wird. Es ist dadurch bemerkenswert, daß zum erstenmal durch Dampf erzeugte Energie in großem Maßstabe hydraulisch aufgespeichert wird. In dem Kraftwerk werden vier Maschinensätze aufgestellt, deren jeder aus einer Turbine, einer Pumpe und einer elektrischen Maschine besteht. Von den vier Einheiten werden zwei Turbinen und zwei Pumpen von M. Voith, Heidenheim, Gebrüder Sulzer A.-G., Ludwigshafen, die beiden anderen von Escher, Wyss & Co. in Ravensburg geliefert. Die Spiralturbinen mit je 30000 PS Leistung und auch die Pumpen, deren jede 27000 PS Arbeitsleistung verlangt, zählen zu den größten Maschinen ihrer Art in Deutschland. Die Generatoren mit stehender Welle sind Fabrikat Sachsenwerk Niedersiedlitz.

Bei Laufwerken mit stark schwankenden Wassermengen gibt also die Ausbaugröße selbst kein richtiges Bild über die Energiemenge, die dort im Laufe eines Jahres erzeugt werden kann. Mit Rücksicht hierauf bürgert sich der Gebrauch ein, die Größe der Wasserkraftanlagen durch die jährlich höchsterzeugbaren PSst und kWst anzugeben. Im Zusammenhang mit dieser Bezeichnung findet man auch oft die Angabe der Kosten einer Wasserkraftanlage je erzeugbare kWst. Diese Kosten mit dem für die betreffende Anlage in Frage kommenden Hundertsatz für Kapitalstilgung und Erhaltung ergeben dann die Gestehungskosten der kWst bei voller Ausnützung des Werkes.

Nach Berichten der Weltkraftkonferenz in London 1924 werden die ausbauwürdigen Wasserkräfte Deutschlands auf etwa 1500000 kW geschätzt. (Von anderer Seite werden sie höher angegeben. Es finden sich Ziffern bis zu 4500000 kW, die aber wahrscheinlich zu hoch gegriffen sind.) Die amtlichen deutschen Stellen schätzen die aus Wasserkraften gewinnbare Energiemenge auf 10 Milliarden kWst (dies würde bei etwas mehr als 6000 Benützungstunden der vorstehenden Leistung von 1500000 kW entsprechen.) Hiervon sind etwa 50% schon ausgebaut. Wenn der Verbrauch an elektrischer Energie auch noch so sehr zunehmen sollte, ist aber nicht damit zu rechnen, daß der Ausbau der noch verfügbaren Wasserkräfte eine allzu energische Fortsetzung erfährt, und zwar vor allem wegen der erforderlichen großen Kapitalien. Aber auch noch viele andere Gründe sprechen dafür, daß das Ausbaumaß der deutschen Wasserkräfte nicht viel über das Maß gesteigert werden wird, das durch die allgemeine Steigerung des Kraftverbrauches in Deutschland überhaupt gegeben ist¹⁾.

In Österreich, welches für die Wasserkraftnutzung teilweise besonders günstige Voraussetzungen aufweist, standen im Jahre 1918 rund 300000 Wasserkraftpferde in Betrieb. Bis anfangs 1927 sind 71 Werke mit 270000 PS neu dazugekommen, während noch 18 Kraftwerksbauten mit einer Turbinenleistung von 475000 PS in Bau standen. In

¹⁾ Siehe diesbezüglich auch Klingenberg: Bau großer Elektrizitätswerke. Berlin: Julius Springer 1924.

Italien betrug allein im Jahre 1926 der Zuwachs 44 neue Wasserwerke mit 240000 PS. Die russischen Elektrizitätswerke, welche im Jahre 1910 insgesamt 780000 kW Leistung aufwiesen, hatten 1927 mehr als 2000000 kW an Gesamtleistung verfügbar. Ein großer Teil hiervon sind Wasserkraftanlagen.

Ob das in vielen Ländern beim Wasserkraftausbau eingeschlagene Zeitmaß nach dem Vorgesagten wirtschaftlich richtig ist, läßt sich schwer beurteilen. Immerhin deutet die Tatsache, daß nicht alle Wasserkraft-Elektrizitätswerke in der Lage sind, ihren ganzen verfügbaren Strom zu verwerten, wohl darauf hin, daß die Bedarfssteigerung nach Strom in diesen Gebieten nicht Schritt gehalten hat mit dem vermehrten Angebot von Strom aus Wasserkraftanlagen. Der Grund hierfür liegt in der großen Verbreitung, die das Schlagwort „weiße Kohle“ gefunden hat und in der nicht immer ganz richtigen Anschauung, „durch Ausbau der Wasserkräfte könne der Kohlenverbrauch der Industrie fast restlos beseitigt werden“¹⁾. In manchen Ländern haben diese Schlagworte und Grundsätze nicht nur in die unmittelbar beteiligten Wirtschaftskreise, sondern auch in breitere Schichten Eingang gefunden, was sich in den letzten und wichtigsten Auswirkungen darin äußerte, daß Geldmittel zum Ausbau von Wasserkraften verhältnismäßig leicht gefunden wurden, während für Kohlenkraftwerke das Interesse vielfach auch da erlosch, wo die besten Voraussetzungen für ihre wirtschaftliche Entwicklung und einen günstigen Geldertrag gegeben waren. Immerhin hat die an manchen Stellen unzweifelhaft vorhandene Übererzeugung von Wasserkraftenergie zur Folge gehabt, daß die Strompreise in jenen Gegenden auf das zulässige Mindestmaß gesunken sind, wenn auch im allgemeinen das Preisniveau der Wasserkraftenergie in der Praxis aus Gründen, über die noch im folgenden gesprochen werden wird, nicht so tief steht, wie die Industrie es zu Zeiten der Verbreitung der Wasserkraftideen erwarten zu können glaubte.

Die Gestehungskosten der kWst bei Wärmekraftanlagen lassen sich an einem ähnlichen Schaubild, wie das früher besprochene (Abb. 9) darstellen; nur kommen zu den festen jährlichen Gesamtkosten noch die veränderlichen Betriebskosten für Brennmaterial u. dgl. hinzu.

Auch hier sind die festen jährlichen Gesamtkosten vornehmlich durch den Kapitaldienst und die Erhaltungskosten, die beide in erster Linie durch die Anlagekosten beeinflußt sind, bedingt.

Über die Anlagekosten von Wärmekraftanlagen finden sich im ersten Band Seite 147 bis 167 eingehende Angaben, die jedoch meist für Kraft-

¹⁾ Siehe Gerbel: Irrtum und Wahrheit über Wasserkraft und Kohle. Berlin: Julius Springer 1925.

anlagen von Fabriken gelten und dementsprechend nur für kleine und mittlere Größenordnungen in Betracht kommen. Für Zentralen von Elektrizitätswerken finden sich wertvolle Fingerzeige bei Klingenberg (a. a. O.). Kleinere Zentralen haben heute Anlagekosten von Mk. 400,— bis Mk. 500,— je kW. Es gibt aber auch solche, deren Anlagekosten viel größer waren. Für größere Werke, die vor dem Kriege und bis vor etwa 10 Jahren fast nie unter Mk. 400,— je kW hergestellt werden konnten, und oft Anlagekosten von Mk. 500,— bis Mk. 600,— je kW aufwiesen, hat die technische Entwicklung und insbesondere die Verwendung großer Einheiten Erfolge gezeitigt, die ermöglichen, unter günstigen Verhältnissen die Herstellungskosten trotz der allgemeinen Verteuerung bis auf Mk. 200,— herunter zu bringen. Dampfkraftwerke von 50000 kW und mehr sind auch schon mit noch geringeren Kosten je ausgebautes kW hergestellt worden. Die unterste, bei überaus günstigen Verhältnissen, sparsamster Bauweise und umsichtigster Bauleitung erzielbare Grenze dürfte für größte Überlandwerke bei etwa Mk. 150,— je kW gelegen sein. Bei Elektrizitätswerken großer Städte, deren ältere Teile die der früheren Zeit entsprechenden höheren Herstellungskosten von Mk. 500,— und mehr aufweisen, während die Aufwendungen für ihre letzten Zubauten Mk. 300,— oder weniger je kW betragen, kann mit durchschnittlichen Anlagekosten von Mk. 400,— je kW gerechnet werden. Dies entspricht beispielsweise den Verhältnissen der Berliner städtischen Elektrizitätswerke und auch sonst einem Durchschnitte, wie er allgemeinen Betrachtungen zugrunde gelegt werden kann.

Der Hundertsatz, der zur Ermittlung der festen Betriebskosten als Durchschnitt hier in Frage kommt, beträgt etwa 15%. (Die unterste Grenze kann mit 12 bis 13%, und zwar etwa 8% für Verzinsung und 4 bis 5 Prozent für Abschreibung und Rücklagen, angesetzt werden), so daß sich z. B. bei Anlagekosten von Mk. 400,— die festen Jahresbetriebskosten zu etwa Mk. 60,— ergeben.

Der Verbrauch an Brennmaterial einer bestimmten Anlage bei verschiedenen Leistungen ist zwar der Leistung der Anlage nicht genau proportional, da einerseits der spezifische Verbrauch an Betriebsmitteln bei schwankender Kraftabgabe gewissen Änderungen unterworfen ist, andererseits aber auch der von der Leistung unabhängige Leerlaufverbrauch der ganzen Anlage die Proportionalität beeinflußt; für rohe Überschlagsberechnungen kann aber bei großen Kraftanlagen ein linearer Verlauf der durch das Brennmaterial bedingten Kosten mit einer für die nachfolgenden Überlegungen genügenden Genauigkeit angenommen werden.

Um diese Verhältnisse in dem Schaubild (Abb. 11) darzustellen, ist vom Punkte O_1 mit der Ordinate 60, die den festen Jahreskosten

je kW entspricht, ein Strahl zu ziehen, der zu jenem von O ausgehenden Strahl parallel ist, der so viel Pf. je kWst entspricht, als das Brennmaterial je kWst kostet; z. B. ist bei einem Brennmaterialpreis von 2,5 Pf. je kWst durch O_1 eine Parallele zum Strahl mit der Bezeichnung 2,5 zu ziehen. Aus den Schnittpunkten dieses von O_1 ausgehenden Strahles S_1 mit den von O ausgehenden Strahlen ist für jede be-

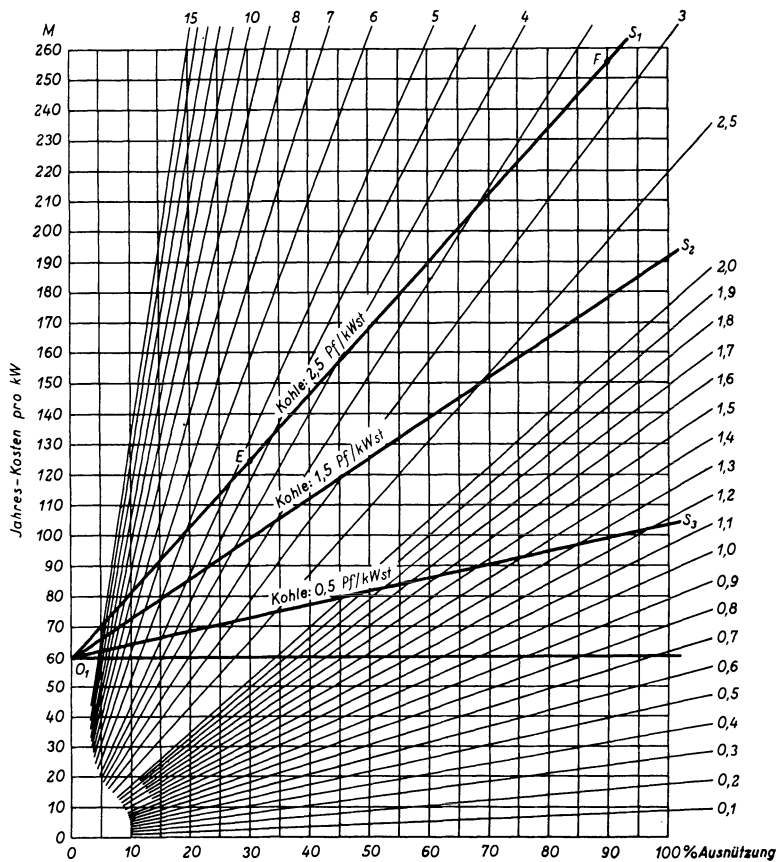


Abb. 11. Gestehungskosten der kWst bei Dampfkraftwerken.

liebige Ausnutzung der entsprechende Strompreis zu entnehmen: will man also bei irgendeiner Ausnutzung die Kosten der kWst finden, so ist nur zu suchen, auf welchen bzw. zwischen welchen von O ausgehenden Strahlen jener Punkt dieser Linien liegt, dessen Abszisse die Ausnutzung angibt. In einer Dampfanlage, deren feste Betriebskosten Mk. 60,— je ausgebautes kW und Jahr betragen und bei welcher 2,5 Pf. je kWst an Brennmaterial aufzuwenden sind, betragen die gesamten Gestehungskosten des elektrischen Stromes bei beispielsweise 30proz.

Ausnützung (Punkt *E*) 4,7 Pf., bei 90proz. Ausnützung (Punkt *F*) 3,25 Pf. In dem Bilde sind dann noch die Linie für Kohlenkosten von 1,5 Pf. (S_2) und 0,5 Pf. (S_3) je kWst eingetragen. Es lassen sich natürlich für jeden beliebigen Kohlenpreis die betreffenden Linien eintragen.

Schaubilder, wie das hier dargestellte, sind für rohe Vorausberechnungen der Gestehungskosten elektrischer Energie bei Vergleich von Dampfanlagen verschiedener Größe, verschiedener Wirtschaftlichkeit und bei verschiedenen Kohlenpreisen sehr lehrreich. Sie ermöglichen aber auch mit der bildlichen Darstellung eigenen Übersichtlichkeit den Vergleich von Stromkosten einer Dampfkraft- und einer Wasserkraftanlage, insbesondere in ihren Beziehungen zur Ausnützung. Schon ein Blick auf das Schaubild zeigt, daß die in Dampfkraftanlagen erzeugte elektrische Energie bei geringerer Ausnützung selbst bei hohen Brennstoffkosten meist billiger ist als die in Wasserkraftanlagen erzeugte, während bei hoher Ausnützung letztere in der Regel die billigeren Gestehungskosten aufweisen. Vergleicht man beispielsweise eine Wasserkraftanlage, deren Jahreskosten je ausgebautes kW Mk. 125,— betragen, mit einer Dampfkraftanlage gleicher Leistung, für welche die festen Betriebskosten Mk. 60,— je kW und Jahr betragen und bei welcher mit Brenn- und Betriebsmaterialkosten von 2,5 Pf. je kWst zu rechnen ist, so ergeben sich die Gestehungskosten laut Zahlentafel 11.

Zahlentafel 11.

	Der Wasserkraft- anlage Pf. je kWst	Der Dampfkraft- anlage Pf. je kWst
bei 10proz. Ausnützung	14,0	9,2
„ 20 „ „	7,25	5,9
„ 30 „ „	4,75	4,75
„ 40 „ „	3,6	4,2
„ 50 „ „	2,85	3,8
„ 70 „ „	2,0	3,5
„ 100 „ „	1,43	3,2

Bei 30proz. Ausnützung ergeben sich in dem vorliegenden Falle die Gestehungskosten für Wasser- und Dampfkraft gleich hoch, bei schlechterer Ausnützung ist die Dampfkraftanlage, bei besserer Ausnützung die Wasserkraftanlage im Vorteil. Bei billigeren Kohlenpreisen verschiebt sich das Bild zugunsten der Kohlenkraftwerke und bei Kohlenpreisen von weniger als 0,75 Pf. je kWst ist die Dampfkraftanlage unter den hier angenommenen Verhältnissen auch bei günstiger Ausnützung billiger als die Wasserkraft. Kohlenpreise dieser Größenordnung sind häufig anzutreffen; bei Anlagen, die direkt auf Kohlenzechen erbaut sind, ist sogar mit noch niedrigeren Preisen zu rechnen,

insbesondere dann, wenn es sich um Verfeuerung von unverkäuflichen Abfallkohlen handelt. So kann man in manchen Fällen die nach allgemeiner Auffassung sonderbar anmutende Erscheinung finden, daß zur Verbilligung des Wasserkraft-Strompreises ein zusätzliches Dampfkraftwerk, bei dem die hier geschilderten Verhältnisse vorliegen, herangezogen wird.

Was nun die Ausnützung einzelner Werke betrifft, finden sich hier die verschiedenartigsten Verhältnisse. Zunächst ist für die Ausnützung maßgebend, ob das Werk vornehmlich Lichtverbrauch zu decken oder mehr oder weniger auch Strom für Kraftzwecke und schließlich auch für Bahnzwecke zu liefern hat. Mitunter fällt auch der Stromverbrauch für Koch- und Heizzwecke in die Wagschale. Der Lichtverbrauch allein ruft naturgemäß sehr große Schwankungen hervor. Elektrizitätswerke, die ihn ausschließlich zu befriedigen haben, arbeiten selten mit einer Ausnützung von mehr als 20%. Bei Werken, welche größtenteils nur Strom für Kraftzwecke liefern, können Ausnützungen von 30 bis 60% vorkommen; die höhere Ziffer dann, wenn auch eine entsprechende Anzahl von Fabriken angeschlossen sind, die mehrschichtigen oder ununterbrochenen Betrieb aufweisen. Sehr selten sind schon wegen der erforderlichen Maschinenreserven Ausnützungen von über 60% bei öffentlichen Werken zu finden. Das ist nur dann der Fall, wenn ein Werk als Teil einer Gemeinschaft von Werken ein großes Versorgungsgebiet mitbedient und besonders billigen Strom liefert. Es wird dann alles, was dort an elektrischer Energie erzeugt werden kann, von dem gemeinsamen Netz aufgenommen; der Rest wird aus den anderen Werken gedeckt. Bahnwerke haben eine Ausnützung von 35 bis 40%. (Die italienischen Bahnen weisen eine Ausnützung bis zu ca. 38% auf, für die englischen Bahnen werden in Werken von 123000 kW Leistung 400 Mill. kWst erzeugt, d. i. eine Ausnützung von 37%. Ähnlich verhält es sich mit den Schweizer Bahnen.) Die Verwendung von Strom für Koch- und Heizzwecke, der, insbesondere wenn es sich um Warmwassererzeuger handelt, in der Zeit der schwächeren Belastung der Werke zu beziehen ist, verbessert die Ausnützung.

Die Elektrizitätswerke Deutschlands und Österreichs wiesen in der überwiegenden Mehrheit noch zu Beginn des Krieges eine Ausnützung von nur 15 bis 20% auf; heute ist sie in Deutschland auf ca. 30% im Mittel gestiegen, da die Wichtigkeit der verbesserten Ausnützung allgemein anerkannt ist. Die Mittel, welche hierzu führen, liegen in erster Linie in der Preispolitik der Werke, welche die Tatsache ausnützen, daß für manche Zwecke, zu denen vornehmlich der Lichtverbrauch gehört, wesentlich höhere Preise erzielbar sind als für Stromlieferungen für Kraft- und Bahnzwecke, überdies aber auch in der Erkenntnis, daß große Strommengen zu gewissen Zeiten auch zu Strompreisen abgegeben werden können, die sogar unter den durchschnittlichen Ge-

stehungskosten liegen, weil die dadurch verbesserte Ausnützung sich in einer allgemeinen Herabsetzung der Gesteungskosten der gesamten

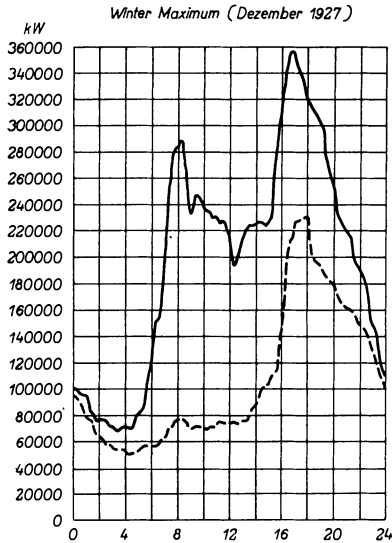


Abb. 12.

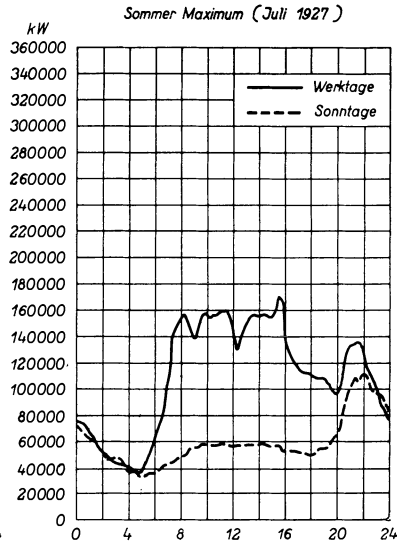


Abb. 13.

Stromverbrauch der Berliner städt. Elektrizitätswerke an zwei charakteristischen Tagen.

kWst äußert. Die praktische Durchführung erfolgt beispielsweise in der Ansetzung sogenannter Sperrstunden, während welcher kein Strom

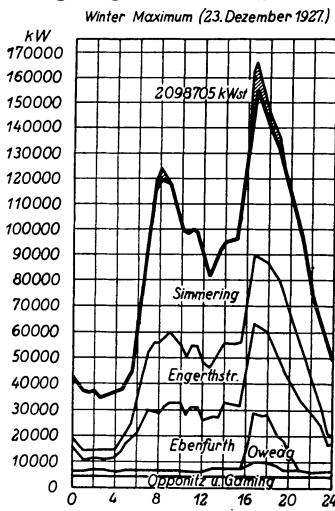


Abb. 14.

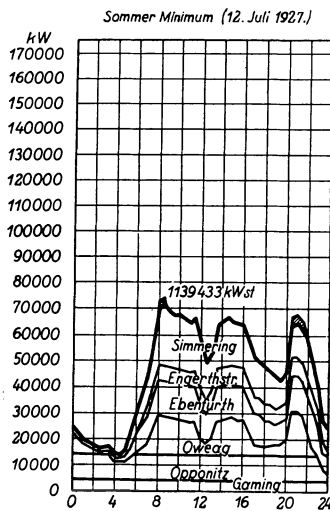


Abb. 15.

Stromverbrauch der Wiener städt. Elektrizitätswerke.

verbraucht werden darf, oder aber mit einem wesentlich höheren Preise bezahlt werden muß.

Die Abb. 12 und Abb. 13 zeigen den Stromverlauf der Berliner städtischen Elektrizitätswerke an zwei charakteristischen Tagen, Abb. 14 und Abb. 15 zeigen den Stromverbrauch der Wiener städtischen Elektrizitätswerke und zwar die Winterhöchstmenge vom 23. Dezember 1927 und die Sommerkleinstmenge, welche am 12. Juli 1927 verzeichnet wurde. Es ist aus diesen Bildern eine gewisse Einheitlichkeit nicht zu verkennen, trotz der vielen Verschiedenartigkeiten dieser beiden Städte.

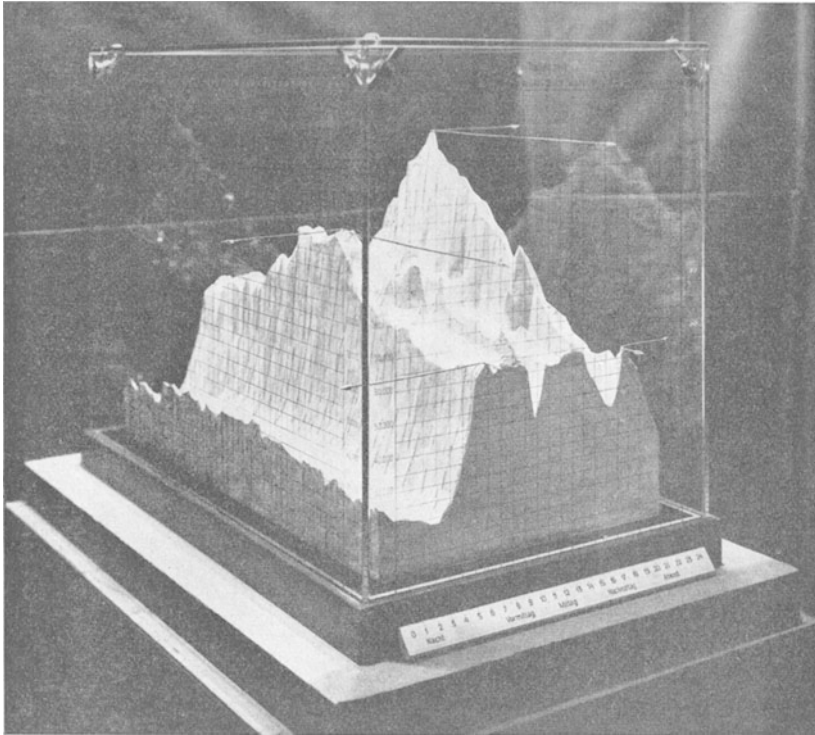


Abb. 16. „Belastungsgebirge“ der Wiener städt. Elektrizitätswerke.

Man erkennt aus den Bildern weiter, daß die hauptsächlichlichen Spitzen, auch bei den gemischten Verhältnissen, wie sie diese Werke mit Licht-, Kraft-, Bahn-Stromlieferung usw. aufweisen, vornehmlich durch den Lichtverbrauch insbesondere in den Abendstunden hervorgerufen sind.

In neuester Zeit werden diese Belastungsbilder (man denke sie sich etwa in dickem Pappdeckel ausgeschnitten) zu statistischen Zwecken aneinandergereiht und es entsteht auf diese Weise das sogenannte Belastungsgebirge, in welchem der Stromverbrauch in jedem Moment des Jahres wiedergegeben erscheint. Ein solches Belastungsgebirge der Wiener städtischen Elektrizitätswerke zeigt Abb. 16. Man sieht dort

die Spitze der Spitzen, welche der Winterhöchstlieferung (Abb. 14) entspricht. Die Abb. 17 stellt das Belastungsgebirge der Berliner Elektrizitätswerke dar und es kann an Hand dieser Bilder festgestellt werden, daß der Stromverbrauch für den Tag und auch für das Jahr einen für Großstädte mit Industrie charakteristischen Verlauf nimmt. Die höchste Spitze bedeutet bei beiden Gebirgen den Abend des 24. Dezember. Der Gebirgsgrat ergibt sich das ganze Jahr über in den Abendstunden. Die Zeit des Geschäftsschlusses zeigt sich als plötzliche Absenkung usw.

Die Beteiligung der drei Dampfkraftwerke („Simmering“, „Engerthstraße“ und „Ebenfurth“) an der Gesamtlieferung ist in den Abb. 12 und 13 zu erkennen. Die anderen dort angeführten Stromlieferungswerke „Opponitz“ und „Gaming“, sowie „Oweag“ sind Wasserkraft-

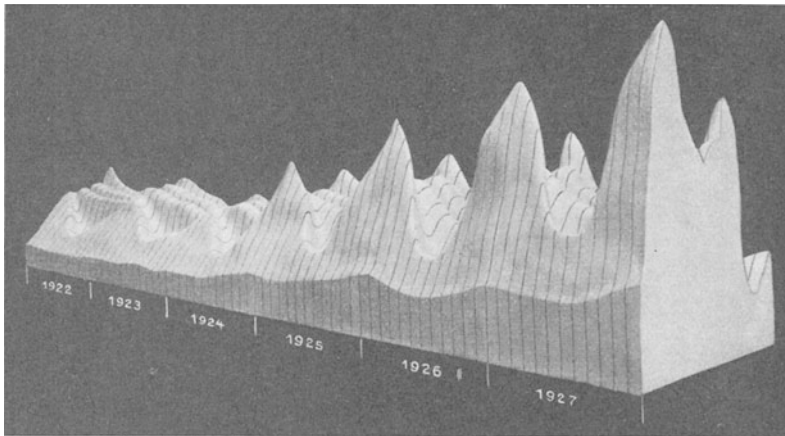


Abb. 17. „Belastungsgebirge“ der Berliner städt. Elektrizitätswerke.

anlagen, von welchen, so weit möglich, die Grundbelastung gedeckt wird. Nach den im vorstehenden erörterten Verhältnissen, wonach der Wasserkraftstrom sich bei höherer Ausnützung in ungleich größerem Maße verbilligt, als es bei Kohlenkraftwerken der Fall ist, ist es nahelegend, in solchen Anlagen, welche teils mit Wasserkraft, teils mit Dampfkraft arbeiten, den Strombedarf zunächst so weit als möglich aus Wasserkraftanlagen zu decken, um diese möglichst voll auszunützen, während den Dampfanlagen die Deckung des restlichen Bedarfes obliegt.

Ähnliche Gesichtspunkte sind auch maßgebend, wenn zwei Wasserkraftanlagen zusammen arbeiten, von denen die eine ein Laufwerk, die andere ein Speicherwerk ist. Hier wird zunächst die gesamte aus dem Laufwerk stammende Energie möglichst voll ausgenützt, während die Spitzen durch das Speicherwerk gedeckt werden, da bei diesem die

Möglichkeit besteht, das Wasser in der Zeit, welche zwischen den Spitzen liegt und weniger oder keinen Strombedarf aufweist, zu speichern, um dann zu Zeiten des Bedarfes über entsprechend größere Energiemengen verfügen zu können. Diese Verhältnisse sind durch Abb. 18, welche ein Winterdiagramm des Bayernwerkes darstellt, veranschaulicht. Der untere Teil wird unter möglichster Ausnützung der gesamten im Laufwerke der mittleren Isar erzeugten Energie von diesem Werke geleistet, während der obere Teil, der die Spitzen enthält, vom Speicherwerk am Walchensee gedeckt wird.

Die unausgenutzten Energiemengen bezeichnet man als Abfallenergie (siehe beispielsweise Abb. 8, wo die mit Abfallenergie bezeichneten Energiemengen in der Regel verfügbar sind und sehr billig abgegeben werden können, wenn der in dem Bilde dargestellte Strombedarf von einem Wasserkraftwerke gedeckt wird). Die Abfallenergiemenge ist um so größer, je schlechter die Ausnützung ist. Die Volkswirtschaft hat sonach, wenn sie billige Abfallenergien in großen Mengen verfügbar haben will, ein Interesse an solchen Verbrauchern, die ihren Anschluß schlecht ausnützen, also große Spitzen

in ihrer Verbrauchskurve aufweisen und einen Strompreis bezahlen können, wie er den hohen Gestehungskosten bei schlechter Ausnützung entspricht. Infolgedessen zeigt sich bei Werken, die Anwärtler auf besonders billige Energie haben, die Notwendigkeit, daß sie zunächst Abnehmer mit geringer Benützungsdauer, d. h. schlechter Ausnützung, die entsprechend hohe Strompreise bezahlen können, finden müssen; erst hierdurch sind sie dann in die Lage versetzt, billige Abfallkraft zu liefern.

Durch den niederen Preis allein ist aber die Verwertungsmöglichkeit der Abfallkraft noch nicht gegeben. Die Industrien, die sie zu verwenden gedenken, müssen einer mit dem Wesen der Abfallenergie untrennbar verbundenen Eigenschaft Rechnung tragen: Abfallenergie ist

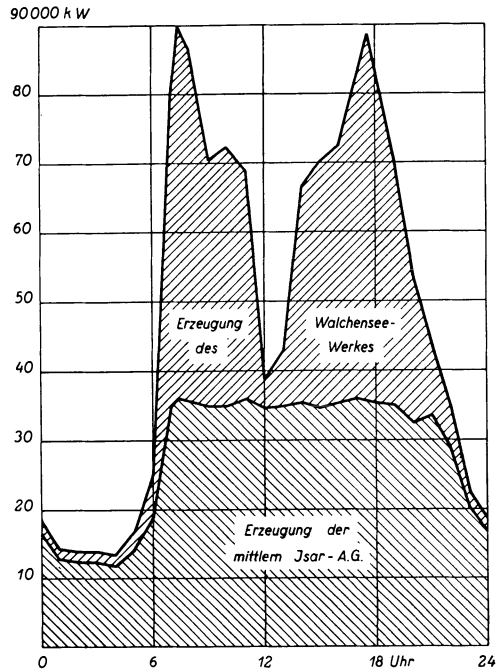


Abb. 18. Winterschaubild des „Bayernwerkes“.

zu verschiedener Zeit in verschiedenen Mengen verfügbar; es muß also die Anlage, in welcher sie verwertet wird, so beschaffen sein, daß sie sich den Schwankungen anpaßt. Daher sind jene Verfahren und Erzeugungsarten zur Abfallenergieverwertung am geeignetsten, die entweder mit kleinen Einheiten arbeiten, die nach Belieben angelassen und abgeschaltet werden können, oder die für größere Einheiten eingerichtet sind, deren Belastung möglichst rasch und oft verringert und wieder vermehrt werden kann, ohne daß der Nutzeffekt des Arbeitsganges oder auch das Erzeugnis durch die Veränderungen in der Strommenge wesentlich leidet. Von den elektrochemischen Verfahren erfüllt beispielsweise die Wasserstoffherstellung auf elektrolytischem Wege diese Bedingungen: sie kann mit beliebig kleinen Strommengen und beliebigen Unterbrechungen erfolgen. Ähnliches gilt, wenn auch nicht in gleichem Maße, von der Luftsalpetererzeugung, deren Öfen verhältnismäßig kleine Strommengen erfordern und ebenfalls beliebig abgestellt und angelassen werden können. Jedenfalls hat aber in dieser Hinsicht die Elektrochemie noch ein großes Feld, da sie im allgemeinen sowohl große Kraftmengen als auch dauernd zur Verfügung stehende Kraftquellen benötigt. Wenn in der weiteren Entwicklung dieser Einrichtungen den hier dargelegten Forderungen nach kleinen Einheiten und der Möglichkeit der Benützung schwankender Strommengen in hohem Maße Rechnung getragen wird, werden sich durch die vermehrte Verwendbarkeit schwankender Abfallenergiemengen die Strompreise und somit die Gestehungskosten der elektrochemisch erzeugten Stoffe wesentlich verbilligen lassen.

Prof. Baur, Zürich, machte bereits vor Jahren den Vorschlag, mit den Abfallkräften zur Sommerzeit Wasserstoff zu erzeugen, große Gasbehälter damit zu füllen und das Gas dann zu Heiz- oder Leuchtzwecken zu verwenden. Er berechnet, daß die ganze Leuchtgasmenge, die die Schweiz braucht, im Sommer aus Abfallkraft als Wasserstoff erzeugt und in 123 Gasometern zu 50000 m³ aufbewahrt werden könnte. Die erforderlichen Anstalten würden erträgliche Dimensionen annehmen, und Baur meint, daß man nach gewissen weiteren Verbesserungen der Herstellungsart noch dazu gelangen wird, auf diese Weise die elektrolytische Wasserzersetzung zur Aufspeicherung der Wärme in größerem Stile zu verwenden und hiermit den Schwankungen in der verfügbaren Kraftmenge zu begegnen.

Neuere Verfahren haben in der elektrolytischen Zersetzung des Wassers weitere Fortschritte gebracht: die Elektrolyse unter Druck nach Noeggerath verringert den Strombedarf und liefert als Endstoff bereits beliebig verdichteten Wasserstoff und Sauerstoff. Es kann daher Abfallkraft in Form von Wasserstoff unter hohem Drucke aufgespeichert werden. Eine Eisenflasche mit derartigem Druckgas stellt

eine beträchtliche Energiemenge dar, die beispielsweise von Wasserstoffmotoren in mechanische Energie umgesetzt und zu beliebigen Zwecken und zu beliebigen Zeiten verwendet werden kann. Selbst der Lokomotivbetrieb mit derartigen Wasserstoffmotoren ist praktisch durchführbar; trotz des toten Gewichtes der verhältnismäßig schweren Druckgasbehälter würde der Arbeitsbereich der auf diese Weise ausgerüsteten Lokomotive der Kohlenlokomotive gegenüber wettbewerbsfähig sein¹⁾.

Die gesamten vorstehenden Ausführungen behandelten die Kosten der kWst beim Austritt des Stromes aus dem Kraftwerke. Die Fortleitung des Stromes bis zur Verbrauchsstelle ist hier zunächst vollkommen vernachlässigt. Diese Kosten sind aber oft belangreich und müssen zur richtigen Beurteilung des Kraftstrompreises, wie er an der Verbrauchsstelle in Frage kommt, berücksichtigt werden. Überdies treten in den Leitungen auch noch Stromverluste auf, die eine weitere Verteuerung des Stromes an der Verbrauchsstelle bedingen.

Die Anlagekosten für die Zuleitungen und Verteilungsnetze hängen von örtlichen Verhältnissen, von der Ausdehnung der Netze und der Art der Verlegung der einzelnen Leitungen, insbesondere aber auch von den Betriebsspannungen ab. Die heute für Leistungsübertragung auf mittlere Entfernungen vielfach in Verwendung stehenden Spannungen von 20000 bis 60000 V erfordern sowohl im Kraftwerk als auch an der Verbrauchsstelle Transformatoren, deren Kosten aber durch die Verbilligung der Leitungen aufgewogen werden. Für größere Entfernungen werden bei Überlandwerken auch noch wesentlich höhere Spannungen verwendet; es finden sich heute schon vielfach Fernleitungen mit 100000 V und darüber. Die höchste Spannung, die für Fernleitungen bisher Verwendung fand, ist 220000 V (Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke; s. Fünfter Abschnitt).

Schon Spannungen von 20000 bis 30000 V, wie sie für die Stromversorgung dicht besiedelter Gebiete angewandt werden, da für diese mittelhohen Spannungen noch Kabel zur Stromleitung benützt werden können, ermöglichen, Energiemengen von 10000 kW in einem Kabel zu übertragen. Die Kosten dieser Kabel können nach Klingenberg (a. a. O.) bis auf Mk. 2,50 je übertragenes kW und je km Entfernung herabgedrückt werden. Die Auswirkung dieser Kosten auf den Preis der kWst kann man ungefähr daraus überblicken, daß bei Speisekabeln, wie sie in einer Großstadt vorkommen, für Kapitalsdienst und sonstige Kosten Mk. 3,— je Jahr und kW gerechnet werden kann. Kommt hauptsächlich Lichtverbrauch in Frage, der nur 500 bis 1000 Benützungstunden aufweist, so ergeben sich die Fortleitungskosten durch die Speisekabel allein, günstigenfalles zu 0,3 bis 0,6 Pf. je kWst und km.

¹⁾ Noeggerath, Dr. Ing. J. E.: Z. V. d. I. 1928, Nr. 11.

Von den durch die Speisekabel gespeisten Transformatorstationen aus, liegen dann die mehr oder weniger verzweigten Niederspannungs-Leitungsnetze, die natürlich ebenfalls in Kabeln verlegt, mit allen ihren Verzweigungen, Kreuzungspunkten und den sonstigen für die Aufrechterhaltung des Betriebes und die Ermöglichung von Abänderungen erforderlichen Einrichtungen Anlagekosten verursachen, die oft wesentlich größer sind als jene der Elektrizitätswerke selbst¹⁾.

Aber nicht nur im Weichbild der Großstadt sind die Übertragungskosten eine nicht zu vernachlässigende, große Post; auch die Kosten der Fernleitungen sind bedeutend.

Für die ausgebauten Wasserkraftanlagen Österreichs gelten z. B. folgende Zahlen:

Zahlentafel 12²⁾.

	1918	1928
Anzahl der Wasserkraftanlagen	303	422
Installierte Leistung in 1000 kW	230	800
Höchstes Jahres-Arbeitsvermögen in Mill. kWst .	1283	2794
Länge der Hochspannungsfernleitungen in km:		
a) insgesamt	2712	10,030
b) je 1000 kW installierte Leitung	11,8	12,5
c) je 1 Mill. kWst des Jahres-Arb.-Vermögens .	2,1	3,6

Zu den Kosten der Einrichtung der Kraftanlage kommen sohin je 1000 kW noch die Kosten von 12,5 km Hochspannungs-Fernleitung mit allen dazugehörigen Umsetzungs- und Schaltungseinrichtungen.

Bei den Fortleitungskosten des elektrischen Stromes sind natürlich auch noch die hierbei auftretenden Netzverluste zu berücksichtigen. In alten Anlagen, insbesondere bei solchen mit Gleichstrom oder mit Wechsel- und Drehstrom verhältnismäßig niedriger Spannung, haben die Netzverluste oft mehr als 20% des erzeugten Stromes betragen. Heute sind sie bei größeren Anlagen, bei denen die Leitungsnetze richtig dimensioniert und solid verlegt sind, bei guter Ausnützung 5 bis 7%, bei mäßiger Ausnützung aber wegen der das ganze Jahr zu deckenden Magnetisierungsverluste in den Transformatoren 9 bis 10%. Liegen die Kraftzentralen von den Versorgungsgebieten weit entfernt, so kommen noch die Verluste der Überlandleitung hinzu, die bei günstigen Verhältnissen 10%, bei entsprechend langen Leitungen aber auch mehr betragen können. Die gesamten Leitungsverluste von Groß-Kraftwerken

¹⁾ Die Kosten der Zentralen der Berliner städtischen Elektrizitätswerke betragen etwa Mk. 400,— je ausgebautes kW, während die Kosten des gesamten Stromnetzes auf das kW bezogen etwa Mk. 600,— Anlagekosten erfordert haben. Die Einrichtungen zur Stromleitung und Stromverteilung sind also um 50% teurer als die Anlagekosten der Einrichtungen zur Stromerzeugung.

²⁾ V. d. I. Nachr. 1928, Nr. 46, S. 2.

können 30% und mehr betragen. In entsprechendem Maße werden dann natürlich die Gesteungskosten an der Verbrauchsstelle verteuert. (Siehe auch Bd. I, S. 250, Abb. 103.)

Die Größe der Verluste in den Leitungen ist auch von der Phasenverschiebung (Leistungsfaktor oder $\cos \varphi$) beeinflusst. Nach Gercke¹⁾ beträgt die Phasenverschiebung von Kraftwerken und Großabnehmern:

Zahlentafel 13.

	cos φ etwa
Metallwarenfabriken und Holzwarenfabriken mit vielen Kleinmotoren je nach Konjunktur und Belastung	0,3 bis 0,5
Textilwerke	0,7 „ 0,8
Hüttenwerke, Zechen, Großfabriken	0,75 „ 0,85
Desgleichen mit großen Drehstrom-Gleichstrom-Umformern u. dgl.	0,8 „ 0,95
Städtische Kraftwerke	0,7 „ 0,85
Überlandwerke	0,6 „ 0,8
Überlandwerke (während der Spitzen) (Lichtbelastung)	0,95 „ 1,0
Bahnkraftwerke mit Drehstrom-Gleichstrom Umformer	1,0
Bahnkraftwerke mit Drehstrom-Einphasenmotoren	0,6

Es erhöhen sich die Leitungsverluste mit der Phasenverschiebung in hohem Maße, und zwar wie folgt:

Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) 1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Leitungsverluste 1	1,25	1,55	2,0	2,7	4,0

Es vermehrt daher beispielsweise eine Phasenverschiebung entsprechend einem $\cos \varphi = 0,7$ die Leitungsverluste um 100%. Wenn also die Leitung ohne Phasenverschiebung einen Verlust von 5% ergäbe, was nur unter sehr günstigen Verhältnissen erzielt wird, entsteht in dieser Leitung bei $\cos \varphi = 0,7$ unter sonst gleichen Verhältnissen ein Verlust von 10%. Auch hieraus ist die schon wiederholt erwähnte Notwendigkeit, die Phasenverschiebung auf ein Mindestmaß zu verringern, begründet (s. diesbezüglich auch Bd. I, S. 242).

Bei Wärmekraftanlagen treten infolge der durch die verschiedenen Verbraucher hervorgerufenen Schwankungen ebenfalls Spitzen und Täler des Verbrauches auf. Die den Tälern entsprechenden Energiemengen sind aber nicht unter allen Umständen als Abfallenergie im vorbeschriebenen Sinne zu bezeichnen, weil hier für jede erzeugte kWst immer noch eine gewisse Menge Brennmaterial aufgewendet werden muß. Allerdings werden, wenn durch Verwendung dieser Energiemengen die Täler und Spitzen verschwinden, die Antriebsmaschinen der Wärmekraftzentralen unter gleichmäßigeren Verhältnissen betrieben, wodurch Wirkungsgrade, die bei stark schwankenden Belastungen nicht unwesentlich verringert werden, auf einer gleichmäßigen Höhe bleiben,

¹⁾ Fragen der deutschen Elektr.-Wirtschaft. Techn. Wirtsch. 20. Jahrg., H. 6.

sowie auch sonst unter günstigeren Verhältnissen gearbeitet werden kann; dies hat wieder eine allgemeine Verringerung des Brennmaterialverbrauches und eine Verbilligung der gesamten Erzeugungskosten zur Folge. Die Verringerung der Gestehungskosten beträgt aber nur wenige Hundertteile und es können bei Wärmekraftanlagen diese Energiemengen nicht ohne weiteres als Abfallenergien bezeichnet werden, da ihnen das besondere Merkmal fehlt, nahezu keinerlei Gestehungskosten zu verursachen. Nur bei solchen Wärmekraftanlagen, die mit ganz niedrigem Kohlenpreise arbeiten, bei denen also die Kohlenkosten je kWst gegenüber den übrigen, insbesondere gegenüber den festen Betriebskosten nahezu verschwinden, ist es gegebenenfalls zulässig, von Abfallenergie im gleichen Sinne wie bei Wasserkraftanlagen zu sprechen.

Nichtsdestoweniger stehen aber, wie später gezeigt werden wird, auf dem Gebiete der Dampf- und Wärmekraftanlagen Abfallenergien in ungeheuren Mengen und fast kostenlos zur Verfügung. Ebenso bestehen hier viele Möglichkeiten, diese Abfallenergie zu verwerten. Hierbei fällt noch besonders ins Gewicht, daß die Bedeutung der aus Kohle, Öl, Gas oder überhaupt durch Umsetzung von Wärme in Arbeit erzeugten Energie für einen Großteil der Wirtschaft, zumindest für die gesamte wärmeverbrauchende Industrie, weitaus größer ist, als es bei den durch Wasserkraft zu gewinnenden Energiemengen je der Fall sein wird; die Lösung aller in dieses Gebiet fallenden Probleme der Verwertung der Abfallkraft und Abfallwärme in der Dampf- und Wärmetechnik bietet, wie aus dem folgenden noch deutlich hervorgehen wird, weitaus größere Möglichkeiten zur Verringerung des Kohlenbedarfes in der Industrie, als es die Wasserkräfte vermögen.

Dritter Abschnitt.

Kraft- und Wärmewirtschaft in einzelnen Industrien.

Wenn im folgenden die Kraft- und Wärmewirtschaft in den einzelnen Industrien besprochen wird und dieser Abschnitt nach einzelnen Industriezweigen unterteilt ist, soll damit keineswegs gesagt sein, daß nur der jeweilige Abschnitt für die Kraft- und Wärmewirtschaft des betreffenden Industriezweiges maßgebend ist; zwar sind in diesen die für die einzelnen Industriezweige bezeichnenden energiewirtschaftlichen Verhältnisse dargestellt, es wird aber jeder, der die Verhältnisse eines Industriezweiges kennenlernen will, in den Darlegungen, die sich auf die anderen Industriezweige beziehen, auch vieles finden, was für ihn wissenswert ist.

In dieser Hinsicht wird auch im Fabrikbetrieb selbst der Wert der Kenntnis der Verhältnisse in anderen Industriezweigen unterschätzt. Der Fabrikleiter holt sich seine Hilfskräfte und insbesondere auch die technischen Organe zur Leitung und Überwachung der Energiewirtschaft mit Vorliebe aus Betrieben gleicher Art. Dies hat gewiß den Vorteil, daß sie mit den Eigenheiten des betreffenden Industriezweiges vertraut sind. Hiermit ist aber auch der Nachteil einer gewissen Inzucht verbunden; denn vieles, was für die Energiewirtschaft einzelner Industriezweige mit Rücksicht auf die Eigenheiten der Herstellungsart von Wichtigkeit ist, kann, entsprechend angepaßt und verarbeitet, eine vorteilhafte Verwertung in andersgearteten Betrieben finden. So z. B. können Erfahrungen aus der Papier- und Zelluloseindustrie mit ihren Koch- und Trockenvorgängen für die Veredelung in der Textilindustrie Vorteile bringen und umgekehrt. Aus der Energiewirtschaft in der Brauindustrie können wertvolle Schlußfolgerungen für den Betrieb von Wäschereien und Molkereien gezogen werden, u. a. m. Man kann immer die Erfahrung machen, daß ein Fachmann, der einen Rundgang durch irgendeinen Betrieb macht, darin Verschiedenes sieht und lernt, was er für seinen eigenen Betrieb, mag er dem Besichtigten noch so wesensfremd sein, sehr gut brauchen kann.

Von diesem Gesichtspunkte aus kann der Leser dieses Buches in den Ausführungen über die ihm fremden Industriezweige ebensoviel Lehrreiches finden, wie in den Darstellungen, die sich auf sein engeres Fachgebiet beziehen.

Über die meisten Industrien gibt es natürlich verschiedene kleinere und größere Lehrbücher und Nachschlagewerke, in denen die technologischen und erzeugungstechnischen Fragen eingehend behandelt sind. Alles, was sich auf die Kraft- und Wärmewirtschaft bezieht, ist aber dort in der Regel mehr oder weniger als Nebensächlichlichkeit behandelt. Insbesondere fehlt bei Besprechung der energiewirtschaftlichen Fragen die Einheitlichkeit in der Begriffsbestimmung.

Man findet den Kraftverbrauch in der verschiedensten Art, wie es sich eben in dem betreffenden Industriezweige eingebürgert hat, angegeben, und diese Angaben werden daher von jenen richtig verstanden, welche ständig in diesem Betriebszweig arbeiten, so z. B. spricht man in der Holzschleiferei davon, daß 100 PS 1000 oder 1200 kg lufttrockenen Holzstoff geben, was natürlich erst dann eine Bedeutung hat und nur dann richtig ist, wenn durchgehender 24stündiger Betrieb, wie er eben in der Holzschleiferei üblich ist, vorausgesetzt wird; bei 12stündigem Betrieb gibt die gleiche Kraftmenge natürlich nur die Hälfte. Eindeutig kann der Kraftverbrauch nur dadurch angegeben werden, daß man ihn in PSst oder kWst je Wareinheit angibt. Wenn also 100 PS in einer Schleiferei 1200 kg Holzstoff ergeben und stillschwei-

gend dabei vorausgesetzt ist, daß sich dies auf 24 Stunden bezieht, so heißt dies, daß man zur Erzeugung von 1200 kg Holzstoff $24 \times 100 = 2400$ PSst oder je kg Holzstoff 2 PSst oder, was dasselbe ist, etwa 1,5 kWst benötigt.

Ähnlich unklare Angaben findet man in technologischen Lehrbüchern auch über den Dampfverbrauch; wenn es z. B. heißt, daß je 100 kg Rohstoff oder 100 kg Fertigware eine bestimmte Anzahl m^2 Heizfläche erforderlich sind, so setzt diese Angabe natürlich eine bestimmte Dampferzeugung je m^2 Heizfläche voraus, hängt also von der Kesselart und vielen anderen Eigenheiten des Kessels und der Feuerung ab. Eine derartige Bezeichnung ist vollkommen unklar und konnte sich eben nur dadurch in früherer Zeit einbürgern, daß für bestimmte Industrien auch meist nur bestimmte Kesselbauarten mit ungefähr ähnlicher Verdampfungsziffer je m^2 Heizfläche in Verwendung standen. Richtig und eindeutig kann der Dampfverbrauch eben nur durch kg Dampf, bezogen auf die Einheit der erzeugten Ware oder auf die Einheit der Rohware oder dgl. angegeben werden, wobei aber auch noch wichtig ist anzuführen, welche Spannung der Dampf je nach dem betreffenden Herstellungszweck vorteilhafterweise haben soll.

Bei der nachfolgenden Behandlung der einzelnen Industrien sind diese einheitlichen und vom energiewirtschaftlichen Standpunkt einzig richtigen Bezeichnungen für den Kraft- und Wärmeverbrauch verwendet, wobei aber auch, wo erforderlich, auf die in den betreffenden Industriezweigen üblichen Bezeichnungen ebenfalls eingegangen wird.

Selbstverständlich können nicht alle Industriezweige hier behandelt werden. Für die getroffene Auswahl war zunächst maßgebend, inwiefern die in dieser Industrie übliche Art der Deckung des Kraft- und Wärmebedarfes für die Gesamtheit der Industrie als Beispiel wichtig und für die Lösung energiewirtschaftlicher Aufgaben überhaupt lehrreich ist. Ferner wurde neben der Wichtigkeit der betreffenden Industrie für die Gesamtheit der Wirtschaft naturgemäß auch der Umstand berücksichtigt, welche Bedeutung die Energiewirtschaft für den betreffenden Industriezweig hat.

Die Behandlung der einzelnen Industriezweige in den folgenden Abschnitten erfolgt nicht nach einem bestimmten Schema. Bei einzelnen Industrien wird der technologische und fabrikationstechnische Vorgang, wenn er für die Kraft- und Wärmewirtschaft von Belang ist, eingehender behandelt; bei der Besprechung anderer Industrien wird die Energiewirtschaft herausgeschält, während Herstellungsvorgänge, die weniger Kraft und Wärme brauchen, nur gestreift werden. Dort, wo der gleiche Herstellungsvorgang in verschiedener, mehr oder weniger Kraft verbrauchender Art durchführbar ist, sind diese verschiedenen Arten dargelegt und die energiewirtschaftlichen Verbrauchs-

zahlen zwischen Grenzwerten angegeben, während der Kraft- und Wärmebedarf anderer Industrien wieder an Hand eines, dem ungefähren Durchschnitt entsprechenden Beispiels durchgerechnet ist. Eine einheitliche Schablone ist bei der großen Verschiedenheit der Energiewirtschaft in Industriebetrieben nicht möglich; nichtsdestoweniger wird das für die einzelnen Industrien besonders Kennzeichnende im vierten Abschnitt unter Anführung des Begriffes der energiewirtschaftlichen Kennziffer besprochen.

I. Eisenhüttenwerke.

Die Kraft- und Wärmewirtschaft der Eisenhüttenwerke ist an sich recht vielgestaltig und außerdem je nach Aufbau der Erzeugung in den einzelnen Werken sehr verschieden. Im allgemeinen gliedert sich die heute übliche Eisengewinnung in den Erzröst-, Hochofen-, Stahlwerks- und Walzwerksbetrieb.

Die Erzröstung erfolgt entweder in Schachtföfen durch Mischfeuerung mit Kohle oder Koks oder neuerdings im heißen Gasstrom. Das geröstete Erz wird gemeinsam mit Schlackenzusätzen und Koks in einen Schachtofen von bedeutender Höhe und großem Umfang (Hochofen) gestürzt, wo es durch den glühenden Kohlenstoff des Kokses reduziert und als Roheisen in flüssiger Form unten aus dem Ofen, getrennt von den flüssigen Schlacken, abgelassen wird.

Ein Teil des erzeugten Roheisens gelangt zum Verkauf (z. B. an Gießereien), während die weitere Veredlung der restlichen Roheisenmengen im Stahlwerk durch erneutes Einschmelzen unter Zusatz von Zuschlägen mittels einer Gasflamme, die ebenfalls in Reaktion zu dem Eisenbad tritt, besorgt wird. Der gewonnene Stahl (meist als Flußeisen oder Flußstahl bezeichnet) wird dann im Walzwerk in schwacher Weißglut zu handelsüblichen Formen (Zaggeln, Knüppel, Stäben, Schienen, Trägern, Blechen usw.) ausgewalzt. Qualitätsstähle, welche je nach Art und Zweck ganz genau bestimmte Mengen von Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Molybdän, Chrom, Wolfram, Nickel u. dgl. m. enthalten müssen, bedürfen einer gesonderten Ofenbehandlung. Die Mischung erfolgt in glühend flüssigem Zustande.

Aus dieser knappen Darstellung der Eisengewinnungsvorgänge ist leicht zu ersehen, daß in sämtlichen Arbeitsgängen Wärme mit hohen Temperaturen von weit über 1000° C benötigt wird. Als Wärmeträger wird bis heute zum überwiegenden Teile Kohle oder Koks bzw. daraus hergestelltes Gas, seltener elektrischer Strom verwendet; bei den Hochofenvorgängen ist der Kokszusatz überhaupt nicht ganz zu vermeiden, denn dieser wird hier außer zur Wärmeerzeugung auch noch zu chemischen Reaktionen auf das Erz benötigt. In den Öfen der Stahl- und

Walzwerksbetriebe wird selbst in Gegenden mit billigem Wasserkraftstrom in der Regel mit Kohle die billigste Erzeugung möglich und nur für Güterzeugnisse der Stahlindustrie kommen Elektro-Stahl- und Härteöfen wirtschaftlich in Frage.

Die Eisenhüttenwerke sind Wärmeverbraucher allergrößten Umfanges; so z. B. werden bei einem Hochofenbetrieb mit einer Tagesroheisenerzeugung von 1000 t außer den Erz- und Schlackenzusätzen auch noch 1000 bis 1200 t Normalkoks von 7000 WE/kg täglich vergichtet. Es ist also rund 1 t Koks je 1 t Roheisen erforderlich. In Stahlwerken kann mit 20 bis 25%, in Walzwerken mit 8 bis 12% des durchgesetzten Eisengewichtes als Kohlenverbrauch gerechnet werden, was ebenfalls einen ganz gewaltigen Brennstoffverbrauch dieser Werke bedingt.

Sparsame Wärmewirtschaft ist demnach in den Eisenhüttenwerken von allergrößter Bedeutung; sie ist auch in Erkenntnis ihres Wertes in den neuen Hütten hochentwickelt. Deutschland und Österreich stehen hier mit an erster Stelle.

Der Schwerpunkt der Wärmewirtschaft liegt neben der zweckmäßigsten Erfüllung der hüttentechnischen Anforderungen in der möglichst restlosen und vorteilhaften Ausnützung der großen Abwärmemengen, die in den Ofenabgasen in verschiedener Form enthalten sind.

Bei der Hochofenarbeit entweichen die Abgase (Gichtgase) noch mit 50 bis 70% der im eingesetzten Koks ursprünglich vorhandenen Wärme, die an das Gichtgas nur zu geringem Teil als fühlbare Wärme, in weit größerem Teil aber als innere Wärme in Form von brennbaren Gasen gebunden ist. Der Heizwert des Gichtgases beträgt je nach der Arbeitsweise des Hochofens und je nach Art des vergichteten Erzes 800 bis 1100 WE/m³; je Tonne Normalkoks von 7000 WE/kg fallen 3 bis 4,5 m³ Gichtgas an. Die Verwertung dieser riesigen an das Gichtgas gebundenen Wärmemengen ist ausschlaggebend für den Brennstoffverbrauch des Hüttenwerkes.

Ein Teil des Gichtgases wird in Luftheritzern, den sogenannten „Cowperapparaten“ verbrannt, um hier den Einblasewind des Hochofens auf 600 bis 800°C vorzuwärmen. Diese Winderhitzer bestehen aus mehreren Kammern, die abwechselnd vom verbrennenden Gase aufgeheizt und hierauf wieder vom durchziehenden Einblasewind, der sich dabei erwärmt, abgekühlt werden. Durch genaue Kontrolle der Gasverbrennung, durch zweckmäßige Isolierung und durch Verwendung einer Kammernfüllung aus Steinen mit großen Oberflächen ist es im letzten Jahrzehnt gelungen, den Wirkungsgrad der Winderhitzer von 60% auf 85% hinaufzutreiben. Die Cowperapparate verwerten 20 bis 30% der Gichtgasmenge.

Ein weiterer Teil des Gichtgases wird neuerdings häufig zum Betriebe der Erzrösterei (nach dem Verfahren Apold-Fleißner) ver-

wendet. Der Zeit- und Wärmearaufwand ist hierbei bedeutend geringer als bei Röstung mit Mischfeuerung in Schachtöfen, da die Röstgase einen niedrigeren Teildruck der Kohlensäure aufweisen, wodurch auch mit geringeren Rösttemperaturen und damit geringerem Wärmearaufwand das Auslangen gefunden wird (s. auch S. 205).

Die restliche Gichtgasmenge wird in Hochofenwerken, die sich den Koks in entsprechenden Koksofenanlagen selbst erzeugen, am wirtschaftlichsten zur Beheizung der verschiedenen Öfen des angegliederten Stahl- und Walzwerksbetriebes verwendet. Das Gichtgas wird hierbei mit einem Teil des anfallenden überaus heizkräftigen Koksofengases vermengt, so daß das Mischgas über genügend Heizkraft verfügt und damit eine entsprechend hohe Flammentemperatur liefert. Man verwendet in diesen Fällen Torsionsbrenner, hohe Luft- und Gasvorwärmung, und sorgt durch Druckregler für die Gleichmäßigkeit des Gaszuflusses.

Verfügt hingegen das Hüttenwerk über kein selbsterzeugtes Koksofengas und ist solches auch nicht entsprechend preiswert zu kaufen, so daß das Gichtgas ohne diesen Zusatz, der den Heizwert steigert, verwertet werden muß, dann kommt vor allem die Verwendung zur Krafterzeugung in Gasmaschinen in Frage. Die verfügbare Gichtgasmenge genügt hierbei nicht nur zum Antrieb der Gasgebläsemaschinen, die den Hochofenwind zu liefern haben, sondern es kann aus dem Überschuß in Gasdynamomaschinen eine zusätzliche Strommenge erzeugt werden, die weit über den Bedarf des Hochofenbetriebes selbst hinausgeht und zur Versorgung des angeschlossenen Walzwerkes mitunter sogar auch noch zum Betriebe von Elektrostahlöfen ausreicht. Die Gasdynamomaschinen verbrauchen, je nach dem Heizwert, 3 bis 4 m³ Gichtgas für die abgegebene kWst. Aus den heißen Auspuffgasen der Gasdynamos und Gasgebläse läßt sich in Abhitzekesteln noch Dampf (überschlägig 1 bis 1,2 kg Dampf je kWst) erzeugen. Diese in doppelter Abwärmearausnützung gewonnenen Dampfmenngen werden in der Regel zur Stromerzeugung in Turbinen ausgenützt. Häufig dienen die gemeinsam mit Gas und Kohle beheizten Kessel auch noch zum Betrieb von Ersatz-Dampfgebläsen, die mit Rücksicht auf die große Bedeutung, welche einer störungsfreien Versorgung des Hochofens mit Wind zukommt, bereitstehen müssen. Gasometer von erheblichen Abmessungen sorgen hierbei für den Ausgleich von Anfall und Verbrauch in der Gichtgaswirtschaft.

Bei älteren Hüttenwerken wird ein bedeutender Anteil des Gichtgases nicht in Gasdynamos, sondern zur Dampferzeugung in Kesseln mit Ausnützung des Dampfes in Turbinen zur Stromerzeugung verwendet. Je m³ Gichtgas fallen 1 bis 1,3 kg Dampf an, so daß auf diesem Wege je erzeugte kWst rund 5 bis 8 m³ Gichtgas, also doppelt soviel als bei den Gasdynamos verbraucht werden. Die Gichtgasverwendung

unter Kesseln ist demnach weit unwirtschaftlicher als in Gasdynamos, dahingegen vereinfacht sich die Gaswirtschaft durch den Wegfall der Gasreinigung und durch kleinere Gasometerinhalte.

In Abb. 19 wird der Wärmefluß eines Hochofenwerkes neuerer Ausführung von 1000 t Roheisenerzeugung je Tag wiedergegeben. Dieses Werk bezieht den Koks mit der Bahn von weit her und verfügt daher auch nicht über Kokssofengas, so daß sich als wirtschaftlichste Verwendung des Gichtgases dessen Verfeuerung in den Erzröstanlagen, den Winderhitzern und Gasdynamos ergibt. Es ist aus der Abbildung zu entnehmen, daß von dem im Hochofen vergichteten Koksheizwert etwa 42% im Hochofen verbraucht werden, während rund 10% für die „Cowper“, 5% für die Gasgebläse, 6% für die Erzröstung und 30% für die Stromerzeugung mittels Gasdynamos zur Ausnützung gelangen. Dieses Hochofenwerk

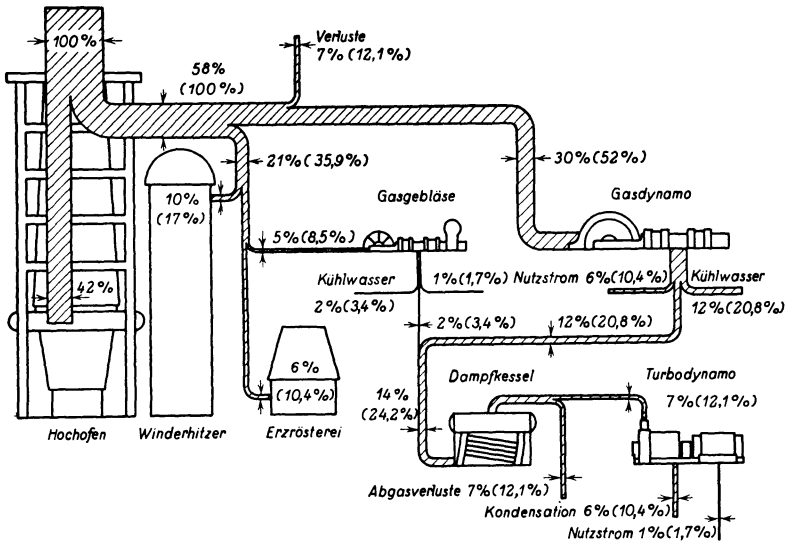


Abb. 19. Wärmefluß eines Hochofenwerkes.

kann mit seinen frei verfügbaren Gichtgasmengen in Gasdynamos eine Durchschnittsleistung von etwa 20000 kW und mit aus Abhitzkesseln gespeisten Dampfturbinen weitere 3000 kW, also insgesamt 23000 kW dauernd erzeugen. Diese Leistung ist so bedeutend, daß nicht nur ein großes daneben befindliches Walzwerk, sondern überdies noch Elektrostahlöfen und andere Teile des Betriebes mit Strom versorgt werden können.

Die aus Abb. 19 ersichtliche Verteilung der Abwärme auf die verschiedenen Betriebe ist natürlich nur als ein Beispiel, das der Praxis entnommen ist, zu betrachten. Die angegebenen Werte in Hundertteilen der verfügbaren Wärmemengen weichen begrifflicherweise in den verschiedenen Hochofenwerken voneinander ab; so z. B. beträgt schon die gesamte in den Abgasen enthaltene Wärme der Hochofen (in dem vorliegenden Beispiel 58%) im allgemeinen 50 bis 70% und es finden sich zwischen diesen Grenzen die verschiedensten Ergebnisse vor¹⁾.

¹⁾ Ähnliche Wärmestrombilder aus dem Eisenhüttenwesen sind von der Wärme-
stelle Düsseldorf im Auftrage des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute im Verlag

Überaus lehrreich ist auf dem vorliegenden Gebiete der Bericht, den der Verein Deutscher Eisenhüttenleute auf der Weltkraftkonferenz in London im Jahre 1928 unter dem Titel „Die Gaswirtschaft auf deutschen Hüttenwerken“ erstattet hat. Dieser Bericht bezieht sich vornehmlich auf Hüttenwerke, die im Gegensatz zu der vorbeschriebenen Anlage den Koks selbst erzeugen und zu diesem Zwecke einen namhaften Teil, etwa 14% der Hochofen-Abgaswärme, in Koksöfen verwenden. Der große wirtschaftliche Vorteil der Kokserzeugung mittels eines Teiles der Gichtgase beruht darin, daß man hierbei hochwertiges Koksofengas erhält, mit welchem man verschiedene Öfen (Siemens-Martin-Öfen, Tieföfen u. dgl.) beheizen kann. Überdies ist das auf diese Weise anfallende, hierbei noch überschüssige Koksofengas auch zur Fernabgabe geeignet.

Beim Hochofenbetrieb fällt außer dem Gichtgas noch die an das abgestochene flüssige Roheisen gebundene Wärme an; sie beträgt 3 bis 4% des Koksheizwertes. Häufig wird diese Wärme für den nachfolgenden Arbeitsgang verwertet, indem das Roheisen in große, mittels Kranen bewegbare Pfannen gegossen wird, die ihren Inhalt in die Stahlwerksöfen entleeren; der Hüttentechniker sagt in diesem Falle, daß er „mit warmem Einsatz“ arbeitet. Der Kohlenverbrauch des Stahlofens (Martinofen) wird hierdurch um etwa 25 %, also um 50 bis 80 kg je t Stahleinsatz herabgedrückt.

Der Koksbedarf läßt sich bei Erzeugung von Roheisen im Elektrohochofen um zwei Drittel verringern, wenn an elektrischem Strom etwa 2,5 kWst je Kilogramm Roheisen aufgewendet werden. Die restliche Koksmenge, also etwa 300 bis 400 kg Koks je Tonne Roheisen, ist für den chemischen Prozeß erforderlich und kann durch elektrischen Strom nicht ersetzt werden; wohl aber gehen die praktischen Erfahrungen dahin, daß statt Koks im Elektroofen zweckmäßiger die gleichwertige Menge Holzkohle verwendet wird, was eine Verbesserung der Güte, aber auch eine Verteuerung nach sich zieht.

Wenn auch die den elektrischen Hochofen betreffenden Fragen als grundsätzlich gelöst bezeichnet werden können, ist der derzeitige Stand noch kein solcher, daß zumindest für die allernächste Zeit die elektrische Roheisenerzeugung bei uns in großem Stil zur Verwirklichung kommen kann; denn die Möglichkeit der elektrischen Erzverarbeitung ist vorläufig nur bei verhältnismäßig reichen Erzen gegeben, wie sie stellen-

Stahleisen m. b. H. 1922 herausgegeben worden. Weitere Angaben hierüber siehe auch Z. V. d. I., Bd. 65, Nr. 8, S. 204. 1921, wo ein Vortrag über die bilanzmäßige Verteilung der Gichtgase als Grundlage der Wärmewirtschaft gemischter Werke auszugsweise wiedergegeben ist.

weise in Schweden vorkommen¹⁾, hat aber auch dort noch nicht die Verbreitung gefunden, wie man sie bei dem Vorhandensein großer Mengen elektrischer Wasserkraftenergie erwarten sollte, was vielleicht in den Anlagekosten begründet ist (etwa 8000 Mk. je t täglicher Roheisenerzeugung). Über all dem steht aber noch als wichtigster Umstand die Frage des zulässigen Strompreises: wenn die je Kilogramm Roheisen aufzuwendende Strommenge von 2,5 kWst 0,7 bis 0,8 kg Koks erspart, so entfällt auch die dem ersparten Koks entsprechende, aus den Gichtgasen gewonnene Kraftmenge von etwa 0,6 kWst, die dann anderweitig gedeckt werden muß; es darf also der Preis für 3,1 kWst nicht höher sein als der Preis von 0,7 kg Koks. Bei einem Kokspreis von Mk. 30,— bis Mk. 40,— je Tonne ergibt dies einen Kilowattstundenpreis von 0,7 bis 0,9 Pf. Hierbei sind Nebenauslagen und insbesondere der Kapitalsdienst für die kostspieligen Einrichtungen außer acht gelassen. Berücksichtigt man, daß bei dem Hochofenbetrieb ein ständiger Strombedarf herrscht, die Herstellung von Elektroroheisen also nicht auf Verwendung von in schwankenden Mengen anfallender Abfallenergie aufgebaut werden kann, so kommt man zu dem Schluß, daß für deutsche und verwandte Verhältnisse an einen Ersatz des Koksverbrauches im Eisenhüttenwesen durch elektrische Energie in einem namhaften Ausmaß wohl kaum zu denken ist.

Im Stahlwerksbetrieb hängt ähnlich wie beim Hochofenwerk die Wärmewirtschaft von der Art des angewendeten Verfahrens ab. Bei dem Thomas- und Bessemer-Verfahren z. B., wo das Roheisen in glühendflüssigem Zustande in die Converter-Birnen eingebracht wird und mittels eingepreßten Windes die Beimengungen des Roheisens verbrennen, ist überhaupt kein Brennstoffzusatz nötig. Beim Siemens-Martin- und beim Talbot-Verfahren wird hingegen das eingebrachte Eisen samt den erforderlichen Beimengungen und Zusätzen, mittels einer Gasflamme eingeschmolzen. Gewöhnlich wird hierzu aus Kohle erzeugtes Generatorgas oder, wie bereits erwähnt, mit Koksofengas angereichertes Gichtgas verwendet.

Der Wirkungsgrad der Gaserzeugung in Generatoren kann über 90% betragen, insbesondere dann, wenn statt eingebblasenem Dampf, Warmwasserbefeuchtung des Einblasewindes nach dem sogenannten O.D.-Verfahren (Patent Morawski)²⁾ zur Anwendung kommt. Die in den Siemensöfen über dem Eisenbade benötigten Flammentempera-

¹⁾ Der Durchschnitts-Eisengehalt der schwedischen Erze beträgt 61,5% gegenüber etwa 58% der amerikanischen, 33 bis 38% der lothringischen, 30% der großbritannischen Erze (V. d. I. Nachr. 13. November 1929); die österreichischen Erze haben 32% (steirische) bis 45% (kärntnerische).

²⁾ Siehe hierüber Backhaus: Beiträge zur Kohlenvergasung im Generator. Arch. Wärmewirtsch. 1928, H. 12 und Morawski: Gas Wasserfach 1929, H. 7.

turen betragen 1500°C und mehr, so daß die Abgase noch sehr heiß sind. Ein Teil (etwa 30 bis 40%) dieser Abgaswärme wird in den Siemensöfen bekanntlich zur hohen Vorwärmung von Frischluft und Gas mittels Regeneratorkammern verwendet; trotzdem verlassen die Abgase diese häufig noch mit 700 bis 900°C , entsprechend einem Verluste von etwa 30% bis 35% der dem Gasgenerator zugeführten Kohlenwärme. Hiervon können etwa 20% in Abhitzekesteln zur Dampferzeugung ausgenützt werden. Da je Tonne Stahlausbringungen beim gut geführten Siemens-Martin-Verfahren und kaltem Einsatze etwa 200 bis 250 kg Kohle von 7000 WE/kg benötigt werden, können durch die Abhitzekestel etwa 250 bis 350 kg Dampf je Tonne Stahl gewonnen werden. Falls die Generatoren ihren Einblasewind mit dem Warmwasserverfahren Morawski anwärmen und anfeuchten, kann die sonst hierfür benötigte Dampfmenge ausschließlich für Krafterzeugung Verwendung finden. Bei neueren Martinöfen findet man jedoch meist weit geringere Abgastemperaturen von nur etwa 400°C , da in besonders durchgebildeten Regeneratorkammern eine sehr hohe Gas- und Luftvorwärmung erzielt wird; in diesem Falle können dann Abhitzekestel entbehrt werden.

In den letzten Jahrzehnten hat bekanntlich die Anwendung des elektrischen Ofens im Stahlwerksbetrieb sehr zugenommen. Seine Vorteile bestehen in der Erzielung sehr hoher Temperaturen, in einer genauen Temperaturregelung und in der chemischen Indifferenz der über dem Bade liegenden Gase. Hierdurch wird die vollkommen zuverlässige Beherrschung des Schmelzvorganges erreicht, was bei Stählen schwieriger Zusammensetzung für deren gleichbleibende stoffliche Eigenschaften von größter Bedeutung ist.

Der Wärmebedarf des Elektrostahlrofens ist je Tonne Einsatz bedeutend geringer als beim gasbeheizten Regeneratorofen. Mittlere Öfen von 3 t Einsatz benötigen 700 kWst an elektrischem Strom, entsprechend einem Wärmewert von rund 600 000 WE, während der Regeneratorofen hierfür etwa 1 200 000 bis 1 500 000 WE verbraucht. In Gegenden mit billigem Wasserkraftstrom werden daher heutzutage vielfach auch einfachere Stähle statt im Regeneratorofen im Elektroofen erzeugt.

Der Walzwerksbetrieb unterscheidet sich von den vorbeschriebenen hüttenmännischen Arbeitsgängen hinsichtlich der Energiewirtschaft hauptsächlich dadurch, daß beim Hochofen und beim Stahlwerksvorgang große Wärmemengen bei hohen Temperaturen für die Durchführung der Schmelzarbeit, aber verhältnismäßig geringe Kraftmengen benötigt werden, während die Walzwerke nicht nur Wärme-, sondern auch Kraftverbraucher größten Umfanges sind.

Die Ofenwirtschaft gliedert sich im Walzwerk in zwei Teile. Der erste umfaßt das Anwärmen der Blöcke auf die Walztemperatur von

900° bis 1250° C, wofür in guten Öfen 80 bis 120 kg Kohle von 7000 WE je t Walzgut verbraucht werden. Der zweite Teil betrifft den Wärmebedarf für das mehrfache Aufwärmen, das beim Auswalzen zur Fertigware nötig wird, und je nach Art der Fertigware verschieden viel Kohle verbraucht.

Der Kraftbedarf wird um so geringer, je heißer das Gut der Strecke zukommt, da z. B. bei 100° Erhöhung in der Walztemperatur der Kraftbedarf bis 50% zurückgehen kann. Aus der Abhängigkeit des Kraftbedarfes von der Temperatur der Blöcke geht hervor, daß der Ofengang nicht nur für die Leistung und Wirtschaftlichkeit des Ofens selbst, sondern auch für den Kraftmaschinenbetrieb von Bedeutung ist. Der Ofen ist daher im Walzwerksbetrieb dasjenige Glied, dem in bezug auf Wärmewirtschaft in erster Linie Augenmerk zuzuwenden ist.

Die hauptsächlichsten im Walzwerk verwendeten Ofenarten sind der Herdofen, dessen Verwendung mit unmittelbarer Halbgas- oder Gasfeuerung eher im Abnehmen begriffen ist, und der Stoßofen, bei welchem sich der Einsatz im Gegenstrom zu den Heizgasen bewegt und von diesen vorgewärmt wird. Sowohl Herdöfen als auch Stoßöfen, namentlich die letztgenannten, werden auch mit Gas- und Luftvorwärmung durch Regeneration, häufiger durch Rekuperation, versehen. Die Wärmeverteilung in den Öfen ist je nach der Ausführung verschieden.

Für Stoßöfen gelten Betriebszahlen laut Zahlentafel 14:

Zahlentafel 14¹⁾.

	Kohlen- verbrauch in % des Ausbringens	Wärme- verbrauch je 1000 kg Aus- bringen, in Millionen WE	Abbrand in %	Stündliche Erzeugung in t
a) Halbgasofen mit Re- kuperator:				
kalter Einsatz . .	12—14	0,84—1,0	3—4	5—15
warmer Einsatz . .	6—7	0,42—0,49	2—3	
b) Gasofen:				
kalter Einsatz . .	7—12	0,45—0,85	2,5—4	10—30
warmer Einsatz . .	3—6	0,21—0,40	1—2	

Für die vom Stahlwerk kommenden schweren Blöcke (Ingots) wird eine besondere Ofenausführung, der Tiefofen, verwendet, dessen Bauart hauptsächlich den Bedienungsanforderungen bei schweren Blöcken Rechnung trägt. Das Anwendungsgebiet des Tiefofens liegt im all-

¹⁾ Siehe Tafel: Wärme und Wärmewirtschaft der Kraft- und Feuerungsanlagen in der Industrie. München-Berlin: Oldenbourg 1924.

gemeinen bei Blockgewichten über 1500 kg. Unter besonderen Voraussetzungen sind anstatt der Tieföfen auch „ungeheizte Ausgleichsgruben“ in Verwendung. Nach Meyer (Tafel, a. a. O.) gelten für Tieföfen Wärmeverbrauchs- und Abbrandzahlen der Zahlentafel 15.

Zahlentafel 15.

	WE je Tonne Ausbringen	Abbrand %
Unmittelbare Feuerung	200 000	1½—2
Halbgasfeuerung	130 000	1¼—1¾
Gasfeuerung mit Generatorgas	80—100 000	} 1—1½
Gasfeuerung mit Gicht- oder Koksgas . .	55— 75 000	

Für kalten Einsatz erhöht sich der Wärmeverbrauch um etwa 200 %. Je nach Abgastemperatur und Beständigkeit des Betriebes werden die Walzwerksöfen, insbesondere solche ohne Vorwärmung, mit Abhitze-kesseln versehen.

Zum Antrieb der Walzenstraße finden verschiedene Arten von Kraftmaschinen Verwendung. Wasserkraftmaschinen wären zwar gut geeignet, kommen aber in Mitteleuropa als Walzenzugmaschinen trotzdem selten vor. Die Anwendung des Dieselmotors ist in erster Linie eine Frage des Ölpreises. Der Gasmotor hat als unmittelbarer Antrieb infolge seiner Empfindlichkeit gegen Belastungsschwankungen nicht befriedigt. Sehr wichtig ist dagegen der elektrische Antrieb mit Stromerzeugung durch Gasmaschinen. Diese bei gemischten Hüttenwerken der Jetztzeit meist angestrebte Antriebsart ist primär für nicht rücklaufende Walzenstraßen geeignet, welche mit Schwungrad arbeiten. Für schwungradlose Straßen sind entweder sehr große Walzenzugmotoren erforderlich, oder man bedient sich des sogenannten „Ilgneraggregates“ zum Kraftausgleich. Die Dampfmaschine verbindet Anpassungsfähigkeit mit Betriebssicherheit und größter Anspruchslosigkeit in bezug auf Wartung. Nichtsdestoweniger dürfte sie bei gleichmäßig belasteten Walzenstraßen mit Schwungradbetrieb dem Elektroantrieb weichen müssen, während sie bei Strecken mit starken Belastungsschwankungen, namentlich bei rücklaufenden, nach wie vor in erster Linie in Betracht kommt.

Bei einem gemischten Hüttenwerk, welches Hochofen-, Stahlwerk und Walzwerk umfaßt, wird der große Kraftbedarf des letzteren von den großen Energiemengen gedeckt, die von den mit Hochofengichtgas betriebenen Gasdynamos geliefert werden. Ein derartiges Werk kann im Rahmen des eigenen Kraft- und Wärmehaushaltes eine nahezu vorbildliche Verbundwirtschaft treiben. Vor allem ist diesem Umstande die weitgehende Verbreitung der elektrischen Walzenstraßenantriebe zuzuschreiben.

II. Lederindustrie und Gerbstoffherzeugung¹⁾.

Die Lederherstellung ist aus kleingewerblichen Anfängen hervorgegangen, stellt aber heute nach der Art und Größe der Betriebe (mehr als 60% der Lederherzeugung Deutschlands erfolgt in Fabriken mit mehr als 100 Arbeitern) einen wichtigen Industriezweig dar. In Deutschland wurden im Jahre 1927 rund 310 Millionen kg Häute und Felle im Werte von 550 bis 600 Millionen Reichsmark verarbeitet. Davon werden 81%²⁾ in lohgegerbtes Leder verwandelt, woraus allein schon die große Bedeutung der Lederindustrie und Lohgerberei hervorgeht.

Mit der Entwicklung der Herstellungstechnik hat die Wärmewirtschaft in der Lederindustrie eine immer größere Bedeutung gewonnen. Sie ist von zwei Gesichtspunkten aus zu betrachten: einerseits vom Standpunkte des Wärmebedarfes, welcher in der Lederindustrie vorwiegend durch Dampf gedeckt wird; andererseits vom Standpunkte der Wärmeerzeugung, für welche die Lohgerberei Abfallstoffe zur Verfügung stellt, deren Verheizung für die Lederindustrie bezeichnend ist.

Es gibt wenige Industriezweige, bei denen die Betriebsverhältnisse in den einzelnen Fabriken eine so große Verschiedenheit zeigen, wie in der Lederindustrie und Gerberei. Man findet alle möglichen Verfahren, von den einfachsten angefangen, bei denen die Gerbrinde von Eichen oder Fichten in zerkleinertem Zustande, mehr oder weniger trocken, einfach zwischen die Häute gelegt wird, bis zu den technisch am meisten ausgebildeten, wo durch sorgfältiges Auslaugen der Gerbrinde eine Brühe gewonnen wird, die dann zu einem möglichst dicken Absud in Mehrkörperverdampfern eingedampft wird. Ebenso wie bei der Behandlung der Gerbrinde, bestehen auch in den sonstigen Herstellungsverfahren große Verschiedenheiten, sowie denn auch die Rohstoffe je nach der Bezugsquelle, der Bezugszeit u. dgl. m. ganz verschiedenartig sind.

Im folgenden wird, um die gesamten Kraft- und Wärmebedarfsrechnungen verfolgen und die Art der Durchführung derartiger Rechnungen vor Augen führen zu können, eine Lederfabrik mit einer Verarbeitung von 500 Häuten je Tag, also eine Fabrikanlage mittlerer Größe, als Beispiel angeführt.

¹⁾ Über die „Wärmewirtschaft in der Lederindustrie“ ist im Jahre 1920 eine lehrreiche Studie von dem inzwischen verstorbenen Ziv.-Ing. Tejessy, Wien erschienen (im Selbstverlage des Verfassers). Viele darin enthaltenen technologischen und fabrikationstechnische Konstanten der Lederindustrie und sonstige Angaben finden sich entsprechend erweitert und vervollständigt in einer von der Hauptstelle für Wärmewirtschaft im Jahre 1921 (Verlag Deutscher Ingenieure, Berlin) herausgegebenen Schrift gleichen Namens.

²⁾ Z. V. d. I. 2. I. 1929, S. 11.

Der Wärmebedarf einer mit Gerbstoffherstellung ausgestatteten Lederfabrik läßt sich in folgende fünf Hauptverbrauchsstellen gliedern:

- a) die Auslaugung,
- b) die Eindickung,
- c) die Wassererwärmung,
- d) die Gerbfässer und
- e) die Trocknung.

a) Die Auslaugung der Rinde erfolgt in Bottichen von entsprechender Größe, welche nebeneinander aufgestellt und mit zerkleinerter Rinde gefüllt sind. Das Frischwasser fließt dem schon am meisten ausgelaugten Bottich zu und wird dann von einem Gefäß in das nächste gepumpt, in welchem es immer weniger ausgelaugte Rinde vorfindet und sich auf diese Weise immer mehr mit Gerbstoff anreichert. Im letzten Gefäß kommt die bereits stark angereicherte Flüssigkeit mit ganz frischer Rinde in Berührung und wird dann als Brühe abgelassen.

Insgesamt werden auf 100 kg Rinde 450 bis 600 kg Wasser in die Auslaugbottiche gebracht, wovon ein Teil in der ausgelaugten Rinde (Lohe) zurückbleibt, während der andere Teil als Brühe mit 1,5 bis 4% Gerbstoffgehalt die Bottiche verläßt. Wenn beispielsweise 560 kg Wasser zum Auslaugen je 100 kg Rinde verwendet werden, so erhält man etwa 400 kg 2proz. Brühe, während 160 kg in der Lohe zurückbleiben.

Die Rinde enthält etwa 70% Trockenstoff, etwa 15% Wasser und etwa 15% Gerbstoff oder andere lösliche Bestandteile; je 100 kg Rinde verbleiben also 230 kg nasse Lohe mit 160 kg, das sind etwa 70% Wassergehalt.

Die Auslaugung erfolgt bei einer Temperatur von 90 bis 95°. Es ist notwendig, die zugeführte Wassermenge, die, wie noch im folgenden dargestellt werden wird, mit einer Temperatur von etwa 30° für die Auslaugung zur Verfügung steht, sowie die Gerbrinde selbst auf die Auslaugungstemperatur zu erwärmen. Hierzu sind rund 36000 WE erforderlich, wozu noch etwa 15% für Verluste treten, so daß insgesamt die Auslaugung für 100 kg Gerbrinde 42000 WE oder (mit 550 WE je kg Dampf gerechnet) rund 75 kg Dampf erfordert.

b) Die Brühe, die nach der Auslaugung einen Gerbstoffgehalt von 2% hat, muß ganz oder teilweise auf einen wesentlich größeren Gerbstoffgehalt eingedickt werden. Der Teil, der zum Eindicken gelangt, sowie der Grad der Eindickung hängt von verschiedenen Verhältnissen ab. Fabriken, die Gerbstoff erzeugen und verschicken, dicken auf einen sehr hohen Eindickgrad ein, während Lederfabriken, die den Gerbstoff für sich selbst erzeugen, nur einen Teil der Brühe auf etwa 15% eindicken. Für das vorliegende Beispiel soll angenommen werden, daß die Hälfte der entstandenen Brühe auf 15% eingedampft, die restliche

Brühe unverändert mit 2% Gerbstoffgehalt verwendet wird. Um 200 kg 2proz. Brühe auf 15% einzudicken, sind 174 kg Wasser aus der Brühe zu verdampfen¹⁾. Wenn diese Verdampfung in einem einfachen Verdampfer erfolgt, sind hierzu 180 bis 200 kg Dampf erforderlich. Gewöhnlich werden jedoch Mehrfachverdampfer verwendet, was schon mit Rücksicht darauf, daß zur Schonung der Gerbstoffe möglichst niedere Dampftemperaturen verwendet werden sollen, von Wichtigkeit ist. Es wird meist mit Zwei- oder Dreikörper-Vakuum-Verdampfern gearbeitet, bei denen der Dampfverbrauch rund die Hälfte bzw. ein Drittel der vorstehenden Dampfmenge beträgt. Zur Erzielung des Vakuums ist kaltes Einspritzwasser hinter dem letzten Körper erforderlich. Rechnet man mit einem Bedarf von 30 kg Einspritzwasser je kg Vakuum-Dampf, so würden beim Dreikörper-Verdampfer rund 1800 kg Einspritzwasser benötigt werden, die sich durch die Kondensation von 60 kg Dampf um rund 20° erwärmen.

Hierdurch kann, wie erwähnt, der Bedarf an angewärmtem Frischwasser für die Auslaugung gewonnen werden und es bleibt noch reichlich Warmwasser übrig.

Der Dampfbedarf zur Verarbeitung von 100 kg Rinde beträgt demnach:

a) zum Auslaugen	75 kg
b) zum Eindicken in einen Dreikörper-Verdampfer	<u>60 kg</u>
	135 kg

Dabei werden noch etwa 1800 kg Warmwasser gewonnen.

Das Grüngewicht der Haut kann mit 40 kg angenommen werden. Das Gewicht des daraus gewonnenen Leders ist je nach der Qualität der Haut und nach der Arbeitsweise verschieden und beträgt durchschnittlich bei einer Ausbeute von 50% etwa 20 kg. Eine derartige Haut braucht zur Verarbeitung 8 kg Gerbstoff, also ungefähr die Menge, die aus 100 kg Rinde gewonnen wird. Je 100 kg Haut werden 250 kg Rinde oder je 100 kg Leder 500 kg Rinde benötigt werden.

Eine Fabrik, die 500 Häute dieser Art verarbeitet, hat eine Ledererzeugung von etwa 10000 kg täglich und benötigt hierzu 50 t Rinde, zu deren Auslaugung und teilweisen Eindickung rund 68000 kg Dampf täglich gebraucht werden. Hierbei werden etwa 100000 kg Gerbbrühe mit 2% und etwa 13000 kg Gerbauszug mit 15% Gerbstoffgehalt je Tag gewonnen. Heute wird in den meisten Lederfabriken nur ein Teil

¹⁾ In 200 Teilen 2proz. Brühe sind 4 Teile Gerbstoff enthalten; aus $4 = 0,15 \cdot x$ berechnet sich die Brühenmenge x nach erfolgter Eindickung zu rund 26 kg, so daß $200 - 26 = 174$ kg Wasser aus der ursprünglichen Brühenmenge herauszudampfen sind. (Der Eindickungsgrad bzw. Gerbstoffgehalt der Brühen wird meist in Grad Beaumé angegeben, z. B. 3—5° Bé, er ist hier zur Veranschaulichung des Rechnungsganges in Prozent angesetzt.)

des Gerbstoffs im eigenen Betrieb erzeugt, der andere Teil wird bezogen (z. B. Gerbstoff aus argentinischem Quebrachoholz). In der hier beispielsweise behandelten Idealfabrik, wo der ganze benötigte Gerbstoff selbst hergestellt wird, ist natürlich auch der Anfall an Lohe entsprechend groß. Fabriken, welche viel Gerbstoff von auswärts beziehen, haben somit einen verhältnismäßig größeren Kohlenverbrauch.

c) Der Warmwasserbedarf einer Lederfabrik ist verhältnismäßig groß und die Temperaturen, mit denen das Warmwasser gebraucht wird, sind verschieden. In größerer Menge wird Wasser von 17 bis 20° und von 30° gebraucht, auch für Wasser von 40 bis 50° ist einiger Bedarf vorhanden. Es wurde bereits erwähnt, daß 1800 kg Warmwasser von der Eindampfanlage verfügbar sind, wenn mit Dreikörper-Verdampfern gearbeitet wird. (Diese Warmwassermenge ist beim Arbeiten mit Zweikörper-Verdampfern noch größer.) Auf 500 Häute Tagesverarbeitung bezogen, wären also etwa 900 000 l Warmwasser von der Eindampfanlage verfügbar. Diese Wassermenge würde für den Bedarf einer derartigen Fabrik vollkommen ausreichen, wenn sie eben immer in jenem Zeitpunkte vorhanden wäre, wo sie gerade gebraucht wird. Nun arbeitet aber die Verdampfanlage in 24stündigem Betrieb, während der hauptsächlichste Warmwasserbedarf der Lederfabrik während der 8stündigen Arbeitsschicht eintritt. Da das Speichern von derartig großen Warmwassermengen nur in den seltensten Fällen möglich ist, fließt ein großer Teil des Kondensationswassers der Eindampfanlage in der Regel fort und es muß während der 8stündigen Betriebszeit noch eine zusätzliche Menge von Warmwasser erzeugt werden. Da der Gesamtbedarf einer Fabrik, die 500 Häute verarbeitet, mit etwa 600 000 kg während der 8 Arbeitsstunden angenommen werden kann, während dieser Zeit aus der Verdampferanlage jedoch nur 300 000 kg gewonnen werden, müssen noch 300 000 kg Warmwasser von durchschnittlich etwa 30° erzeugt werden, zu welchem Zwecke bei Annahme einer Ausgangstemperatur von 10° 600 000 WE, also einschließlich der dabei auftretenden Verluste rund 12 000 kg Dampf während der Tagschicht erforderlich sind.

d) Der Dampfverbrauch zum Warmhalten der Brühen in den Umlauf-Gerbfässern, der Dampfverbrauch der Schmierfässer u. dgl. ist im Verhältnis zu den anderen Mengen nicht groß. Er erstreckt sich gleichmäßig auf die 24 Stunden des Tages und kann mit etwa 250 kg je Stunde, also 6000 kg je Tag für eine Fabrik mit 10 000 kg täglicher Erzeugung angenommen werden. In neuerer Zeit wird aber vielfach hier auch kalt gearbeitet, wodurch der Dampfverbrauch auf ein Mindestmaß verringert wird. Die sogenannte Schwergerbfaßbehandlung des Leders wird in vielen Gerbereien als wohlbehütetes Fabrikgeheimnis betrachtet.

e) Der Dampfverbrauch für das Trocknen des Leders fällt demgegenüber viel mehr ins Gewicht. Wie schon vorn (s. S. 17) erwähnt, sind auch in der Ledertrocknerei die technologischen Verhältnisse weitgehend zu berücksichtigen. Zu wenig getrocknetes Leder neigt zur Schimmelbildung, Übertrocknung bringt, weil das Leder nach Gewicht gehandelt wird, Verluste mit sich; überdies erheischt das Trocknen, wenn es nicht genügend schnell vor sich geht, überaus große Trockenräume und es müssen auch im übrigen möglichst billige Betriebsverhältnisse für die Trocknung geschaffen werden. Zu heiße Luft darf nicht verwendet werden, weil sonst die oberflächlichen Lederschichten zu stark trocknen und die Feuchtigkeit aus dem Innern der Haut nicht entweichen kann; außerdem wird das Leder brüchig, was sich erst bei der weiteren Verarbeitung zeigt, besonders wenn es sich um dünne Ledersorten handelt. Bei diesen geht die ganze Geschmeidigkeit dadurch verloren. Auch die Farbe des Leders kann bei zu hoher Temperatur der Trockenluft leiden, andererseits ist die Trocknung um so wirtschaftlicher, mit je höherer Temperatur sie vor sich gehen kann. Für die hier meist in Betracht kommenden Temperaturen von etwa 45° (Rind- und Roßleder) bis 60° (Chromleder) und unter der Annahme, daß die Trockenluft etwa $\frac{3}{4}$ gesättigt die Trockenstuben verläßt, kann bei guten Trockenkammern mit einem Bedarf von etwa 150 kg Dampf im Sommer (bei 20 bis 30° Außentemperatur) und 250 kg Dampf im Winter (— 5 bis — 10° Außentemperatur), im Jahresmittel also mit 200 kg Dampf, zum Verdampfen von 100 kg Wasser aus dem Leder gerechnet werden. Da aus einer nassen Haut 20 bis 30 kg Wasser im Trockenraum auszudampfen sind, beträgt der Trocken-Dampfbedarf für eine Haut im Mittel 50 kg, so daß für die Tagesverarbeitung von 500 Häuten im Tag 25000 kg Dampf zu rechnen sind. Im Winter ist diese Ziffer höher, im Sommer naturgemäß niedriger. In manchen Gegenden und für einzelne sehr empfindliche Ledersorten (die Trockenluft für Schaf- und Ziegenleder z. B. soll 35, manchmal sogar 25° nicht überschreiten), erfolgt die Trocknung im Sommer überhaupt ohne künstliche Lufterwärmung. Andererseits erfordert die Trocknung bei niedrigerer Trockentemperatur im Winter um so größere Dampfmen gen.

Der Fabrikationsdampfbedarf beträgt also in diesem Beispiel für 500 Häute Tagesverarbeitung:

für Auslaugung und teilweise Eindickung . . .	68000 kg
für Wassererwärmung	12000 kg
für die Gerbfässer, Schmierfässer usw.	6000 kg
für die Trocknung	25000 kg
	<hr/>
	111000 kg

Zu diesen Dampfmen gen kommt noch der Bedarf für Raumheizung im Winter, der je nach Art, Lage, Größe der Räume 10000 bis 20000 kg

Dampf je Tag beanspruchen kann. Diese und etwa auftretende, noch nicht berücksichtigte Verluste (etwa 15%) erhöhen den Tagesdampfbedarf auf etwa 140000 kg im Jahresdurchschnitt, und zwar kann mit etwa 130000 kg im Sommer, 150000 kg im Winter gerechnet werden. Während der 24 Stunden des Tages treten in einem Betrieb der hier angenommenen Art besondere Schwankungen im Stundendurchschnitt nicht auf; die Auslaugung, Eindickung und der Gerbfässerbetrieb ist durchgehend 24stündig. Die Wassererwärmung hat während der Tagesschicht, die Trocknung während der Nachtschicht ihren Hauptdampfbedarf. Der Stundendurchschnitt beträgt demnach etwa 5400 kg Dampf im Sommer und etwa 6200 kg im Winter, im Jahresdurchschnitt 5800 kg/st. Hiermit ist aber keineswegs gesagt, daß die Dampfverbrauchskurve als gerade Linie zu betrachten ist; es gibt vielmehr kurzzeitige Spitzen und Täler, die 20% und mehr betragen können.

Alle hier angeführten Ziffern stellen natürlich nur beispielsweise Werte dar. Sie stimmen aber mit den sonstigen Durchschnittsangaben in der Literatur gut zusammen und beziehen sich auf gute Einrichtungen und gut geführten Betrieb.

Größere Unterschiede können im Dampfbedarf für Warmwasserbereitung eintreten. Überdies wird der Gesamtbedarf natürlich wesentlich kleiner, wenn der Gerbstoff bezogen wird und die Dampfmenge zur Auslaugung und Eindickung der Brühe entfällt, die im vorliegenden Falle etwa die Hälfte des Gesamtverbrauches erfordert.

Für den Kraftbedarf bei der Lederherstellung gilt in gleichem Maße wie für den Wärmebedarf, daß in verschiedenen Betrieben stark abweichende Verhältnisse vorliegen. Die Feststellung des Kraftbedarfes in jedem einzelnen Falle ist nicht so einfach, wie die Feststellung des Dampfbedarfes einer Fabrik, welche letzterer aus der Speisewassermenge der Kessel, oder, wenn auch diese nicht genau bestimmbar ist, zumindest aus der verfeuerten Kohlenmenge und einer angenommenen Verdampfungsziffer ungefähr zu ermitteln ist, und der Fabriksleitung viel geläufiger ist, als die Feststellung des Kraftverbrauches, der im elektrisierten Betrieb durch elektrische Meßapparate und im Dampfmaschinenbetrieb nur durch Indizierung erfolgen kann. Als Mittelwert für eine Lederfabrik zur Verarbeitung von 500 Häuten können beiläufig die Kraftbedarfsmengen laut Zahlentafel 16 angenommen werden.

Hiernach werden in der 8stündigen Tagschicht etwa 620 PS, in den Nachtschichten etwa 310 PS im Durchschnitt gebraucht. Die auftretenden Spitzen sind mit höchstens 720 PS anzunehmen. Diese Kraftmengen können mit einer Dampfmaschine von etwa 600 PS Normalleistung erzeugt werden.

Stellt man diese Kraftmengen in ein Verhältnis zu dem vorn errechneten Stundendampfbedarf von 5400 bis 6200 kg und berücksichtigt

Zahlentafel 16.

Betriebsabteilung	Kraftbedarf in PS im Stundendurchschnitt		PSst je Tag	Spitze PS
	24stündig	8stündig		
Rindenzerkleinerung, Auslaugung, Lohepressen, Beförderungsvorrichtungen und Hilfsmaschinen . . .	100	—	2400	120
Scher- und Streichmaschinen, Haspeln, Beizfässer, Hebevorrichtungen . . .		250	2000	300
Gerbfässer-Antrieb . . .	50	—	1200	60
Trockenanlage und Zurichte usw. . .	50	—	1200	60
Hilfsbetriebe, Beleuchtung, Aufzüge u. dgl. . .	50	—	1200	80
Summe . . .	250	250	8000	620
Triebwellen- und Leitungsverluste . .	60	60	2000	100
Gesamt-Kraftverbrauch	310	310	10000	720

man, daß es genügt, wenn dieser zur Erzeugung benötigte Dampf eine Spannung von höchstens 1 atü besitzt, wie er als Abdampf im Gegendruckbetrieb anfällt, so zeigt sich, daß eine Dampfmaschine, welche etwa 7,5 kg Dampf je PSst als Abdampf abgibt, also 8 bis 8,5 kg Dampf je PSst benötigt, hier vollkommen ausreicht. Diesen Verhältnissen entspricht (siehe Bd. I, S. 125 bis 127, Abb. 30 und 34) eine Gegendruckmaschine mit einem Eintrittsdruck von 12 bis 14 at bei einer Dampftemperatur von 300°. Eine derartige Maschine würde also selbst bei der vorkommenden Höchstleistung nicht mehr Dampf benötigen bzw. nicht mehr Abdampf im Gegendruckbetrieb liefern, als für die Erzeugung benötigt wird. In der Maschine selbst wird nur etwa 1 kg Dampf je PSst auf Rechnung der Krafterzeugung verbraucht, so daß zu dem Fabrikationsdampfbedarf der Lederfabrik ein Zuschlag von etwa durchschnittlich 400 kg je Stunde mit Rücksicht auf die Krafterzeugung im Gegendruckbetrieb zu machen ist. Der Gesamtdampfverbrauch beträgt dann also im Jahresdurchschnitt rund 6200 kg je Stunde.

Wenn eine wesentlich wirtschaftlichere Dampfmaschine gewählt wird, z. B. für 30 at und sehr hohe Überhitzung, die bei 1 at Gegendruck einen Dampfverbrauch von nicht mehr als etwa 6 kg je PSst aufweist, könnten bei Ausnützung der gesamten Dampfmenge etwa 1000 PS erzeugt werden, von denen während der Tagesschicht rund 400, während der Nachtschicht rund 700 im Betrieb der Lederfabrik nicht gebraucht werden und für andere Zwecke verfügbar wären.

Was die Dampferzeugung anbelangt, ist zunächst als wichtigste Frage zu untersuchen, ob und inwiefern der erforderliche Dampf aus der anfallenden Lohe zu decken ist. Die mit 70% Wassergehalt aus

den Auslaugebottichen anfallende Lohe ist in diesem Zustande nicht als Brennstoff anzusprechen, wie aus folgender Erwägung folgt, welche für alle derartigen Untersuchungen in gleicher Weise gilt. In Abb. 20 ist auf der Horizontalen der Wassergehalt der Lohe in Hundertteilen angegeben. Der in der Lohe enthaltene Trockenstoff hat einen Heizwert von etwa 4500 WE. Wenn man nun die Linie *A* zieht, so geben die mit H_T bezeichneten Längen den Heizwert des in einem kg Lohe enthaltenen Trockenstoffes an. Trägt man auf der rechten Seite über dem Punkt, der dem Wassergehalt von 100% entspricht, die Wärme-

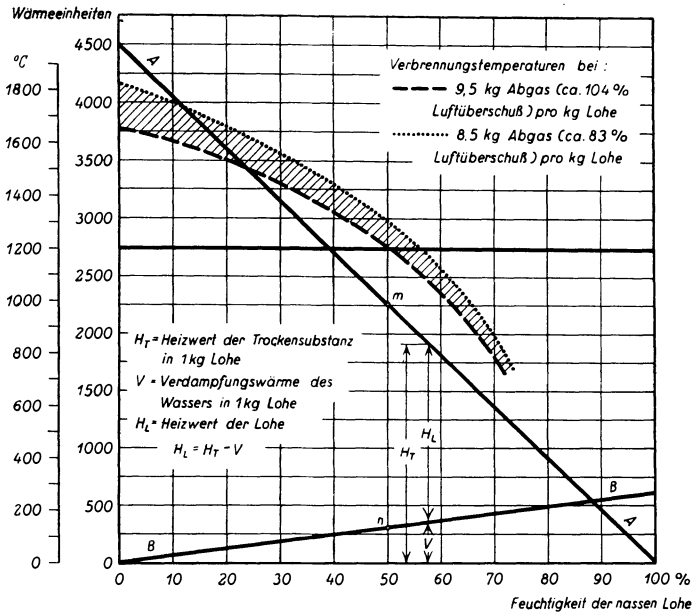


Abb. 20. Heizwert und Verbrennungstemperatur von Lohe bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalt.

menge auf, die erforderlich ist, um 1 kg Wassergehalt der Lohe zu verdampfen (das sind rund 600 WE) und zieht man von dem so erhaltenen Punkte aus die Linie *B*, so versinnbildlichen die Abstände *V* die Wärmemenge, die erforderlich ist, um bei den verschiedenen Wassergehalten das Wasser aus 1 kg nasser Lohe zu verdampfen. Nachdem nun der Heizwert H_L der nassen Lohe gleich ist dem Heizwert H_T des in der nassen Lohe enthaltenen Trockenstoffes, vermindert um die zur Herausdampfung des Wassers aus der Lohe erforderlichen Wärmemenge ($H_L = H_T - V$), ergibt sich aus den Abständen der Linien *A* und *B* jeweils der Heizwert der nassen Lohe bei dem auf der Horizontalen ersichtlichen Wassergehalt. So z. B. ist bei einem Wassergehalt von 50% der Heizwert der Lohe durch die Strecke $m n = 1950 \text{ WE}$ gegeben. Aus diesem Bilde ersieht man aber auch mit der der zeichne-

rischen Darstellung eigenen Klarheit, daß der Heizwert einer Lohe mit etwa 88 % Wassergehalt gleich Null ist, d. h., daß der Heizwert der in der Lohe enthaltenen 12 Teile Trockenstoff eben nur ausreicht, um die darin enthaltenen 88 Teile Wasser zu verdampfen.

Der Heizwert der Lohe, wie sie von der Auslaugung kommt (etwa 70 % Wassergehalt) ist etwa 1000 WE. In dem Bild ist auch die Verbrennungstemperatur, mit welcher die Lohe bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt verbrennt, verzeichnet. Hierbei ist angenommen, daß die Lohe mit einem Luftüberschuß von 83% bis 104% verbrennt. Nimmt man an, daß eine dauernde Verbrennung auf dem Rost nicht möglich ist, wenn die Verbrennungstemperatur nicht mindestens 1200° beträgt, was für Lohefeuerung ungefähr zutrifft, so zeigt das Bild, daß der Wassergehalt der Lohe, wenn sie ohne Zusatz verbrannt werden soll, nicht größer als 50 bis 55% sein darf. Hieraus ergibt sich, daß die Lohe unter allen Umständen entwässert werden muß, was in erster Linie durch mechanische Verfahren geschieht. Hierdurch wird natürlich zunächst eine Gewichtsverringerung der gesamten zur Verfügung stehenden Lohemenge erzielt, gleichzeitig aber der Heizwert in wesentlich größerem Maße erhöht.

Meist werden Umlauf-Pressen verwendet, durch welche der Feuchtigkeitsgehalt auf 60 bis 62% heruntergebracht werden kann. Stempelpressen, welche ebenfalls Verwendung finden, lassen den Feuchtigkeitsgehalt bis auf 55, ja sogar 50% herunterbringen. Eine weitere Abpressung der Lohe unter 50% Wassergehalt auf mechanische Weise ist nur mehr mit Anwendung von Wasserpressen, die sehr viel Kraft erfordern, durchführbar; immerhin sind derartige kraftverbrauchende Einrichtungen, wenn die erforderliche Kraft noch in der Weise erzeugt werden kann, daß der Abdampf immer voll Verwendung findet, oft wirtschaftlich. Eine genaue Durchrechnung ist aber in jedem einzelnen Falle erforderlich, wobei selbstverständlich die Anlagekosten der Wasser-Preßanlagen und ihr Kapitaldienst eine wesentliche Rolle spielen.

Ein anderes Verfahren zur weiteren Trocknung der in den mechanischen Pressen bereits entwässerten Lohe ist das Nachtrocknen unter Verwendung der Kesselabgase. Zu diesem Zwecke werden u. a. Trommel-trockner von etwa 1 m Durchmesser und 7 bis 10 m Länge verwendet. Auch hier wird in jedem einzelnen Falle die Anstellung einer besonderen Rechnung erforderlich werden und man wird in der Mehrzahl der Fälle finden, daß die Verwendung der Abgase zu diesem Zwecke für den Gesamtbetrieb kaum günstiger ist als ihre Verwendung zu Wasservorwärmungs- oder sonst üblichen Zwecken. Meist wird man überhaupt zu dem Ergebnis kommen, daß die Verfeuerung der durch mechanische Pressen (Walzenpressen) bis auf etwa 50% entwässerten Lohe die wirtschaftlichsten Verhältnisse bietet.

Für die Anlage zur Verarbeitung von 500 Häuten ist der durchschnittliche Tagesdampfbedarf 140000 kg. Die täglich verarbeitete Rindenmenge beträgt 50000 kg. Aus 100 kg Rinde, die auf 50% Feuchtigkeit ausgepreßt ist, entstehen 140 kg Lohe mit einem Heizwert von 1950 WE (s. Abb. 20). Wenn diese Lohe mit einem Nutzeffekt von nur 60% zur Dampferzeugung verwendet wird, lassen sich aus 1 kg Lohe 1,8 bis 1,9 kg Dampf erzeugen. Aus den zur Verfügung stehenden 50000 kg Rinde ergeben sich $50000 \cdot 1,4 = 70000$ kg Lohe mit 50% Wassergehalt, die 125000 bis 133000 kg Dampf erzeugen lassen. Die vorhandene auf 50% abgepreßte Lohe reicht sohin zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes in einer unter den vorstehend angeführten Verhältnissen arbeitenden Lederfabrik nahezu aus und es wird sich sohin hier lediglich darum handeln, die Kesselfeuerung so einzurichten, daß Lohe dieser Art praktisch ohne Zusatz anderer Brennstoffe verheizt werden kann.

Wird jedoch der Feuchtigkeitsgehalt der Lohe durch weiteres Abpressen oder durch Trocknen noch weiter heruntersetzt, so wird schon mit einem Teil der verfügbaren Lohe das Auslangen gefunden werden, während mit der restlichen Lohe entweder Dampf, der außerhalb der Lederfabrik noch Verwendung findet, erzeugt, oder aber der übrigbleibende Teil der Lohe verkauft werden kann. All dies gilt für wärmetechnisch tadellos eingerichtete Fabriken, wie man sie in der Praxis allerdings selten findet.

Sonderfeuerungen, die zur Verfeuerung von Lohe mit etwa 50% Feuchtigkeit geeignet sind, müssen einer Reihe von Anforderungen genügen. Zunächst handelt es sich um sehr große Mengen von Brennstoff, dessen Bewältigung durch Handarbeit den Heizer zu sehr belastet, so daß selbsttätige Arbeitsweise erforderlich wird. Eine weitere Schwierigkeit bietet der geringe Heizwert. Um die nötige Entzündungstemperatur ständig im Feuerherd aufrechtzuerhalten, sind besondere Ausbildungen der Feuergewölbe und ihrer Strahlungsflächen, sowie des Feuerraumes überhaupt erforderlich. Als Roste kommen fast durchwegs Sonder-Treppenroste in Frage, deren Neigung jedoch dem besonderen Umstände Rechnung tragen muß, daß der Böschungswinkel der Lohe im noch nassen Zustande, also im oberen Teil des Rostes ein anderer ist, als jener, der während des Fortschreitens der Verbrennung getrockneten Lohmassen. Auch die Rostspalten und Zugverhältnisse müssen den besonderen Verhältnissen Rechnung tragen. Jedenfalls sind Rostausführungen vorhanden, die die Verfeuerung derartiger Lohe ohne Zusatz oder zumindest ohne namhaften Zusatz höherwertiger Brennstoffe gestatten. Die Abmessungen der Roste werden naturgemäß sehr groß. Regelrechterweise werden auf einem für die Lohetrocknung geeigneten Treppenrost je m² etwa 150 kg Lohe verheizt werden können.

Diese Lohemenge entspricht einer Dampfmenge von $150 \cdot 1,8 = 270$ kg. Wenn in dem dazugehörigen Kessel 20 bis 25 kg Dampf je m^2 Heizfläche erzeugt werden, entfallen auf $1 m^2$ Rostfläche nur 10 bis $13 m^2$ Heizfläche. Für die Erzeugung von 5800 kg Dampf je Stunde, für welche etwa $250 m^2$ Heizfläche erforderlich wären, wären sohin etwa $20 m^2$ Rostfläche vorzusehen, was nicht ohne weiteres möglich ist. Es wird wahrscheinlich der Dampfkessel größer vorgesehen werden müssen als er sich bei einer Heizflächenbeanspruchung von etwa 25 kg aus der Dampferzeugung errechnet, und es stehen sohin der mangelhaften Veredlung der Lohe beträchtliche Mehrkosten in der Kessel- und Rostanlage gegenüber. Bei Verwendung einer bis auf 25% herunter getrockneten Lohe wäre die Rostanlage nur für die stündliche Verfeuerung von etwa 1900 kg, die zur Erzeugung von 5800 kg Stundendampf genügen, auszubilden, wodurch sich wesentlich günstigere Größenverhältnisse für Rost und Kessel ergeben. Hieraus ersieht man die innigen Zusammenhänge zwischen Arbeitsverfahren und Betriebsmittel mit den grundlegenden Fragen der Energiewirtschaft, wie sie für alle Industrien in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße gelten.

III. Papier-, Holzstoff- und Zellstoff-Industrie.

Zur Papierindustrie in weitestem Sinne gehört nicht nur die Herstellung von Papier, sondern auch jene der dazugehörigen Halbstoffe (Holzstoffe, Zellstoffe, Hadernstoffe u. dgl.). Die Gesamtheit dieser Industrien spielt infolge ihrer gewaltigen Erzeugungsziffern im Wirtschaftsleben der meisten Länder eine ganz bedeutende Rolle. In Deutschland werden jährlich etwa 2 Millionen Tonnen Papier, also etwa 33 kg je Kopf der Bevölkerung, erzeugt; da nur etwa 26 kg je Kopf der Bevölkerung verbraucht werden, ist das Papier auch ein wichtiger Ausfuhrartikel. Holz und Zellstoff werden in Deutschland in ungenügender Menge erzeugt und daher aus dem Ausland eingeführt. In Österreich ist die Papiererzeugung je Kopf der Bevölkerung ungefähr ebenso groß wie in Deutschland, der Verbrauch aber geringer (nur etwa 15 kg), so daß der Ausfuhranteil noch größer ist. Auch Holz- und Zellstoff wird in Österreich in größeren Mengen erzeugt als verbraucht, so daß auch von diesen Erzeugnissen viel aus Österreich ausgeführt wird.

Die Papierindustrie in ihrer Gesamtheit gehört aber auch zu den Großverbrauchern an Kraft und Wärme. Zur Deckung des Kraftbedarfes können verfügbare Wasserkräfte vorteilhaft herangezogen werden. Fast immer müssen aber auch Dampfkraftwerke als Ersatz- oder Zusatzkraftzentralen vorgesehen sein. Die Deckung des Wärmebedarfes erfolgt in erster Linie durch Dampf, der aus den zur Verfügung stehenden Brennstoffen erzeugt wird; der Elektrodampferzeugung

kommt nur untergeordnete Bedeutung zu. Der Kohlenbedarf der gesamten Papierindustrie Deutschlands beträgt mehr als 6 Millionen t.

Trotzdem mit Rücksicht auf diese Verhältnisse eine geordnete Energiewirtschaft in der Papierindustrie, besonders aber bei der Halbstoff-erzeugung, ein dringendes Gebot ist, wird der Sparsamkeit in dieser Hinsicht erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit Rechnung getragen. Vielleicht ist dies darauf zurückzuführen, daß sich die einzelnen Verfahren zur Herstellung der verschiedenen Halbstoffe erst allmählich entwickelt haben und daß hierbei immer die technologischen und erzeugungstechnischen Fragen im Vordergrund standen, wodurch die Dampfwirtschaft zunächst vernachlässigt wurde. In den letzten Jahrzehnten hat aber die Berücksichtigung der energiewirtschaftlichen Fragen auch in diesen Industriezweigen Eingang gefunden, und es sind tatsächlich große Fortschritte auf diesem Gebiete erzielt worden.

In der Papierindustrie finden sich alle Arten der Verwendung von Kraft und Wärme: In der Holzstofferzeugung werden sehr große Mengen von Kraft, dabei aber in der Regel nur unbedeutende Wärmemengen verbraucht. In der Zellstofferzeugung ist der Wärmebedarf zu Kochzwecken besonders groß, wobei das Kochen unter Zuhilfenahme von Heizflächen oder durch unmittelbares Einblasen von Dampf erfolgt und für die verschiedenen Verfahren auch verschieden hohe Dampfspannungen verlangt. Der Kraftbedarf ist gering. In der Papiermaschine selbst liegt ein erheblicher Wärmebedarf für Trockenzwecke vor, dem ein Kraftbedarf für ihren Antrieb von nicht besonderer Größe gegenüber steht. Kraft und Heizbedarf sind nahezu gleichbleibend und nur mit der Papiersorte und der Fahrgeschwindigkeit veränderlich. Dagegen ist der Kraftbedarf der Stoffaufbereitung (Holländer usw.), der nur sehr geringen Wärmeverbrauch bedingt, größer und ziemlichen Schwankungen unterworfen. Bei den Kochvorgängen der Zellstoffindustrie treten dagegen im Dampfverbrauch sehr große Schwankungen auf. Es müssen also die verschiedenartigsten Aufgaben der Kraft- und Wärmewirtschaft hier einer zweckentsprechenden Lösung zugeführt werden mit weitgehenden Rücksichten auf die Güte und Gleichmäßigkeit der Fertigware. Eine eingehende Darlegung der Kraft- und Wärmewirtschaft in diesem Industriezweig ist infolgedessen auch allgemein lehrreich; sie ist übrigens auch deshalb besonders wissenswert, weil die Zellstofferzeugung das erste, sehr erfolgreich bearbeitete Gebiet der Dampfspeicherung war und heute noch darstellt.

Halbstoffe (Holzschliff, Zellstoff, Lumpen).

Die wichtigsten Halbstoffe der Papierindustrie sind der auf mechanischem Wege erzeugte Holzschliff, der auf chemischem Wege erzeugte Zellstoff (Zellulose), dann der aus Baumwollhadern (Lumpen)

gewonnene Lumpenhalbstoff. Auch die Strohzellstofferzeugung ist ziemlich umfangreich, während den aus Schilf, Bambusrohr, Kartoffelkraut u. dgl. gewonnenen Halbstoffen nur untergeordnete Bedeutung zukommt.

Die Halbstoffe werden je nach der Art der zu erzeugenden Papierarten in verschiedenen Verhältnissen mit Leim, Farbe und Füllstoffen in Holländern gemischt und gemahlen, immer unter Verwendung von Wasser. Ist der gewünschte Grad der Feinheit erreicht, erfolgt die Entwässerung des Stoffes und damit zusammenhängend die Verfilzung und Verkettung der Fasern zur Pappe oder Papierbahn auf der Naßpartie der Pappen- oder Papiermaschine, anschließend die Trocknung in der Trockenpartie der Maschine und schließlich die Nachverarbeitung zur verkaufsfertigen Ware.

Zur Erzeugung von Holzschliff wird das trockene Holz von Rinde, Ästen und faulen Teilen auf Schäl-, Fräs- und Bürstenmaschinen oder nur von Hand aus gesäubert, dann auf geeigneten Sägen und Spaltmaschinen zerkleinert und schließlich, wenn weißer Schliff erzeugt werden soll, verschliffen; bei der Erzeugung von braunem Holzschliff wird das Holz vorher noch gekocht oder gedämpft. Der Dampfbedarf beträgt hierbei etwa 40 kg je 100 kg Holz, der Dampfdruck gewöhnlich 4 atü.

Das Schleifen geschieht durch Anpressen des Holzes an umlaufende Schleifsteine, wobei die abgeschliffenen Fasern mit Wasser abgeschlemmt werden. Die Schleifer gehören zu den größten Kraftverbrauchern. Man ist heute imstande, mit einem Großkraftschleifer innerhalb 24 Stunden etwa 43000 kg lufttrocken gedachten Holzstoff zu erzeugen, wobei der Kraftbedarf etwa 2400 PS¹⁾ beträgt entsprechend ungefähr 5,5 PS je 100 kg Holzstoff bezogen auf 24 Stunden. Rechnet man noch den Kraftbedarf für das Holzzurichten, die Sonderung, Entwässerung und Wasserhaltung dazu, so kommt man auf etwa 7 PS, bei feinerem Schliff auf 10 PS je 100 kg in 24 Stunden oder je 1 kg Holzstoff 1,7 bis 2,4, im Mittel rund 2 PSst. Dieser große Kraftbedarf hat es mit sich gebracht, daß zur Holzschlifferzeugung in erster Linie Wasserkräfte herangezogen werden, deren Ausbau für die Holzstoffindustrie unzweifelhaft von großer Bedeutung ist. Die Wasserturbine kann bei günstigen Raumverhältnissen unmittelbar oder mit einfacher mechanischer Übersetzung den Holzschleifer antreiben; sie kann aber auch mit einem Generator gekuppelt werden, wobei die Kraftübertragung elektrisch erfolgt und der Kraftschleifer mit einem Elektromotor angetrieben wird.

In neuerer Zeit wird aber auch vielfach Dampfkraft zum Holzschleifen verwendet. Die Möglichkeit, auf diese Weise den Kraftpreis

¹⁾ Großkraftschleifer von solcher Kraftaufnahme sind allerdings selten, wenn sie auch nicht als die größten ausführbaren bezeichnet werden können, wie später noch angeführt wird.

auf ein Maß herunterzubringen, wie er für die Holzschleiferei erträglich ist, ist in erster Linie der Verbilligung zuzuschreiben, welche der Dampfkraftbetrieb einerseits durch Abdampfverwertung, andererseits durch Speicherung und sonstige neuzeitliche wärmetechnische Errungenschaften erfahren hat. Hierdurch und durch die Verbesserungen im Dampfturbinenbau ist es möglich geworden, die Holzschleifer durch Dampfturbinen anzutreiben. Dazu war Vorbedingung, daß durch die Ausbildung der Zahnradübersetzung die elektrische Kraftübertragung auch beim Turbinenbetrieb vermieden und hierdurch auch der elektrische Verlust im Generator, Motor und der Zwischenleitung erspart

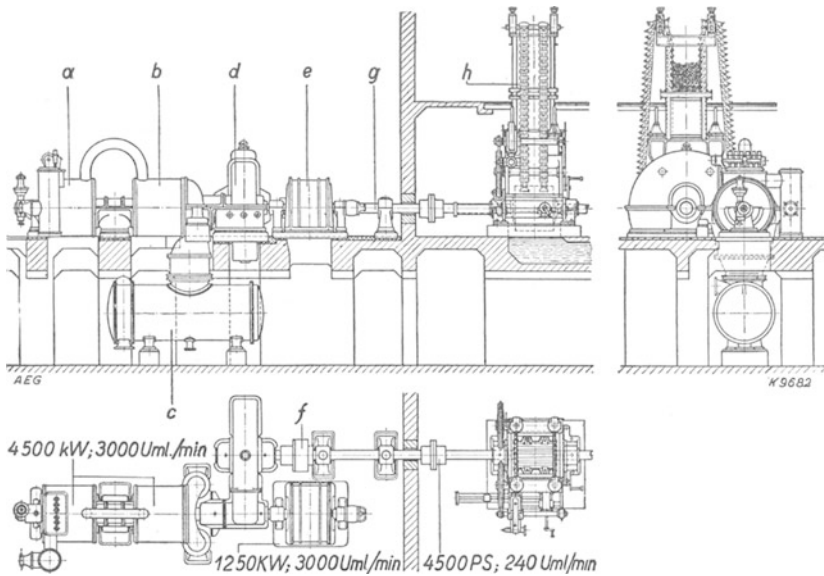


Abb. 21. Kupplung von Großkraftschleifer und Turboaggregat (A. E. G.-Festschrift).

werden konnte. Großkraftschleifer machen 200 bis 250 Umdrehungen je Minute; diese Tourenzahl läßt sich mit Zahnradübersetzung durch moderne Genauigkeitsgetriebe von der Turbinenwelle mit 3000 Umdrehungen ohne weiteres erzielen. Die Turbine hat den Vorteil, mit voller Last leicht angehen zu können und rasch auf die Tourenzahl zu kommen. Auch Belastungsstöße werden verhältnismäßig leicht aufgenommen. Die Regelung der Dampfturbinen ermöglicht die Drehzahl genau einzuhalten, was für die Güte des Holzschliffes von großer Bedeutung ist.

Abb. 21 zeigt eine neuzeitliche Dampfturbinenanlage. Die zweigehäusige Dampfturbine von 4500 kW (a, b) treibt einen mit der Turbinenwelle direkt gekuppelten Generator (e) von 1250 kW an, während von der gleichen Turbinenwelle zwischen Generator und Turbine mit Zahnradvorgelege (d) ein Großkraftschleifer (h) mit einem Kraftbedarf von 4500 PS und einer Drehzahl von 240 Touren je

Minute angeordnet ist. Der Anzapfdampf kann als Heizdampf für Papiermaschinen und sonstige Einrichtungen, als Nutzdampf oder auch zum Dämpfen des Holzes verwendet werden. Er kann auch für andere schon vorhandene Dampfmaschinen von entsprechender niedriger Eintrittsspannung Verwendung finden¹⁾.

Bei sehr großem Nutzdampfbedarf und Verwendung kleinerer Schleifer, also beispielsweise in Anlagen mit mehreren Papiermaschinen und geringem Holzschliffbedarf oder in Anlagen, die mit Zellstoffabriken vereinigt sind, besteht die Möglichkeit, große Abdampfmengen im Gegendruckbetrieb zu verbrauchen, in welchem Falle einfache und billige Gegendruckturbinen in Betracht kommen können.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei der Erzeugung von Zellstoff. Hier werden die im Holze enthaltenen Harze und Öle durch Säuren, Salze oder Laugen bei einer bestimmten Temperatur und unter Druck aufgelöst. Je nach dem chemischen Vorgang, in welchem sich diese Aufschließung vollzieht, unterscheidet man Sulfit-, Sulfat- und Natronzellstoff. Allen drei Verfahren ist jedoch die Verwendung von Dampf zum Aufschließen, das durch Kochen erfolgt, gemeinsam.

Der Menge nach steht von den drei Arten wohl der Sulfitzellstoff an erster Stelle. Seine Erzeugung umfaßt folgende Arbeitszweige: Holzaufbereitung, Laugenerzeugung, Kochung, Stoffaufschließung, Reinigung, Sonderung (eventuell Bleiche), Entwässern und Trocknen. In gemischten Zellstoff- und Papierfabriken wird der für den Eigenverbrauch bestimmte Zellstoffbrei sofort in die Holländer der Papierfabrik weitergeleitet (oft in kilometerlangen Leitungen) oder es findet nur eine mechanische Entwässerung statt, nach der die Zellulose in Form von Ballen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 1 bis 2,3 kg Wasser je 1 kg absolut trockenen Stoff aufbewahrt wird, bis sie in die Holländer zur Eintragung kommt. In Zellstoffabriken, die den Zellstoff zum Verkauf oder für den Versand erzeugen, wird er weiter getrocknet.

Größere Kraftverbraucher für die eigentliche Herstellung sind in der Holzaufbereitung die Schälmaschinen und Hacken, in der Stoffaufbereitung die Opener (Öffner) und einzelne Bauarten neuerer Membransortierer. Alle anderen Sortierer, ferner Reiniger, Eindicker, Entwässerungs- und Trockenmaschinen haben einen wesentlich geringeren Kraftbedarf. Da aber große Mengen Wasser (180 bis 350 l je 1 kg Sulfitzellstoff) benötigt und zum Zwecke der Kocherleerung und Stoffwaschung auch noch in hoch liegenden Behältern gespeichert werden müssen, kann der Kraftbedarf durch abnormale Verhältnisse in der Wasserbeschaffung oft sehr ungünstig beeinflusst werden, während andererseits Anlagen in guter Lage durch zufließende Quellwässer sehr viel Pumpenarbeit sparen können. Oft können auch ungünstig an-

¹⁾ 25 Jahre AEG-Dampfturbine. Berlin: VDI-Verlag 1928.

gelegte Wellentriebe oder eine wegen örtlicher Verhältnisse unvorteilhafte Anordnung der Anlage Ursache allzu großen Kraftbedarfes sein. Es werden mitunter viele Pferdekräfte für Aufzüge und sonstige Beförderungsmittel gebraucht, wo durch entsprechende Stufenanordnung einzelner Maschinen mit einmaligem Hochheben und Ausnützen der Gefällshöhe viel erspart werden könnte.

Als derzeit gültige Werte für den Kraftbedarf kann man auf Grund von Messungen an ausgeführten Anlagen mit dem Durchschnitt entsprechenden Einrichtungen für 100 kg ungebleichten lufttrockenen Zellstoff 15 bis 17 PSst ohne Wasserhaltung rechnen. Über- und Unterschreitungen dieser Zahlen sind natürlich möglich; Laßberg¹⁾ kommt auf ähnliche Werte. Selbstverständlich richtet sich dies, wie schon früher erwähnt, vielfach nach Alter und Lage der Fabrik. Für die Wasserhaltung Angaben zu machen, ist vollkommen unsicher, da der Kraftbedarf hierfür nahezu für jede Fabrik ein anderer ist. Im guten Mittel wird man jedoch mit 10 bis 15 PSst je 100 kg Zellstoff bei halbwegs normalen Verhältnissen das Auslangen finden.

Das Holz muß zunächst sorgfältig von den ihm noch anhaftenden Rinden- und Bastresten gesäubert und die Äste und faulen Teile müssen entfernt werden. Dies geschieht meist auf maschinellem Wege, doch kann die Handarbeit zumindest zum Nachputzen nicht vollkommen entbehrt werden. Auch wird mit Rücksicht auf den geringeren Abfall und die sorgfältigere Reinigung die Handputzerei oft der Maschinenarbeit vorgezogen besonders dort, wo nur ungebleichter Stoff erzeugt wird. Das geputzte Holz kommt nun in die Hackmaschine, von dort in die Brechmühle und sodann zur Sonderung, in welcher Holzstaub, Späne und die nicht herausgeputzten Äste ausgeschieden, während die ziemlich gleichmäßigen Holzschnitzel in Silos über den Kochern gesammelt werden. Die hier zahlreich anfallenden Abfälle (je nach der Art der Putzerei 10 bis 12%) werden meist im eigenen Werke verheizt, mitunter brikkettiert oder in Ballen gepreßt und verkauft. Auch die Vergasung zum Betrieb einer Sauggasmotoren-Anlage ist erfolgreich durchgeführt worden und lieferte beispielsweise in einem mittelgroßen Werke eine Abfallkraft von 400 kW. Der Kraftbedarf für die Holzaufbereitung kann mit 6 bis 7 PSst je 100 kg lufttrockener Zellulose angesetzt werden, wobei etwa 25% Putzarbeit von Hand aus gesehen muß.

Als Kochgefäße werden schmiedeeiserne, genietete Behälter von Kugel- oder Eiform, wenn sie umlaufend sind, oder von Zylinderform mit unteren und oberen Abschlußkalotten bzw. Kegeln, wenn sie ste-

¹⁾ Laßberg, Dr.: Die Wärmewirtschaft in der Zellstoff- und Papierindustrie, 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1926.

hend sind, verwendet. Sie haben eine Größe, die bei stehender Ausführung eine Erzeugung von 25000 und noch mehr Kilogramm lufttrockenen Zellstoff aus einer Kochung ermöglicht. Zum Schutze gegen die Lauge sind sie innen mit einem säurefesten Mauerwerk ausgekleidet. In die Kocher wird nun das zerkleinerte Holz eingebracht und sodann Lauge nachgefüllt.

Die Laugenbereitung geschieht in der jeder Fabrik angegliederten Abteilung, die schon äußerlich durch die hohen Holz- oder in neuester Zeit auch Eisenbetontürme gekennzeichnet ist. Zunächst wird hier in Öfen verschiedener Bauart Schwefelkies oder reiner Schwefel abgeröstet bzw. verbrannt, wobei schwefelsaures Gas (SO_2) gewonnen wird. Dieses Gas, das den Ofen mit über 600°C verläßt, wird von Ventilatoren abgezogen, in Bleirohrkühlern gekühlt, von unten in die vorerwähnten Mischtürme gepreßt und steigt in diesen hoch. Die Türme sind mit Kalkbruchstein (CaCO_3) angefüllt und enthalten im oberen Teil Wasserbehälter, aus denen das Wasser über den Stein herunterrieselt. Die so entstehende Bisulfitlauge $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ wird in großen Behältern gesammelt und dann mittels einer Pumpe in die Kocher gefüllt.

Der Kraftverbrauch dieser Abteilung ist verhältnismäßig klein. Die Öfen mit ihren langsam laufenden Rührwerken, die Ventilatoren, Kies- und Steinaufzüge, sowie die Turmpumpen benötigen wenig Kraft. Nur die Kocherlaugenpumpe muß stärker gehalten werden, da das Laugenfüllen rasch erfolgen muß, damit die Koch-Reihenfolge nicht zu lange hinausgezogen wird.

Wärmetechnisch scheint zunächst die Röstofenanlage einige Aufgaben zu bieten, doch verlieren die meisten bei näherer Betrachtung stark an Bedeutung. Der untere Heizwert des Schwefels bei seiner Verbrennung zu SO_2 beträgt 1620 WE, das sind bei einem Ofen von 7 t Kiesdurchsatz in 24 Stunden etwa 11,5 Millionen WE. Für eine mittlere Zellulosefabrik (Tageserzeugung etwa $3\frac{1}{2}$ Waggon) beträgt der Kiesbedarf rund 12000 kg in 24 Stunden, was etwa 20 Millionen WE entspricht. Von dieser Menge ist ungefähr $\frac{1}{3}$ in den abziehenden Röstgasen enthalten, das übrige wird im Ofen zur Kiestrocknung und Erwärmung der Kühlluft verwendet, ein Rest stellt die Abbrand- und Strahlungsverluste dar. Eine Verwertung der Verluste, sei es durch Verwendung der warmen Kühlluft oder zur Erzeugung von warmem Wasser, das vom Röstgaskühler entnommen und nachher mit Ausnutzung der Strahlungswärme höher erwärmt wird, scheitert an den hohen Kosten für diese Anlagen, die sorgfältigste Ausführung und ständige Überwachung verlangen, da die bei Undichtheit ermöglichte Bildung der äußerst schädlichen Säuren unter Umständen die ganze Anlage zerstören kann. Lediglich dort, wo diese Übelstände nicht ins Gewicht fallen, also bei der Laugenbereitung selbst, können sich Vor-

teile ergeben und es bestehen auch einige Verfahren, die darauf abzielen, die Wärmemengen zur Vorwärmung der Frischlauge zu verwerten. Diese Methoden haben aber nur dort Aussicht auf Erfolg, wo die sehr großen Abwärmemengen der Kocherei, über die noch gesprochen wird, infolge anderweitiger Verwendung die Verwertung der Kiesofenabwärme wirtschaftlich erscheinen lassen. Das Hauptaugenmerk der Wärmewirtschaft wird vorläufig der Kocherei zuzuwenden sein, während der Wärmeverwertung der Kiesofenanlage nur untergeordnete Bedeutung zukommt.

Das Kochgut (Holz und Lauge) wird in den Kocher gebracht und hier erfolgt durch Zuführen von Wärme ein Aufschließungsvorgang, durch den die Zellfasern freigelegt werden. Ein Raummeter Holz (Gewicht etwa 450 kg) gibt etwa 150 bis 160 kg ungebleichten, lufttrockenen Zellstoff und erfordert ungefähr 2 m³ Kocherinhalt. An Lauge benötigt man 8 l je 1 kg lufttrockenen Zellstoff. In einen Kocher, dessen Reininhalt etwa 72 m³ beträgt, werden sonach 36 rm Holz und 45 m³ Lauge eingebracht; die Ausbeute an lufttrockenem Zellstoff beträgt 5500 bis 6000 kg. Diese Zahlen unterliegen sehr beträchtlichen Schwankungen, besonders was die Ausnützung des Kocherreinhaltes betrifft, da jede Fabrik ihre eigenen Verfahren des Kocherfüllens besitzt. (Einschütten des Holzes, Stampfen durch Menschenkraft oder mit Preßluftstampfern, Einblasen durch Druckluft u. a.) Der besseren Kocherausnützung soll auch das Dämpfen im Kocher dienen, ein Vorgang, bei dem vor Einbringung der Lauge Dampf in den Kocher geblasen wird, wodurch die Holzschnitzel erwärmt, gewisse Stoffe aufgelöst werden, das Holz für Lauge aufnahmefähiger gemacht wird und gleichzeitig an Sperrigkeit verliert, so daß die Möglichkeit besteht, größere Mengen an Holz in den Kocher einzutragen.

Begreiflicherweise werden dadurch die ohnedies in hohem Maße bestehenden Schwankungen im Dampfbedarf noch wesentlich vergrößert. Abb. 22 zeigt den Dampfbedarf einer Zellstofffabrik mit Dämpfung. Die für das Dämpfen erforderlichen Zeiten und Mengen sind aus den gestrichelten Flächen ersichtlich¹⁾.

Für die Kochung selbst kommt Sattedampf oder mäßig überhitzter Dampf von 5 bis 8 atü in Anwendung. Dieser Druck ist erforderlich, da für den chemischen Vorgang Endtemperaturen von 135° C bis 142° C nötig sind. Das Bestreben, die Kochzeit zu verkürzen, führt zur Anwendung noch höherer Temperaturen, obwohl die Aufschließungsarbeit schon bei 106° C stattfindet; allerdings ist bei etwa 160° C mit Rücksicht auf die Zersetzungen, die ein Bräunen des Stoffes mit sich bringen,

¹⁾ Siehe Aufsatz von Ing. Axel Håkanson, Helsingfors: Papierfabrikant Jg. 1921, H. 35 u. 36.

eine Grenze gesetzt. Die Kochung unter Druck ist weiterhin deswegen notwendig, weil das SO_2 -Gas bei höheren Temperaturen nur unter Druck im Wasser löslich ist. Im Kocher selbst beträgt der Druck etwa 6,5 atü; der Überdruck des Kochdampfes von 1 bis 1,5 at soll die Widerstände überwinden, die Wärmeabgabe an das Kochgut kräftiger gestalten, aber auch ein Rückströmen der Lauge in die Dampfleitungen verhüten.

Selbstverständlich ist nicht gleich zu Beginn der Kochung der volle Dampfdruck nötig. Wenn im Kocher noch kein Druck herrscht, kann auch mit niedergespanntem Dampf gearbeitet werden (Speicherdampf), es müssen nur die Heizleitungen weit genug sein, um in der vorgeschriebenen Zeit die nötigen Wärmemengen in das Kochgut zu bringen. Auch

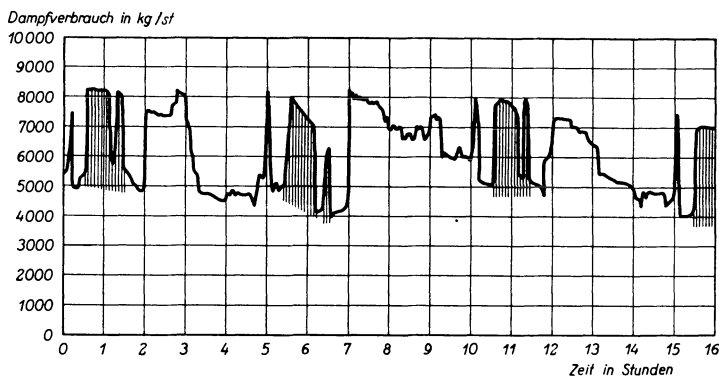


Abb. 22. Dampfbedarf einer Zellstoffabrik mit Dämpfung.

die Verwendung von überhitztem Dampf bis 220°C , wie er unter Umständen aus der Gegendruckmaschine anfällt, ist von Vorteil, nur ist besonders beim unmittelbaren Kochen in den letzten Heizzeitabschnitten, wo der Eintritt des Dampfes in das Kochgut wegen der geringen Druckunterschiede langsam vor sich geht, zur Vermeidung örtlicher Überhitzungen Vorsicht nötig, da diese ein Ankohlen des Holzes verursachen. Übrigens leiden auch die Bleiverkleidungen der Armaturen bei zu hohen Temperaturen.

Die Wärme wird in das Kochgut nach zweierlei Verfahren geleitet: durch mittelbare Heizung (Mitscherlich-Verfahren) oder durch unmittelbares Einblasen (Ritter-Kellner-Verfahren). Im ersteren Falle wird mittels einer im Kocher angeordneten Zusammenstellung von Rohren geheizt, durch die der Dampf hindurchgeleitet wird. Das austretende Kondensat wird nach sorgfältigster Untersuchung auf Laugengehalt wieder zu Kesselspeisezwecken rückgeleitet. Die Heizrohre sind aus Blei oder häufiger aus Kupfer. Diese Einrichtung ist kostspielig und schnellem Verschleiß unterworfen, da sie unter dem Einfluß der

chemischen Vorgänge, besonders aber auch infolge der Stöße und Erschütterungen, denen sie beim Leeren des Kochers durch das rutschende Kochgut unterworfen ist, leidet. Auf diesen Umstand wird durch Anordnung der Rohre nahe der Kocherwand Rücksicht genommen, sehr zum Nachteil der wärmetechnischen Vorgänge, da im Raum zwischen Heizrohr und Wand eine unvollkommene Stoffbewegung und damit eine mangelhafte Wärmeabgabe an das Kochgut stattfindet. Eine weitere unangenehme Erscheinung tritt bei der Verwendung von Heizschlangen auf. Die größten Wärmemengen werden für das Ankochen benötigt; um die Ankochzeit möglichst kurz halten zu können, müssen ziemlich große Heizflächen vorgesehen werden, die aber dann für das Weiter- und Fertigmachen in ihrer vollen Größe gar nicht notwendig sind. Es findet daher nur für verhältnismäßig kurze Zeit eine volle Ausnützung der Heizeinrichtung statt. Auch die Reinhaltung so ausgedehnter Heizflächen bereitet ziemliche Schwierigkeiten, da sie sich mit Rohrstein verlegen, der den Wärmeübergang höchst ungünstig beeinflußt und ständig entfernt werden muß. Die geringe Ausnutzungsmöglichkeit im Verein mit den bedeutenden Instandhaltungskosten und der kurzen Lebensdauer führen vielfach zu einer unwirtschaftlichen Arbeitsweise dieses Verfahrens, der man teilweise dadurch begegnet, daß man es mit dem unmittelbaren Kochverfahren vereinigt.

Beim unmittelbaren (Ritter-Kellner-)Verfahren wird der Dampf am unteren Kocherteil eingeblasen und gibt hier seine Wärme an die Lauge ab, die dadurch hochsteigt und kälterem Kochgute Platz macht. Infolgedessen entsteht eine Mischbewegung, die an sich zwar träge vor sich geht, immerhin aber, wenn genügend Dampfmen gen zur Verfügung stehen, die mit starkem Druck eingeblasen werden können, für einen gleichmäßigen Aufschließungsvorgang ausreichen. Die Dampfeinleitung geschieht entweder durch gelochte kurze Kupferstutzen oder es wird im unteren Kocherteil ein nach oben und gegen die Mitte zu gelochter Bleihohrring eingelegt, durch den der Dampf ausströmt. Es ist klar, daß durch den Fortfall der Heizeinrichtung ein vereinfachtes, aber auch infolge des unmittelbaren Überganges der Wärme an das Kochgut ein bedeutend rascheres Arbeiten möglich ist. Während nach Mitscherlich mit höchstens 135° C bei 6,5 atü die gesamte Kochzeit (vom Ankochen bis zum Abgasen) 25 Stunden dauert, beträgt diese beim Ritter-Kellner-Verfahren mit einer höchsten Temperatur von 142° C bei 6,5 atü nur 10 bis 12 Stunden.

Trotz der Vorteile, die das schneller arbeitende Verfahren bietet, wird doch mit Rücksicht auf die Beschaffenheit des Stoffes vom mittelbaren Verfahren nicht abgegangen, es werden vielmehr immer noch Verbesserungen versucht und auch mit Erfolg eingeführt, die die Mängel beseitigen.

Die kurzgefaßten Ausführungen mögen veranschaulichen, daß die wärmetechnischen Vorgänge nicht nur den Fabrikationsvorgang, sondern auch die Bauart der Einrichtungen weitgehendst beeinflussen, was für viele andere Industrien im gleichen Maße gilt.

Die Höhe des Dampfbedarfes ist nach den Verfahren und den Arbeitsweisen verschieden. Für 1 kg lufttrocken gedachten Zellstoff wird dort, wo nur geringfügige Wärmemengen rückgewonnen werden, also bei Frischlaugentemperaturen von 20° bis 25° C zu Beginn der Kochung, mit 2,5 bis 2,8 (bei direktem Verfahren bis zu 3) kg trockenem Dampf von 8 atü gerechnet. Bei einem Werke von etwa 35 Tonnen Tageserzeugung beträgt also der Dampfbedarf im Mittel 3600 bis 4100 kg je Stunde. Dieser große Aufwand an Wärme drängt zur Verringerung der Verluste und zur Verwertung der anfallenden Kochereiabwärme.

Die Verluste, die unisolierte Kocher mit sich bringen und die etwa 3% des gesamten Wärmeverbrauches betragen, werden oft in Kauf genommen, da man dafür betriebstechnische Vorteile durch die ständige Beobachtungsmöglichkeit der Kocheraußenseite hat. Dabei gibt es aber heute ziemlich einwandfreie Methoden der Kocherisolierung, die auch den Wünschen ängstlicher Betriebsleiter gerecht werden. Bei gut isolierten Kochern sind die Strahlungsverluste unbedeutend.

Hinsichtlich der in den Kondensaten enthaltenen Wärme wurde die Möglichkeit der Rückgewinnung schon erwähnt. Je nach Art der Rückführung beträgt der Gewinn 15 bis 20%, bei Rückführung in geschlossenem Kreislauf auch mehr. Eine Kondensatrückführungsanlage ist infolgedessen immer wirtschaftlich.

Die Abgaswärme, die mit dem Gemisch von SO₂ und Wasserdampf während der Ankochzeiten den Kocher verläßt, entspricht Werten von 3 bis 11% der zugeführten Wärme; die niederen Zahlen gelten für das mittelbare, die höheren für das unmittelbare Verfahren.

Bei der Druckentlastung nach beendetem Kochvorgang, die den Zweck hat, den Druckausgleich zwischen Kocherinhalt und Außenluft herbeizuführen, entweichen 15 bis 20% der zugeführten Wärmemengen.

Nach der Druckentlastung ist noch vor dem Entleeren des Stoffes die restliche Lauge, das sind etwa 5,5 kg je 1 kg lufttrockenen Zellstoff mit einer Temperatur nahe bei 100° C abzulassen. Die Ablauge führt etwa 35 bis 45% der aufgewendeten Wärme mit.

Die 2,5 kg Lauge, die noch im Stoff je kg verbleiben, gehen mit diesem in die Stoffgruben. Da das Leeren der Kocher mit Wasserspülung stattfindet und anschließend daran ein gründliches Durchwaschen des Stoffes und Abspritzen in den Kammern vorgenommen wird, werden die restlichen Wärmemengen, deren Größe auf etwa 20% geschätzt werden kann, durch das Wasser abgeführt. Sie sind nicht

zu erfassen, da sie sich auf so große Wassermengen verteilen, daß ihre Nutzbarmachung unmöglich wird. Dieser Restverlust kann jedoch dadurch verkleinert werden, daß man die Trennung des Stoffes von der Ablauge noch weiter treibt, so daß die im Stoff verbleibenden Ablaugemengen geringer werden.

Die je kg lufttrockenem Zellstoff aufgewendete Dampfmenge bzw. die ihr entsprechende Wärmemenge verteilt sich beispielsweise bei mittelbarer Kochung in isolierten Kochern wie folgt¹⁾:

Zahlentafel 17.

1. Im Kondensat	etwa	17%
2. In den Abgasen während der Kochung	„	3%
3. In den Abgasen bei der Druckentlastung	„	24%
4. In der Ablauge	„	37%
5. Mit der Stoffentleerung (Ablauge im Stoff und Stoffwärme)	„	19%
		100%

Für unmittelbare Kochung wird ein Beispiel der Wärmemengenverteilung wie folgt angegeben²⁾:

Zahlentafel 18.

1. Strahlung und dgl.	etwa	6,5%
2. In den Abgasen während der Kochung	„	10,5%
3. In den Abgasen bei der Druckentlastung	„	16,0%
4. In der Ablauge	„	45,0%
5. Mit der Stoffentleerung	„	22,0%
		100%

Bemerkenswert sind hier, gegenüber der ersten Aufstellung, die größeren Wärmemengen in der Ablauge und Stoffentleerung, die in der größeren Ablaugemenge infolge unmittelbarer Dampfeinführung begründet sind.

Die Verwertung der Abgase- und Ablaugenwärme (Angabe 3, 4 und 5 bzw. 2, 3 und 4) ist heute schon in verschiedenen Verfahren erprobt. Diese Abwärme wird besonders zur Anwärmung der Frischlauge herangezogen (Gaslaugeerzeugung, Über-Laugen). Dabei werden Frischlagentemperaturen bis zu 100° C erreicht. Daraus ergibt sich der Gewinn gegenüber Laugen von höchstens 25° C. Natürlich muß die Laugen-erwärmung in Druckgefäßen bei etwa 6 atü erfolgen, deren Beschaffung und Instandhaltung immerhin kostspielig ist. Bei geringem Druck entweicht die schwefelige Säure aus der Lauge und macht sie unwirksam. Die Möglichkeit aber, auf diese Art Kesselheizfläche zu sparen und doch Gleichmäßigkeit in der Dampfhaltung zu erreichen, spricht für

¹⁾ Laßberg, Dr.: Die Wärmewirtschaft in der Zellstoff- und Papierindustrie.

²⁾ Friedländer, Ing.: Wärmeausnützung bei der Zellstoffkochung. Papierfabrikant 1928, H. 2.

die Verwendung dieser Einrichtung. Für diese Arbeitsweise werden Dampfverbrauchszahlen von 1,6 kg für 1 kg lufttrocken gedachten Zellstoff genannt; gegenüber den früher angeführten Zahlen von 2,5 bis 2,8 kg bedeutet dies einen einschneidenden Gewinn.

Hand in Hand mit der Wärmeausnützung in der Kocherei geht auch die Verwertung der mit der Ablauge abgehenden wertvollen Stoffe. Diese Bestandteile, z. B. Harze, Öle und Zucker, sind in Hundertteilen gemessen für das kg Ablauge nicht sehr groß, stellen aber bei den großen Laugenmengen, die schon in einer mittleren Fabrik anfallen, doch einen ziemlichen Gesamtwert dar. In 100 Gewichtsteilen Lauge sind etwa 11 Teile Trockenstoff enthalten. Die Ablauge einer Fabrik von 35 t Tageserzeugung (175000 kg Ablauge) enthält rund 20000 kg Trockenstoffe, davon sind etwa 2600 Zucker (1,5% der Ablaugenmenge). In Deutschland fallen jährlich etwa 800000 t Trockenstoffe mit der Ablauge der Zellstofferzeugung an, ähnlich liegen die Verhältnisse in anderen Zellulose erzeugenden Staaten. Die Gewinnung dieser Stoffe stößt jedoch auf Schwierigkeiten vornehmlich wärmetechnischer Natur, weil sie eben in sehr großen Wassermengen verteilt anfallen. Die Ablaugenverwertung durch Vergärung des Zuckers zu Alkohol ist trotzdem ziemlich eingeführt und erfordert vom Standpunkte der Wärmewirtschaft insofern Beachtung, als sie die Errichtung abdampfverbrauchender Unterabteilungen der Zellulosefabrik mit gleichmäßigem Wärmebedarf ermöglicht. In Schweden betrug im Jahre 1923 die Spirituserzeugung 1700000 l (95% Alkohol) und ist 1927 auf etwa 8700000 l gestiegen, wobei nur ungefähr 43% der Werksleistungsfähigkeit ausgenutzt wurden. In Finnland wurde im Jahre 1928 eine Fabrik dem Betriebe übergeben, die 6- bis 700000 l Jahreserzeugung leisten kann. In Deutschland beträgt die Spirituserzeugung aus Ablauge etwa 26000000 l jährlich, wobei die Leistungsfähigkeit der Werke nur mit ungefähr 30% ausgenutzt erscheint.

Nach Laßberg werden für 1 l Sulfitspirit etwa 20 kg Dampf von 2 atü benötigt. Rechnet man 1 l Spirit auf 100 kg Maische (vergorene Ablauge) und etwa 5 kg Ablauge auf 1 kg lufttrockenen Zellstoff, so erhält man je 100 kg lufttrockenen Zellstoff 5 l Spirit, wozu etwa 100 kg Dampf von 2 atü benötigt werden. (Vgl. die Angaben über Gärungsindustrie S. 174.)

Als Kraftverbraucher kommen lediglich einige Pumpen für die Maische- und Spiritbewegung in Frage, deren Bedarf mit 5,5 bis 7 PSst für 10 l Spiritus oder auf 100 kg lufttrockenen Zellstoff mit 0,28 bis 0,35 PSst angegeben sind.

Die Spirituserzeugung verwertet aber, wie schon früher erwähnt, nur einen geringen Teil der recht wertvollen Stoffe in der Lauge. Vor allem ist es naheliegend, die Harze, die immerhin einen beträchtlichen

Heizwert besitzen, zu Feuerungszwecken heranzuziehen. Sägespäne und entsprechend zerkleinerte Holzabfälle, wie sie in jeder Zellulosefabrik anfallen, wurden mit Ablauge als Bindemittel zu Briquets gepreßt, getrocknet und verfeuert. Die großen Wassermengen, die dabei entfernt werden müssen, haben diese Art der Verwertung nicht sehr verbreitet, hingegen haben Verfahren, die darauf abzielen, die Lauge möglichst einzudicken und die eingedickte Lauge zu verfeuern, bessere wirtschaftliche Aussichten, wenn es gelingt, durch das Verfahren der Brüdenverdichtung den Aufwand von Dampf bzw. Kraft für das Abziehen des Wassers in wirtschaftlichen Grenzen zu halten. Für Mehrkörperverdampfer, wie sie hier verwendet werden, werden Verdampfleistungen von 3 bis 3,5 kg Wasser mit 1 kg Dampf von 8 atü angegeben, wobei Dicklauge mit etwa 50% Trockengehalt erzeugt wird, die einen Heizwert von ungefähr 2000 WE besitzt. Bei 35 t Tagesleistung ergäbe dies eine in der Stunde zu verdampfende Wassermenge von etwa 5500 kg, wozu ungefähr 1700 kg Dampf von 8 atü benötigt werden. Für den Kraftverbrauch der Naßpumpe und des Dicklaugenabzuges wird etwa 3,2 PSst je 1000 kg Ablauge gerechnet, also in vorliegendem Falle mit 560 PSst entsprechend bei 24stündigem Betrieb 23 PS Kraftbedarf. Neben der Dicklauge fällt noch das Kondensat aus der zu verdampfenden Wassermenge an, dessen Wärme weitgehend ausgenützt werden kann. Dort, wo billige Kraft vorhanden ist, wird die Verdichtung zweckmäßig mit Kreisverdichtern stattfinden. Wirth¹⁾ hat über Erfahrungen mit diesen Wärmepumpen und ihre Wirtschaftlichkeit berichtet. Bei Eindickung von Sulfitablauge wurden 25 kg Wasserverdampfung je kWst Kraftaufwand festgestellt.

Für das Verbrennen der Lauge wurden mit dem Verfahren von Ing. Eisenbeiß²⁾ und durch Anwendung der Nubilosadüse³⁾ gute Resultate erzielt.

Die Einrichtungen und Instandhaltung dieser Anlagen sind indes sehr teuer; das Arbeiten verursacht ziemliche Schwierigkeiten, die vorwiegend auf das starke Ausfallen von Steinbildnern zurückzuführen sind, die den Eindickvorgang sehr hindern. Auch dagegen wird vielfach erfolgreich angekämpft, z. B. auch durch Elektroschutz-Anlagen; einige in neuester Zeit ausgeführte Betriebe weisen günstige Ergebnisse auf.

In Schweden wurde von Strehlenert ein Verfahren zur Erzeugung von Sulfitkohle erfunden. In Autoklaven wird unter Einblasen von Luft unter hohem Druck die vom Kalk befreite Ablauge durch Erhitzen bis auf 110° C in eine breiige Masse verwandelt und dieser sodann das Wasser entzogen. Dabei werden 600 bis 900 kg Kohle je t Zellstoff mit einem Heizwert von 6800 WE gewonnen.

Dr.-Ing. B. Krebs⁴⁾ berichtet über ein Verfahren zur Herstellung von Zellpech und belegt seinen Bericht mit den Ergebnissen einer in Betrieb befindlichen

1) Z. V. d. I. Bd. 65, H. 42 und Bd. 66, H. 7. 1922.

2) Papierfabrikant. 1924, Fest- und Auslandsheft.

3) Z. V. d. I. Bd. 72, Nr. 20. 1928. 4) Z. V. d. I. Nr. 73, 1929.

Anlage. Die Zellpechherstellung beginnt eigentlich dort, wo die Laugeneindickung aufhört und ist deshalb notwendig, weil die Verfeuerung der Dicklauge, die schon früher erwähnt wurde, noch nicht in der einfachen, betriebssicheren Weise stattfinden kann, wie dies bei der Verwendung des festen Zellpechs möglich ist. Das Zellpech wird zum Trocknen der Dicklauge in Walzentrocknern, wie sie vielfach auch in der Schlemmptrocknung, dann aber auch in der Kartoffelflocken- und Trockenmilcherzeugung zur Anwendung kommen, hergestellt. Die Dicklauge wird in dünner Schichte auf die mit Dampf bis zu 5 atü beheizten Walzen aufgetragen, wodurch die letzten Reste des Wassers ausgetrieben werden. Schon nach nicht ganz einer Umdrehung kann das Zellpech in Pulverform durch einen Schaber abgelöst und ohne weiteres in Förderschnecken und in Rohrleitungen zu den Feuerstellen verteilt werden. Der Heizwert dieses Pulvers wird mit 3500 bis 4000 WE je 1 kg angegeben, so daß bei seiner Verbrennung mit einer rund vierfachen Verdampfung gerechnet werden kann. Eine Trockenanlage für 5000 t Zellpech jährlich soll Mk. 150 000 kosten und die jährlichen Betriebskosten einschließlich des Kapitaldienstes ergeben sich zu Mk. 57 350. — Nachdem aus der gewonnenen Zellpechmenge bei vierfacher Verdampfung rund 20 000 t Dampf im Jahre erzeugt werden können, ergibt sich ein Dampfpreis von Mk. 2,87 je t.

Mit Rücksicht darauf, daß die Behörden die Unschädlichmachung der Ablaugen verlangen, erscheint die Berücksichtigung und Überprüfung der jeweiligen Anwendungsmöglichkeit aller dieser Verfahren für den praktischen Betrieb geboten.

Aus den Stoffkammern kommt nun der Stoff in die Stoffaufbereitung, wird hier aufgeschlagen, mit Wasser versetzt, von Ästen befreit, auf Sandfängen gesäubert und in der Feinsonderung vollkommen aufgeschlossen, wobei noch die kleinsten Unreinheiten und Holzsplitter ausgeschieden werden. Für diese Arbeit kann man etwa 5 bis 5,5 PSSt je 100 kg lufttrockenen Zellstoff rechnen, doch ist auch hier die Anordnung der ganzen Anlage und die Art der verwendeten Maschinen von wechselndem Einfluß.

Soll gebleichter Zellstoff erzeugt werden, so schiebt sich in diesem Herstellungsabschnitt der Bleichvorgang ein. Zellstoff und Chlorkalk werden in den Bleichholländer eingebracht. Bei dem neuesten Verfahren von Thorne und Wolf geschieht das Bleichen in Türmen in ununterbrochenem Arbeitsgang, wobei in großen Anlagen schon Tagesleistungen von 250 t erreicht wurden. Der Bleichvorgang vollzieht sich bei 40° C; diese Temperatur muß durch Einblasen von Dampf oder durch Verwendung von Heißwasser erreicht werden. Je 100 kg eingebrachten Stoff ist mit einem Verbrauch von 65 kg Dampf von 3 atü zu rechnen, wobei der Dampf vollständig ölfrei sein muß. Die Stoffeindickung beträgt dabei 8%. Ist sie geringer, also beispielsweise nur 4 oder 6%, so ergibt sich der Dampfverbrauch mit 130 kg bzw. 100 kg. Steht Abdampf von Kolbenmaschinen zur Verfügung, so wird man zweckmäßig Heißwasser erzeugen. Man hat mit einem Wasserverbrauch von 10 l je 1 kg eingebrachten lufttrockenen Zellstoff zu rechnen, bei einer Heißwassertemperatur von 90° C.

Der Kraftverbrauch für den Bleichvorgang wird mit etwa 16 bis 17 PSst je 100 kg eingebrachten Stoffs angegeben. Wo genügende Mengen elektrischer Energie billig zur Verfügung stehen, geschieht die Chlorerzeugung mitunter elektrolytisch; dabei erhöht sich der Kraftbedarf auf 35 bis 38 PSst je 100 kg Zellstoff.

Nach dem Bleichen oder sonst gleich nach der Feinsonderung wird der Stoffbrei, gut durchgewaschen, der Entwässerungsmaschine zugeführt, wo er mittels endlos umlaufenden Siebes, Saugkästen, Gautschen und Filztuchpressen auf 35 bis 45% Trockengehalt entwässert wird, und entweder in Form nasser Rollen die Maschine verläßt oder, wenn trockene Zellulose erzeugt werden soll, über mit Dampf beheizte Zylinder (Trockenpartie) geführt wird. Durch diese in Antriebsgruppen vereinigte Trockenzyylinder wird die Zellulose bis auf etwa 88% Trockengehalt getrocknet.

Der Kraftaufwand für die Entwässerung und Trocknung kann mit etwa 2,5 bis 3 PSst, der Dampfbedarf für das Trocknen mit etwa 200 kg Dampf von 3 atü je 100 kg Stoff angesetzt werden. Der Dampfbedarf kann unter Umständen eine Verringerung erfahren, indem man Warmluft verwendet, die durch Herunterkühlen der mit über 100° C anfallenden Kondensate oder durch sonstige Abwärme erzeugt und unter die Stoffbahn eingeblasen wird, oder auch, indem der Wasserentzug in der Naßpartie höher getrieben wird (z. B. durch besonders ausgebildete Hochdruckpressen). Hierdurch kann eine Trockengehaltssteigerung bis auf 50% am Ende der Naßpartie erreicht werden. Die Erhöhung des Trockengehaltes von beispielsweise 38 auf 50% gibt eine Dampfersparnis von etwa 40%. Der Kraftbedarf stellt sich bei diesem Verfahren allerdings höher. Eine Gegenüberstellung von Kraft- und Dampfkosten wird aber hier vielfach zugunsten der mechanischen Einrichtung entscheiden. (Siehe auch S. 30).

Zahlentafel 19.

I. Kraftbedarf.

Holzaufbereitung (Schälen, Putzen — 25% von Hand aus —, Hacken, Sortieren und Speichern in Silos)	6,5— 7,0 PSst
Chemische Abteilung (Kiesöfen, Kies- und Steinaufzüge, Turmpumpen, Kocherlaugpumpen).	1,0— 1,5 PSst
Stoffaufbereitung (Opener, Grob- und Feinsortierung)	5,0— 5,5 PSst
Entwässerung und Trocknung	2,5— 3,0 PSst
Zusammen	<u>15,0—17,0 PSst</u>
Wasserhaltung	10,0—13,0 PSst
Bleicherei ohne elektrolytische Chlorerzeugung	16,0—17,0 PSst
Elektrolytische Chlorerzeugung	35,0—38,0 PSst
Sulfitspirituserzeugung	0,28—0,35 PSst
Laugeneindickung mit Dampf	1,5— 1,8 PSst
Laugeneindickung mit Wärmepumpe	19,0—20,0 PSst

Zahlentafel 19 (Fortsetzung).

II. Dampfbedarf.

Für Kochzwecke 8 atü	270,0 kg
Für Trockenzwecke 3 atü	200,0 kg
Für Bleicherei (8% Eindickung) 3 atü	65,0 kg
Für Sulfitspiritus 2 atü	100,0 kg
Für Laugeneindickung 8 atü	11,5 kg

Zusammenfassend ergeben sich vorstehende mittlere Kraft- und Dampfverbrauchszahlen je 100 kg lufttrockenen Zellstoff.

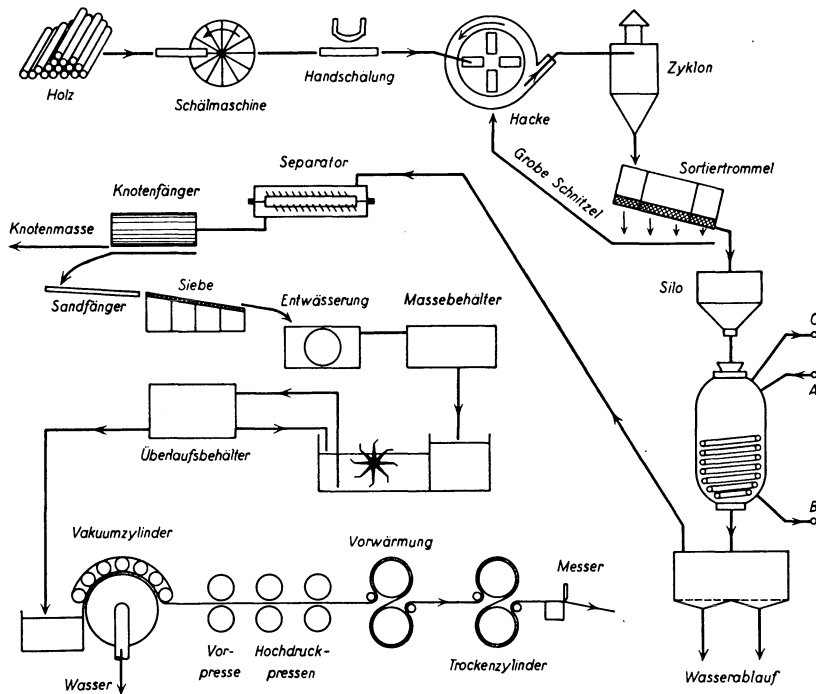


Abb. 23. Schema der Zelluloseerzeugung.

Das Sulfatverfahren unterscheidet sich vom Sulfidverfahren hauptsächlich durch die chemischen Vorgänge. Insbesondere wird die Ablauge immer wieder zur Herstellung der Frischlauge verwendet, so daß hier die Ablaugenverarbeitung von besonderer Wichtigkeit ist. Die Ablauge wird gereinigt in Verdampfern eingedickt; der Grad der Eindickung wird sodann in Scheibenverdampfern und in Drehöfen so weit getrieben, daß nur sogenannter Ligninkoks anfällt. In Schmelzöfen verbrennen die Lignine, während die Soda im Sodalöser mit Kalk gemischt wird. Durch Klärung entsteht dann eine Lösung aus Natriumhydrat und Natriumsulfid, der Natriumsulfat beigegeben wird. Man

erhält so Frischlaug, die bei der Kochung zur Verwendung kommt. Auch hier leidet das Eindampfen durch den Steinüberzug an den Heizrohren, doch sollen sich trotzdem Schnellverdampfer z. B. Bauart Seeger-Magdeburg gut bewährt haben¹⁾.

Die Kochung geschieht bei einem Druck von 5 bis 10 atü je nach der Arbeitsweise und dauert 4 bis 30 Stunden. Alle anderen Arbeitsvorgänge spielen sich ähnlich denen der Sulfitzellstoffherstellung ab und es gelten auch die Kraft- und Wärmebedarfszahlen des Sulfitverfahrens hier mit geringfügigen Änderungen.

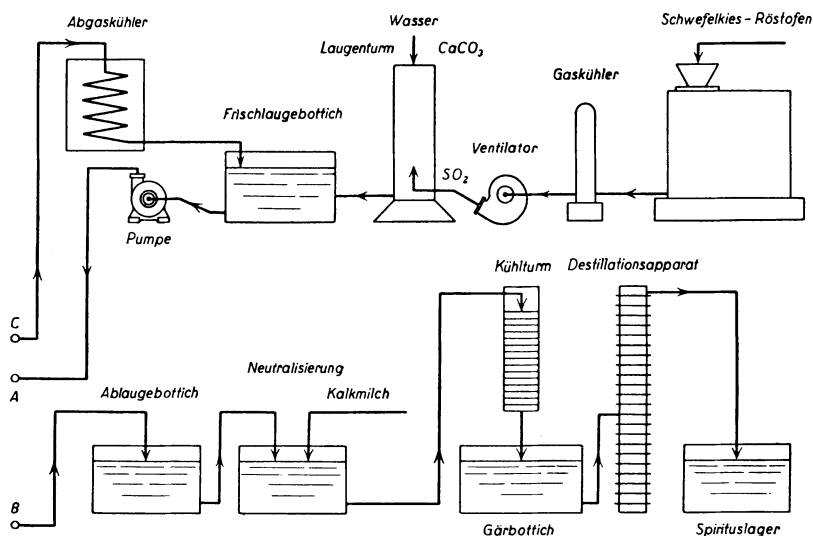


Abb. 24. Laugenerzeugung und Ablagenverwertung (Sulfit-Zellulose).

In Abb. 23 ist ein Schema der Zelluloseerzeugung gezeichnet, das abgesehen von wenigen Abweichungen sowohl für das Sulfit- als auch für das Sulfatverfahren zutrifft. Für die Sulfitlaugenbereitung und die Sulfat-Ablagenverwertung sind die Darstellungen wegen der grundsätzlichen Verschiedenheit dieser Abteilungen getrennt gezeichnet (Abb. 24 und Abb. 25).

Beim Natronverfahren geschieht die Laugenbereitung in der Weise, daß kohlen-saures Natron mit einem Kalkzusatz durch mittelbare Beheizung auf einen bestimmten Grad der Zusammensetzung gebracht wird. Diese Lauge wird dann mit dem Holz in den Kocher geführt, wobei auf je 100 kg Zellstoff 60 bis 100 kg Lauge zur Verwendung kommen. Bemerkenswert ist hier die Rückgewinnung von etwa 90 % Natron aus der Ablauge in ähnlicher Weise wie beim Sulfitverfahren. Der Kochvorgang vollzieht sich bei einem Druck von 6 bis 12 atü und

¹⁾ Papierfabrikant 1928, H. 16, S. 245.

dementsprechend einer Temperatur von 160 bis 190° C und dauert etwa 5 bis 10 Stunden. Auch hier kann hinsichtlich der Kraft- und Wärmehzahlen das Vorangeführte gelten.

Bei der Erzeugung von Strohstoff und Strohzellstoff wird Getreidestroh auf Häckselmaschinen zerkleinert, für Zellstoff noch durch Sonderung von Knoten und Körnern befreit. Beim Strohstoff erfolgt ein Kochen zusammen mit gelöschtem Kalk während 6 bis 8 Stunden in offenen Bottichen, nach neuerem Verfahren in umlaufenden Kochern mit Kalkmilch unter Druck bis 6 atü bei einer Kochzeit bis zu 10 Stunden. Für die Strohaufbereitung (Häckselmaschinen, Knotenfänger, Fördereinrichtungen) kann je 100 kg lufttrockenen Stoffs

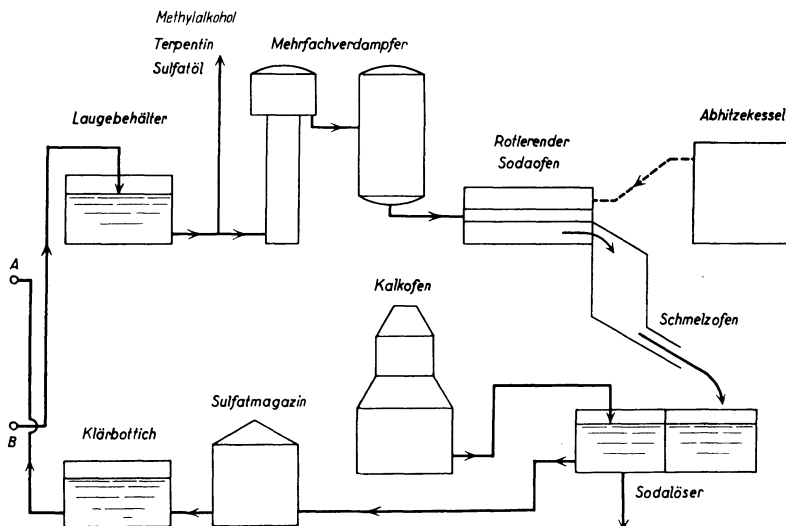


Abb. 25. Laugenerzeugung und Ablaugenverwertung (Sulfat-Zellulose).

mit 2,6 bis 3 PSst gerechnet, die Kalkmilchbereiter, Pumpen und Kocherantrieb können mit 0,6 bis 0,8 PSst angesetzt werden, die Wasserhaltung nicht mit inbegriffen.

Nach der Kochung kommt das Gut in Wasch- und danach in Halbzeugholländer zur Vermahlung bzw. Reinigung. Der Kraftaufwand für diese Arbeit kann, da es sich nicht um einen besonderen Feinheitsgrad handelt, 8 bis 12 PSst je 400 kg Fasern gesetzt werden. Die Sortierung und Entwässerung ist annähernd so wie beim Sulfiterverfahren.

Die Lumpenhalbstoffherstellung geschieht zumeist im engsten Zusammenhang mit der Papierherstellung. Erst in den letzten Jahren haben sich auch dafür Sonderbetriebe gebildet, die eine für den Feinzeugholländer der Papierfabrik eintragfertige Verkaufsware liefern.

Der Lumpenhalbstoff dient zur Erhöhung der Papiergüte und findet meist nur bei der Erzeugung hochwertiger Papiere größere Verarbeitung.

Die Baumwolllumpen und Hadern werden von Hand aus gesondert, von Fremdkörpern befreit, auf Maschinen zerklopft und zerkleinert, sodann geschnitten und in den Kocher eingetragen. Hier erfolgt die Kochung mit Kalkmilch unter Druck, der weitere Vorgang deckt sich mit dem der Strohzellstofferzeugung.

Der Kraftbedarf ist in der Lumpenaufbereitung nicht groß, außerdem ist zu berücksichtigen, daß gerade in dieser Abteilung sehr viel Handarbeit nötig ist.

Papier.

Bei der Papiererzeugung werden die Halbstoffe je nach der Güte des zu erzeugenden Papiers in entsprechenden Mischungsverhältnissen zunächst im Holländer verarbeitet. Der hier eingebrachte, stark mit Wasser versetzte Stoffbrei fließt in ununterbrochenem Lauf durch das Messerwerk des Holländers und erhält dabei seine richtige Mischung und durch das Zerteilen und Mahlen der Fasern auch die gewünschte Feinheit. Je nach der Arbeitsweise werden dann gegen Ende des Vorganges die Füllstoffe und Farben zugesetzt oder es erfolgt das Fertigmischen und Mahlen in eigenen Mischholländern.

Ähnlichen Zwecken wie die Holländer dienen auch die Kegelstahlmühlen. Hier erfolgt das Mahlen im einmaligen Durchgang zwischen einer kegelförmigen Messerwalze und dem Grundwerk.

Die verschiedenen Papiersorten benötigen je nach ihrer Feinheit eine größere oder geringere Mahlarbeit und dementsprechend ist auch der Einfluß dieser Abteilung auf die Kraftbedarfszahl ganz bedeutend. Jede Fabrik hat ihre eigenen Arbeitsweisen bei der Mahlung, für gleiche Arten ist in verschiedenen Fabriken der Kraftaufwand verschieden. Je 100 kg Papier kann daher nur in grober Annäherung für Holländerarbeit 10 bis 25 PSst gerechnet werden.

Wärmeverbraucher sind hier nur die Abteilungen, die sich mit der Herstellung der Zubereitung der Füllstoffe, der Farben, besonders aber des Leimes beschäftigen. Der Wärmebedarf ist jedoch ganz unbedeutend. In neuester Zeit geht man wieder zur Leimbereitung auf kaltem Wege über, wodurch der Dampfverbrauch gänzlich in Fortfall kommt.

Als nächster Arbeitsgang schließt das Entwässern und Trocknen des Stoffes an. Der Aufbau der hier verwendeten Maschinen ist grundsätzlich dem der Zelluloseentwässerungsmaschinen gleich. Der vielseitige Verwendungszweck und die nach jeder Richtung hin verlangte Gleichmäßigkeit hat besondere Bauarten entwickelt. In der Trockenpartie preßt ein endloses Filztuch die Papierbahn gegen die Zylinder und nimmt dabei Feuchtigkeit auf. Durch eigene Filztrockenzylinder

wird sodann das Filztuch getrocknet und wieder aufnahmefähig gemacht. Das Bestreben, die Leistungsfähigkeit zu steigern, führte zur ständigen Erhöhung der Papiergeschwindigkeiten, aber auch zur Verbreiterung der Stoffbahn. So wurde neuerdings eine Maschine aufgestellt, die bei einer Geschwindigkeit von 300 m in der Minute und einer Bahnbreite von 6 m etwa 10 Waggon in 24 Stunden zu leisten vermag.

Der Antrieb, der früher meist, um sich von den Schwankungen des übrigen Betriebes unabhängig zu machen, von eigenen kleinen Gegendruckdampfmaschinen besorgt wurde, die den Abdampf in die Trockenzylinder abgaben, geschieht häufig elektrisch, besonders dort, wo durch Vereinigung mit stark Dampf verbrauchenden Abteilungen der Halbstofffabrikation die Kraft im Gegendruck- oder Anzapfbetrieb erzeugt wird. Durch die Elektrisierung wird eine weitgehendere Regelfähigkeit erzielt. Die Ansichten darüber, ob dem elektrischen oder dem Dampfantrieb der Vorzug zu geben ist, sind jedoch in Kreisen der Papiermacher geteilt. In letzter Zeit wird von einigen Fachleuten wieder auf die alte Gegendruckmaschine mit Füllungsregler zurückgegriffen, während andere entgegenhalten, daß man hierdurch einerseits nicht zur vollen Ausnützung des Kesseldruckes kommt, andererseits der nötige Heizdampfbedarf mit dem gleichzeitigen Kraftbedarf und damit den anfallenden Dampfmen gen nur selten im Einklang steht, so daß ein unnötiger Verbrauch von Frischdampf als Zusatz bzw. Abdampfverlust eintritt.

Für den Kraftbedarf des regelbaren Teiles der Papiermaschine wird folgende grobe Näherungsformel angegeben:

$$N = b \cdot v \cdot \alpha \cdot \beta.$$

Hierin ist:

N = Kraftbedarf in PS_e ,

b = die Arbeitsbreite,

v = die Geschwindigkeit in Metern je Minute,

α = Faktor, abhängig von der Konstruktion der Maschine und bei

$$v = 120 \text{ m} \dots 0,25 - 0,35,$$

$$v = 250 \text{ m} \dots 0,35 - 0,45,$$

$\beta = 1 + \frac{g}{1000}$, wobei g das Papiergewicht in Gramm je m^2 ist.

Der Dampfbedarf ist in erster Linie vom Wassergehalt, beim Einlauf in die Trockenpartie abhängig; dieser wieder ist je nach der Papierart (feine Papiere 66 bis 70%, gewöhnlichere Papiere 56 bis 62% Wassergehalt), schließlich auch je nach der Raumtemperatur verschieden. (Über Einrichtungen zur Verringerung des Wassergehaltes vor dem Einlauf in die Trockenpartie z. B. durch Strahlungstrockner vor der letzten Walzenpresse u. dgl. s. S. 31).

Im allgemeinen rechnet man mit 3 bis 5 kg Dampf von 3 atü je 1 kg Papier, wobei die höheren Zahlen für dünnere hochwertige Papiere gelten. Eine Verbesserung dieser Zahl ist außer durch eine wirkungsvollere mechanische Entwässerung noch durch eine entsprechende Ausnützung von Abwärme der Kondensate und Schwaden möglich. Der Luftbewegung wird in den Maschinensälen noch viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Der träge Abzug der mit Feuchtigkeit gesättigten Schwaden wird allerdings durch Ventilatoren beschleunigt. Die Luft- und Wasserdampfmengen sind immerhin beträchtlich; für die Abfuhr haben sich in jüngster Zeit statt der Ventilatoren „Schreider-Kamine“ sehr gut eingeführt, die es infolge ihrer großen Querschnitte gestatten, große Mengen bei kleiner Geschwindigkeit abzuziehen. Die Schwaden und mit diesen zahlreiche Wärmemengen gehen nutzlos ins Freie, während man sich in den seltensten Fällen darüber Rechenschaft gibt, woher die Ersatzluft kommt und wie diese beschaffen ist. Man begnügte sich meist mit der Erzielung eines halbwegs nebelfreien Raumes. Nach den neuesten Verfahren werden nun die Kondensate oder Abdampf in entsprechenden Luftvorwärmern zur Erwärmung und damit Trocknung der zuströmenden Frischluft verwendet, wodurch diese aufnahmefähiger wird. Diese Heißluft wird sowohl unter die Decke, dann aber auch zwischen die Papierbahnen und unter die Filze geblasen. Ein kräftiges Heraustreiben der Schwaden und gleichzeitig erhöhte Aufnahmefähigkeit ist die Folge. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist die Unterkühlung der Kondensate, die deswegen von Nutzen ist, weil dadurch die Rauchgaswärme besser herangezogen werden kann. Ein anderer Erfolg versprechender Weg ist die Ausnützung der Schwadenwärme. In Schweden ausgeführte Anlagen sollen bis zu 30% Dampfersparnis ergeben. Hier wird auch die zugeführte Frischluft durch die Wärme des von der Trockenpartie abziehenden Dampfluftgemisches erwärmt und sodann unter die Decke und in die Zylinderpartie geblasen. Wärmetechnisch führt dieser Weg schließlich zu den Vakuumtrocknern, wie sie in Amerika gebaut wurden¹⁾. Diese arbeiten mit Temperaturen von 35° bis 40° C und nützen außerdem die abgezogenen Wärmemengen zur Heißluftbereitung aus.

Eine in einer kanadischen Zeitungspapierfabrik umgebaute Trockenpartie nach dem Vakuumverfahren hat folgende Betriebsergebnisse gezeigt: Zunächst wurden von 33 Zylindern nur 20 Zylinder verwendet. Die Arbeitsbreite betrug 3,5 m, die Geschwindigkeit wurde mit 230 m je Minute gehalten. Der Kraftbedarf blieb der gleiche, da der Wegfall von Zylindern und Ventilatoren durch Hinzukommen der Vakuumpumpe mit 40 PS und der Kondensatpumpe mit 2 PS wettgemacht wurde. Der thermische Wirkungsgrad betrug 97%. Der Dampfverbrauch je 1000 kg Fertigpapier ging von früher 4300 kg auf 2416 kg, also von 4,3 auf 2,4 je 1 kg Papier zurück.

¹⁾ Papierfabrikant 1928, H. 35.

Schließlich werden auch Mittel, die auf mögliche Wärmeausnützung abzielen, Ersparnisse geben. Guter Kreislauf in den Zylindern, eine einwandfreie Kondenswasserabfuhr müssen wohl beachtet sein. Neuerdings ordnet man an der Innenseite der Zylinder Rippen an, um möglichst viel Wärme den Wärmeträgern entziehen zu können. (Siehe auch S. 27.)

Nach der Trockenpartie kommt das Papier auf die Roller, und zwar zunächst auf den Aufroller, dann auf den Vorroller und zum Fertigrollen in bestimmter Breite, Länge und bestimmtem Gewicht auf Umroller, die mit Schneidmessern und Zählwerk ausgerüstet sind. Die Antriebe dieser Hilfsmaschinen werden wohl heute durchwegs nur mehr elektrisch gemacht. Der Kraftbedarf ist nicht sehr groß. Der größte Kraftverbraucher unter den Nacharbeitmaschinen ist der Kalandrier zum Glätten des Papiers. Je nach der Geschwindigkeit und der zu überwindenden Walzenpressung kann der Kraftbedarf bis zu 0,1 PSSt je 1 kg Papier hoch werden.

Schließlich sind noch die Längs- und Querschneidemaschinen zu erwähnen, die das von den Rollen ablaufende Papier zu der gewünschten Größenform schneiden.

Der ungefähre Gesamtkraftverbrauch der Papierfabrik für die gangbarsten Papierarten ist je 1 kg Papier:

Zahlentafel 20.

Zeitungsdruck (Rotationspapier)	0,4—0,6 PSSt
Karton	0,4—0,6 PSSt
Schreibpapiere	0,5—0,7 PSSt
Zellstoffpapiere einseitig glatt	0,8—1,0 PSSt
Seidenpapiere	1,0—1,3 PSSt

In den Papiermaschinen- und Holländersälen werden besonders für die kälteren Jahreszeiten, zur Vermeidung der Tropfenbildung, Deckenheizungen angebracht, für deren mitunter recht großen Bedarf im Druck geminderter Frischdampf herangezogen wird. Diese Dampfverbraucher werden vielfach unterschätzt und doch beeinflussen sie die Verbrauchszahlen sehr ungünstig. Heranziehung von Abwärme zur Erzeugung der Warmluft wird hier vieles ersparen.

Pappe.

Wenn schwankende Wasserverhältnisse die Gleichmäßigkeit der Erzeugung erschweren, wird vielfach zeitweise auf Vorrat gearbeitet. Nach neueren Verfahren wird der ausgepreßte Halbstoff in krümeliger Form gelagert und zu den Verbrauchsstellen durch Luftblaseleitungen befördert. Häufiger geschieht die Verarbeitung zu Pappe, die gestapelt wird. Der gesichtete Holzstoffbrei wird eingedickt und kommt in einen

Behälter. In diesen taucht eine Siebwalze teilweise ein. Beim Drehen nimmt sie eine Faserschicht auf, die dann durch einen Filz abgenommen und weitergeleitet wird. In Wasserpressen erfolgt ein weiteres Entwässern und hierauf entweder Trocknen in Pappentrocknern durch die atmosphärische Luft oder in Trocknern durch Heißluft. (Über die Steigerung des Effektes der mechanischen Vorpressen durch Beheizung der Pappenpakete s. S. 31.) Diese Art Pappe ist meist ein Holzschliffprodukt. Doch werden auch die in der Stoffsortierung der Zellstoffherzeugung anfallenden Äste in Quetschmühlen oder Kollergängen vermahlen und zu Pappe verarbeitet.

Unter Pappe sind aber auch Güteerzeugnisse zu verstehen, wie beispielsweise Stereotypie- oder Matrizenpappen, für die der Stoff durch besondere Auswahl, Mischung und Füllung zubereitet, auf der Pappenmaschine entwässert, in Kanaltrocknern oder Trockenmaschinen getrocknet und in Glättwerken geglättet wird. Der Dampfverbrauch in den Trocknern wird mit 200 kg Dampf je 100 kg Pappe angegeben, wobei die Pappe mit 50 % Trockengehalt einzubringen ist.

In einer Pappenfabrik, die beispielsweise preßspanartige Pappe aus braunem (gedämpften) Holzschliff erzeugt, werden für 1 kg Pappe mit der handelsüblichen Feuchtigkeit von 12% (also 88% Trockengehalt) 1,4 kg Holz gebraucht. Der Kraftbedarf für das Schleifen des Holzes beträgt 1,1 bis 1,3 also im Mittel 1,2 PSst, d. h. zur Erzeugung des in einem kg lufttrockener Pappe enthaltenen Holzschliffes ist etwa 1 PSst notwendig. Weiter wird noch 1 PSst aufgewendet für die übrigen Maschinen (Kreissägen, Pappenmaschinen, Glättepresse, Trockner, Aufzüge und sonstige Hilfsmaschinen). Der Dampfverbrauch für das Dämpfen einerseits und das Trocknen andererseits ist mit rund 2,5 kg anzunehmen, so daß man in der bei chemischen Formeln üblichen Weise schreiben kann:

$$1,4 \text{ kg Holz} + \text{verschiedene Zusatzstoffe} + 2 \text{ PSst} + 2,5 \text{ kg Dampf} \\ = 1 \text{ kg braune geglättete Pappe.}$$

Die Papierherzeugung und die Halbstoffherzeugung gehören zu den Industrien, in denen durch Schaffung geregelter Kraft- und Wärmeverbrauchsverhältnisse einschneidende Absenkungen der Gesteungskosten erzielt werden können. Dabei kommt es nicht auf die Anwendung zweckentsprechender Betriebsmittel für die Dampf- und Kraftherzeugung, sowie auf die herstellungstechnischen Einrichtungen zu sparsamer Wärmeverwendung allein an. Ebenso wichtig ist es, die Energiewirtschaft durch betriebstechnische Maßnahmen zu unterstützen. So benötigen z. B. einige Teilvorgänge beim Kochen und Bleichen des Zellstoffes eine bestimmte Zeit, die, soweit sie durch den chemischen Vorgang bedingt ist, nicht gekürzt werden kann. Dagegen können die Zwischenzeiten zwischen diesen Teilvorgängen bei sorgfältiger Betriebsführung in einer die gesamte Energiewirtschaft sehr günstig beeinflussenden Weise beschleunigt werden. An Ankochzeit kann dadurch gespart werden, daß sowohl der Menge als der Spannung

nach genügend Dampf vorhanden ist. Eine Verkürzung der Ankochzeit, während welcher etwa $\frac{1}{3}$ der Gesamtwärme verbraucht wird, verringert nicht nur die hier auftretenden Verluste, sondern ermöglicht auch eine wesentlich bessere Ausnützung der Anlage, hat also ohne Vermehrung der Betriebsmittel eine Erzeugungssteigerung zur Folge. Diese Erkenntnis war es, welche in diesen Industrien als ersten zur Verwendung von Dampfspeichern geführt hat. Die Betriebsführung der Kocherei wird von der augenblicklichen Kesselleistung unabhängig. Es wird ermöglicht, die chemischen Vorgänge so zu führen, wie es aus technologischen Gründen erforderlich ist. Auch durch die Reihenfolge und Aufeinanderfolge der einzelnen Kochungen ist die Betriebsführung nicht beeinträchtigt und alle Nachteile des Dampf mangels, welche auch auf die Güte des Kochgutes von Einfluß sind, werden vermieden. Diese Vorteile sind allerdings auch ohne Dampfspeicherung technisch erzielbar: es muß entweder eine so große Kesselheizfläche verwendet werden, daß auch die größte Spitze von ihr leicht bewältigt werden kann, oder aber müßten die Kochereinheiten klein bemessen und in entsprechender Zahl vorhanden sein, so daß die regelmäßige Aufeinanderfolge der Kochungen eine Vergleichmäßigung des Dampfverbrauches hervorruft. Diese Verhältnisse bedingen aber vielfach größere Kosten als Speicheranlagen. Die große und nur kurzzeitig ausgenützte Kesselheizfläche verteuert die Betriebskosten der Dampferzeugung, die Verwendung von vielen kleinen Kochern erleichtert, abgesehen von den höheren Betriebskosten, Unregelmäßigkeiten in der Qualität des Kochgutes und steht den auch aus anderen Gründen berechtigten Bestrebungen nach Verwendung größter Kochereinheiten entgegen.

Die Vor- und Nachteile beider Lösungen müssen in jedem einzelnen Falle auch mit Rücksicht auf die Ausnutzung der bestehenden Kessel und Kocheranlagen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

Für eine geregelte Wärmewirtschaft, insbesondere in der Zellstoffindustrie, erweist sich häufig die Dampfspeicherung als wirtschaftlich. Diese Industrie ist mit ihrem stark schwankenden Dampfverbrauch für Fabrikationszwecke bei gleichzeitiger Kupplung der Kraft- und Wärmewirtschaft unter Verwendung von Gegendruckmaschinen als Schulbeispiel erfolgreicher Anwendbarkeit des Gefällspeichers zu bezeichnen. Viele alte Anlagen sind durch Aufstellung von Speichern wesentlich wirtschaftlicher und vor allem leistungsfähiger gestaltet worden; Neuanlagen der Zellstoffindustrie, insbesondere solche mit verhältnismäßig wenigen, aber großen Kochereinheiten werden kaum ohne Dampfspeicher erstellt werden.

In Abb. 26 ist das Schema einer kleinen Zellulosefabrik dargestellt. Diese Fabrik, die kurz vor dem Kriege gebaut wurde, hat eine für die damaligen Verhältnisse zeitgemäße Kraft- und Wärmeeinrichtung. Der Dampf wurde mit 11 atü

in Batteriekesseln mit zusammen 360 m^2 Heizfläche erzeugt, ein Teil davon als überhitzter Dampf in einer Tandemmaschine mit Zwischendampfentnahme und Kondensation verarbeitet, der größere Teil als Sattedampf der Kocherei zugeführt. Die Tagesproduktion betrug 22 t und es wurden je 1 kg lufttrockenen ungebleichten Zellstoff 6100 WE, auf die verbrauchte Kohle bezogen, benötigt; hierzu standen 2 Kocher mit je 6000 kg Ausbeute in Betrieb. Nach erfolgtem Umbau der Anlage verfügt die Fabrik nunmehr über 400 m^2 Kesselheizfläche. Der erzeugte Dampf von 32 atü wird in einer Gegendruckmaschine von 600 kVA bis auf 8 atü verarbeitet. Der neu aufgestellte Speicher von 200 m^3 Inhalt hat 11300 kg Speichervermögen. Die Tageserzeugung konnte, nachdem auch ein weiterer Kocher für 10000 kg Ausbeute aufgestellt worden war, auf 35 t gesteigert werden, die Wärmeverbrauchsdaten ergaben sich im Durchschnitt zu 4340 WE je 1 kg lufttrockenen,

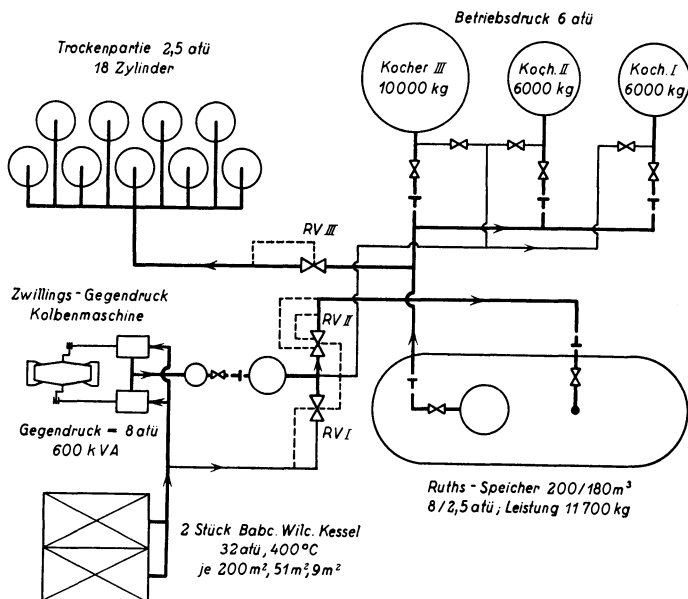


Abb. 26. Schema der Dampfkraftanlage mit Ruths-Speicher in einer Zellstofffabrik.

ungebleichten Zellstoff. Es ist also eine um 60% höhere Erzeugung und gleichzeitig eine Wärme- bzw. Kohlenersparnis von 40% erzielt worden.

Die Anordnung und Schaltung ist aus der schematischen Zeichnung ersichtlich (siehe übrigens auch die Ausführungen auf S. 261). Die Speicherschaltung zeigt gegenüber sonstigen Anlagen dieser Art eine bemerkenswerte Abweichung. Statt der gemeinsamen Zu- und Ableitung, die sonst nur unmittelbar beim Speicher geteilt ist und einerseits in den Körper einmündet, andererseits vom Dom weggeht, sind hier zwei getrennte Leitungen geführt, so daß der gesamte Auspuffdampf der Maschine gezwungen wird, seinen Weg zunächst durch den Speicher zu nehmen und dann erst an die einzelnen Verbrauchsstellen zu kommen. Dadurch wird eine praktisch vollkommen genügende Nachentölung erzielt: Der Speicher besitzt in seinem Innern eine sinnreiche Anordnung von Sammelrohren, welche die Ölentfernung ohne weiteres gestatten.

Ähnliche Vorteile wurden in einer tschechoslowakischen Zellulosefabrik erzielt. Hier wurden bestehende Babcockkessel für 15 atü durch Austausch der Ober-

kessel auf 22 atü umgebaut, eine Dampfmaschine, die mit 8 atü Gegendruck arbeitet und ein Dampfspeicher aufgestellt. Die Wärmeverbrauchszahl, die früher 8050 WE betrug, konnte auf 5233 WE je 1 kg lufttrockener Zellulose heruntergebracht werden¹⁾. Auch von Papierfabriken liegen schon zahlreiche Betriebsdaten über erfolgreich durchgeführte Verbesserungen im Zusammenhang mit Gegendruckkraftherzeugung bzw. Dampfspeicherung vor.

IV. Textilindustrie.

Die Textilindustrie ist eine Veredelungsindustrie, die die überwiegend aus dem Ausland bezogenen Rohstoffe durch kraft- und wärmeverbrauchende Verarbeitungsvorgänge in Fertigerzeugnisse verwandelt. Bei dem außerordentlich großen Bedarf an Textilerzeugnissen für Bekleidung und andere Zwecke und dem schnellen Verschleiß dieser Waren spielt die Textilindustrie nach Gesamtumsatz und Zahl der beschäftigten Arbeiter in der deutschen Volkswirtschaft eine bedeutende Rolle. Der Jahresumsatz der gesamten Textilindustrie betrug beispielsweise in Deutschland im Jahre 1928 zwischen 8 und 9 Milliarden Reichsmark, wobei etwa für 3 Milliarden Mark ausländische Roh- und Halbstoffe eingeführt werden mußten. Demgegenüber konnte der für Rohstoffzufuhr erforderliche Markbetrag durch die immerhin bedeutende Wiederausfuhr von Fertigwaren in Höhe von 1,7 Milliarden Reichsmark nicht ausgeglichen werden, so daß auch für die volkswirtschaftliche Schlußrechnung die Verminderung der Selbstkosten der Textilindustrie zur Erleichterung der Ausfuhrfähigkeit eine hervorragende Bedeutung hat. Die Textilindustrie, die bereits in der Vorkriegszeit rund 14% der gesamten Arbeiterschaft beschäftigte, umfaßte im Jahre 1928 in Deutschland 1,2 Millionen Erwerbstätige.

Wenn auch das Kohlen- und Stromkonto in der Textilindustrie gegenüber dem auf der Fertigware ruhenden Rohstoff- und Lohnkostenanteil keine überwiegende Rolle spielt (in der Baumwollindustrie betragen die Kosten für den mechanischen Antrieb 6 bis 8% der gesamten Herstellungskosten des Fertigerzeugnisses), so sind in mittleren und größeren Betrieben die jährlichen für Kraft und Kohle aufzuwendenden Gesamtsummen doch so beträchtlich, daß die gute Durchbildung der Kraft- und Wärmewirtschaft auch für die Wirtschaftlichkeit und Herstellungsfähigkeit der Einzelbetriebe nicht vernachlässigt werden darf. Der Kraft- und Wärmeverbrauch ist in der Textilindustrie besonders vielgestaltig und bietet gerade deswegen viele Möglichkeiten, unverständlich zu arbeiten, und infolgedessen auch entsprechende Angriffspunkte, Betriebe von vornherein ertragereicher zu gestalten oder in

¹⁾ Hefner, Ing.: Umbau der Dampfkraftanlage einer Zellulosefabrik. Wochenblatt f. Papierfabrikation 1926, Nr. 49.

bestehenden Betrieben Ersparnisse zu erzielen. Die Kraft- und Wirtschaft ist dabei auch für Betriebe, die gleichartige Erzeugnisse herstellen, je nach Umfang, örtlichen Verhältnissen und Entwicklungsgeschichte recht verschiedenartig. In der Textilindustrie überwiegen die Werke mittlerer Größe, so daß die Gesichtspunkte, wie sie für Großkraftwerke in Frage kommen, für viele Textilbetriebe nicht ohne weiteres anwendbar sind.

Die gesamten Heiz-, Trocken- und Kochvorgänge in der Textilindustrie erfolgen mit Ausnahme der Sengerei mittels mehr oder weniger hochgespanntem Dampf, so daß mit Rücksicht auf die ohnehin erforderliche Dampfkesselanlage auch für die Betriebskraft die Dampfmaschine oder bei großen Betrieben die Dampfturbine die von vornherein gegebene Maschinenart ist. Hier liegt also für alle Formen der Abdampfverwertung ein ausgedehntes Anwendungsgebiet vor. Das hierfür wichtige Bild des Kraft- und Dampfverbrauchs wird nachstehend für die verschiedenartigen Textilbetriebe erörtert. Für jene Zweige der Textilindustrie, die überwiegenden Kraftbedarf haben, wie die Spinnerei und die reine Weberei, kommen mitunter neben der Dampfkraft auch Verbrennungskraftmaschinen und, wo vorhanden, auch Wasserkräfte oder Fremdstrombezug als wirtschaftliche Energieversorgung in Frage.

Die zahlreichen Einzelvorgänge in der Herstellung der Textilerzeugnisse können in drei Hauptgruppen unterteilt werden: die Spinnerei, die Weberei und die Veredelung (Ausrüstung).

Die Spinnerei bedingt überwiegenden Kraftbetrieb mit geringem Wärmebedarf, die Weberei (ohne Nebenbetriebe) ebenfalls überwiegenden Kraftbetrieb, jedoch mit verhältnismäßig größerem Wärmebedarf, die Veredelung überwiegenden Heiz- und Wärmebedarf mit geringem Kraftbedarf. In der Schafwollindustrie ändern sich die Verhältnisse insofern, als hier der Kraftbedarf im allgemeinen höher ist.

Je nachdem ein Industrierwerk Arbeitsvorgänge nur aus einem der drei Hauptgebiete vornimmt oder Arbeitsvorgänge, die sich aus den drei Gruppen mehr oder weniger überdecken, verschiebt sich das kraft- und wärmetechnische Bedarfsbild. Ebenso spielen für die Höhe und die Schwankungen des Kraft- und Wärmebedarfs die Art der Ware sowie Umfang und Regelmäßigkeit des Betriebes eine ganz wesentliche Rolle. Ungefähre Anhaltzahlen über den Kraft- und Wärmebedarf der einzelnen Vorgänge werden nachstehend kurz behandelt.

Spinnerei und Vorbereitung.

Das Enderzeugnis der Spinnerei ist der aus dem Rohstoff zu gewinnende gleichmäßige Faden von einer Festigkeit, die das Verweben ermöglicht. Der Rohstoff (die Fasern der Schafwolle, Baumwolle, ver-

schiedene Bastarten, wie Flachs, Jute, Hanf, Nessel u. a., der Seide und der Rohstoffe für die Kunstseide) müssen durch die Vorbereitungsarbeiten in einen für das Verspinnen geeigneten Zustand gebracht werden. Diese Vorbereitung bedingt für Schaf-, Baumwolle und Seide hauptsächlich Reinigungs- und Ordnungsvorgänge. Baumwolle muß beispielsweise aus den gepreßten Ballen gelockert und von Unreinlichkeiten befreit werden (durch Ballenbrecher, Schlager, Öffner). Die Schafwolle muß durch Waschen und Spülen entfettet und gereinigt, durch Karbonisierung entklettet und durch sogenannte Wölfe gelockert werden. Bastfasern werden nach entsprechenden Röstvorgängen durch Brechen und Schwingen von Holz befreit u. dgl. Derartige Vorbereitungseinrichtungen erfordern überwiegend Kraft. Bei der Kunstseide bedingt die Vorbereitung der Zellstofffaser zur spinnfähigen Lösung chemische Vorgänge mit Wärmebedarf, zum Teil auch mit Kältebedarf. Die Spinnlösung wird durch feine Düsen gespritzt und erzeugt unmittelbar den weiter zu verspinnenden Faden.

Der anschließende Vorbereitungsvorgang der Spinnerei betrifft das Ordnen der gereinigten und gelockerten Einzelfasern zu einem möglichst gleichmäßigen Band. Diese Arbeitsvorgänge finden in sogenannten Karden, Krempeln, Streckwerken u. dgl. statt, Einrichtungen, die ebenfalls ausschließlich Kraft erfordern. Mitunter werden aber schon vor dem Verspinnen die losen Fasern gefärbt, ein Vorgang, zu dem überwiegend nur Wärme (vgl. nachstehend unter Färberei) gebraucht wird.

An die Vorbereitung schließt sich der eigentliche Spinnvorgang an, meist unterteilt in das Vor- und Feinspinnen. Hierbei wird zunächst beim Vorspinnen ein Garn geringerer Festigkeit und Feinheit gebildet, aus welchem dann in der anschließenden Feinspinnerei ein Faden von der erwünschten Feinheit und Festigkeit erzeugt wird. Die Vorspinnerei, bei der die Spinnmaschinen (Flyer) dem Faserband die nötige Drehung (Draht) geben, erfordert überwiegend Kraft bei sehr hohen Anforderungen an gleichbleibende Umdrehungszahlen. Das Vorspinnen wird gewöhnlich durch drei Gruppen von Maschinen, Grob-, Mittel- und Feinflyer, besorgt. Die weitere Verfeinerung und Verfestigung des Garnes in der Feinspinnerei findet entweder auf Selfaktoren (Spinnmaschinen mit unterbrochenem Arbeitsvorgang), auf Ringspinnmaschinen für Baum- und Schafwolle oder auf Flügelspinnmaschinen für Jute, Hanf, Flachs und Seide statt. Das fein gesponnene Garn wird mitunter noch auf besonderen Zwirnmaschinen von ähnlicher Bauart wie die Flügel- und Ringspinnmaschinen, jedoch mit höherem Kraftbedarf, zwei- und mehrfach zusammengedreht.

Die Vorbereitungs- und Spinnmaschinen selbst erfordern nur Kraft, und zwar erfordert die Vorbereitung einen recht erheblichen Anteil des Gesamtkraftbedarfes (siehe S. 125 u. 127), während heiz- oder wärmetech-

nische Vorgänge dabei nicht vor sich gehen. Wärme ist in der Spinnerei nahezu nur für die Raumheizung erforderlich. Dabei spielt der Heizbedarf auch bei größten Werken, bei denen ausgedehnte Mehr-Stockwerksbauten zu erwärmen sind, im Verhältnis zum Wärmeverbrauch für die Krafterzeugung nur eine verhältnismäßig geringe Rolle. Bei den Flügel- und Ringspinnmaschinen wird der größte Teil der Spindelarbeit in Wärme umgesetzt, die die Raumbeheizung mit bewirkt. Abgesehen vom Anheizbedarf, namentlich nach Stillstandstagen, bis zum Flüssigwerden des Öles in den zahlreichen Lagern, ist daher der durch zusätzliche Beheizung zu deckende Wärmebedarf der Spinnerei ungewöhnlich gering. Bei Selfaktorbetrieben ist dagegen vielfach mit größerem Raumheizbedarf zu rechnen, jedoch sind die Ansichten über die Zweckmäßigkeit hoher Raumtemperatur im Selfaktorbetrieb noch nicht einheitlich. Die in den Spinnereien erforderliche Luftbefeuchtung kann in einfacher und kraftsparender Weise mit der Heizungsanlage vereinigt werden, wenn die Raumheizung durch eingeblasene Warmluft gedeckt wird. Im allgemeinen muß in Spinnsälen zur Erzielung genügender Garnfestigkeit ein hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft eingehalten werden, der sich in der Baumwoll- und Jutespinnerei um etwa 70% relative Feuchtigkeit, in der Leinenspinnerei um etwa 65%, in der Kammgarnspinnerei sogar zwischen 80 und 90% bewegen muß. Wenn auch der Wärme- und Kraftaufwand für die Luftbefeuchtung nicht in die Waagschale fällt, ist doch die Beobachtung richtiger Luftfeuchtigkeit gerade für die Güte der Garne von einer oft unterschätzten Bedeutung. Einzelne Fachkreise führen die guten Eigenschaften englischer Gespinnste zum Teil auch auf die Witterungseigentümlichkeiten Englands zurück.

Der Kraftbedarf der Vorbereitungs- und Spinnereimaschinen kann etwa nach folgenden Durchschnittsziffern in seinen Grenzen beurteilt werden:

Zahlentafel 21.

Baumwollöffner einfach	4 PS
Baumwollöffner doppelt	8 PS
Batteurs (Schlagmaschinen)	4—8 PS
Baumwoll-Karde	1 PS
Woll-Krempel je nach Arbeitsbreite	1½—3 PS
Jute-Karden	5 PS
Baumwoll-Strecken (je nach Ablieferungen)	1—2 PS
Jute-Strecken (je nach Köpfen)	2—3 PS
Wollwaschmaschinen (Leviathan) je Bottich etwa	2—2½ PS
also für eine Batterie von 5 Bottichen	10—12 PS

Außer dem in weiten Grenzen schwankenden Kraftbedarf der einzelnen Maschinen selbst ist noch zu beachten, daß mitunter nur mit einer geringen Gleichzeitigkeitszahl der Betriebsmaschinen zu rechnen ist.

Bei den Strecken sind beispielsweise bis zu 40 % der Maschinen jeweils außer Betrieb.

Der Kraftbedarf der Spinnmaschinen ist in erster Linie von der Anzahl der Spindelumdrehungen abhängig¹⁾. Beispielsweise sind normale Ziffern der Baumwollspinnerei:

Zahlentafel 22.

Grobflyer 550—600 Touren	je 100 Spindeln	2,0 PS
Mittelflyer 750 Touren	„ 100	„ 1,5 PS
Feinflyer 1000 Touren	„ 100	„ 1,2 PS
Extrafeinflyer 1100—1200 Touren	„ 100	„ 1,0 PS
Ringzwirnmaschinen	„ 100	„ 0,5—1 PS

Für den Kraftbedarf der Spinnmaschinen ist die Sorgfalt der Aufstellung und der Lagerinstandhaltung besonders wichtig. Schlecht aufgestellte oder in bezug auf Lagerinstandhaltung wenig gepflegte Spinnereianlagen können bis zu $\frac{1}{3}$ höheren Kraftbedarf ergeben als bei regelrechten Verhältnissen. In einer Spinnerei mit 900 PS Gesamtkraftbedarf wurde z. B. durch sorgfältige Neuaufstellung der Spinnmaschinen der Leerlauf um 150 PS, der Gesamtkraftbedarf also auf 750 PS verringert.

Zahlentafel 23. Kraftbedarf

Art des Betriebes	betriebene Spindelzahl	insgesamt Spindeln
	R = Ringspindel S = Selfaktoren Z = Zwirnspindel	
Baumwolle veraltete, verzweigte Betriebe	46400 R 65200 S	111600
Baumwolle mittelgroße, normale Kraftübertragung	23000 R 16500 S	39500
Baumwolle mittelgroße, veraltete, sehr ungünstige Transmission	23500 R 4900 S	28400
Baumwolle mittelgroße, normale Transmission	15400 S 12600 R 4500 Z	32500
Wolle Kammgarn, gute Übertragung	29200 R	29200
Streichgarn Wolle u. Baumwolle, kleiner Betrieb, gute Transmission	7350 S (16 Selfaktoren)	7350

¹⁾ Für Flyer gilt annähernd die Formel $n \cdot N = 1150$, wenn n die Drehzahl und N den Kraftbedarf in PS je 100 Spindeln bedeutet.

Selfaktoren haben im Gegensatz zu den übrigen Spinnmaschinen einen Kraftbedarfsverlauf, der für jedes etwa 13 bis 17 Sekunden dauernde Arbeitsspiel stark wechselt. Beim ersten Arbeitsgang, dem sogenannten Ausfahren, tritt beispielsweise ein mittlerer Kraftbedarf während 2 bis 3 Sekunden bis zu 10 oder 12 PS auf, der beim Nachdraht auf 6 PS und beim Einfahren auf 2 bis 3 PS absinkt. Durch Gruppenantrieb mehrerer Selfaktoren werden derartige Kraftstöße abgeschliffen, so daß z. B. beim Gruppenantrieb von vier Selfaktoren des beschriebenen Kraftbedarfs sich ein ziemlich gleichbleibender mittlerer Kraftbedarf von insgesamt etwa 25 PS ergibt. Dieser mittlere Energiebedarf von Selfaktoren ist je nach Anzahl und Drehzahl der Spindeln sehr verschieden. Der Kraftbedarf steigt mit der Spindelzahl und der Drehzahl, und zwar mit der Spindelzahl schneller als mit der Drehzahl.

Die Flügelfeinspinnmaschinen erhalten neuerdings überwiegend Einzelantrieb mit einem Kraftbedarf von 5 bis 8 PS, ebenso die Ringspinnmaschinen (5 bis 10 PS) und die Zwirnmaschinen (4 bis 10 PS).

Für die Jutespinnerei liegen die Kraftbedarfszahlen höher. Karden der Juteverarbeitung erfordern 5 PS und Streckwerke 2 bis 3 PS, die Spinnmaschinen zwischen 2 bis 5 PS für 10 Spindeln. Selfaktoren der Wollspinnerei benötigen im Mittel $1\frac{1}{2}$ PS für 100 Spindeln.

von Spinnereien.

Kraftbedarf		Kraftbedarf für 100 Spindeln einschl. Vorbereitung	Dampfbedarf in kg/st	
ohne Licht PS ₁	Leerlauf		Schlichterei	Raumheizung im Mittel
2875	zu groß	2,6 PS ₁	1200	6000 ¹⁾
905	normal	2,3 PS ₁	900	—
870	35% (zu groß)	3,1 PS ₁	—	1500
580	normal	1,8 PS ₁	—	1300
700	normal 26%	2,4 PS ₁	—	1500
175	13%	2,4 PS ₁ ²⁾	—	400

¹⁾ Besonders verzweigte Shedbauten.

²⁾ Davon auf: Krempel 1,08 PS₁, Wölfe 0,07 PS₁, Selfaktoren 0,89 PS₁, Leerlauf usw. 0,36 PS₁.

Zur besseren Veranschaulichung über den Gesamtkraft- und Wärmebedarf der Spinnerei sind in der Zahlentafel 23 Untersuchungsergebnisse aus verschiedenen Werken zusammengestellt. Der große Einfluß der mehr oder weniger guten Kraftübertragungsverhältnisse bei älteren und neueren Werken geht daraus hervor. Der Gesamtkraftbedarf für 100 Spindeln einschließlich Vorbereitung bewegt sich um 2,3 PS₁.

Weberei.

Die Weberei hat die Aufgabe, den von den Spinnmaschinen hergestellten Faden (Garn) zu Stoffbahnen zu verbinden. Als Vorbereitung hierzu dient die Herrichtung der Kette oder Zettel, eine Anordnung gleichlaufend gerichteter Längsfäden in verschiedener Breite, durch die auf den Webstühlen der Schuß in verschiedenen „Umschlingungen“ (Bindungen) quer durchgeführt wird. Die Art und Mannigfaltigkeit der Durchkreuzung und Umschlingungen von Schußfäden und Kettenfäden bedingt das Aussehen und die Eigenschaft des fertigen Gewebes. Die Vorbereitungsmaschinen für die Weberei bezwecken die Herrichtung der Kette (Spulen oder Zetteln, Schlichten oder Leimen, Aufbäumen, Einziehen und Ansnüren). Die Spulmaschinen erfordern einen Kraftbedarf von $\frac{1}{2}$ bis 3 PS. Das Abziehen der Fäden von den Spulen und das Aufwickeln auf den Scherbaum erfolgt auf den Zettelmaschinen mit geringem Kraftbedarf von etwa $\frac{1}{2}$ PS.

Der hauptsächlichste Wärmeverbraucher dieser Abteilung ist die Schlichtmaschine, auf der die Kettenfäden mehrerer Scherbäume in der für die Stoffbreite erforderlichen Menge vereinigt und zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen die Beanspruchungen beim Webvorgang durch ein Bad (Kleister, Leim) durchgezogen und mit Heißluft getrocknet werden. Kraft- und Dampfbedarf richten sich nach der Größe der Maschinen und ihrer Leistungsfähigkeit. 4 bis 7 PS bzw. 150 bis 400 kg/st Dampf von 1,5 bis 5 atü dürften für die üblichen Maschinengrößen gelten.

Bisweilen werden die Garne vor dem Verweben über eine Sengmaschine zur Entfernung der feinen Fäserchen geleitet, die zur Erhitzung der Sengwalze mit Benzin, Gas oder elektrischem Strom beheizt wird. Der Wärme- und Kraftbedarf der Sengmaschine ist nicht erheblich. Häufiger wird indes erst das Fertiggewebe abgesengt. Bisweilen findet auch ein Waschen, Bleichen und Färben der Garne oder Ketten, ebenso ein Verwinden der Stränge (Weifen) statt.

Das eigentliche Verweben findet auf den Webstühlen statt, auf denen die Kette in zwei Fadenschichten zerlegt wird, durch die mittels der Schütze der Querschnitte des Schußgarnes gezogen wird. Die Art, wie die Kettenfäden vor dem Durchschießen (Einschlagen) der Schußfäden gesteuert werden, ebenso die verschiedene Art und Farbe der Schuß-

fäden bedingen die Vielgestaltigkeit der herzustellenden Muster und der entsprechenden Webstuhlarten. Der Kraftbedarf der Webstühle ist von der Art des Rohstoffes, von der Schwere und Breite der Ware abhängig und bewegt sich für durchschnittliche Verhältnisse etwa in den nachstehenden Grenzen:

Zahlentafel 24.

Baumwoll-Webstühle	0,25—0,3 PS
Leinen-Webstuhl	0,25—0,5 PS
Jute-Webstuhl	0,3 —0,75 PS
Kammgarn-Webstuhl	0,25—0,3 PS
Tuchstühle	0,3 —0,5 PS
Seiden-Webstühle	0,2 —0,3 PS

Der früher allgemein gebräuchliche Triebwellenantrieb hat dem elektrischen Gruppen-, häufig auch Einzelantrieb der Stühle allmählich Platz gemacht, wobei man bei Einzelantrieb neben der Ausbildung der Motoren und des Riemen- und Zahnradantriebes auf die auftretenden Stöße bei An- und Abstellungen besondere Rücksicht nehmen muß (Riemenwippe, Gleitkuppelung u. a.). Jedem der beiden Antriebe (Gruppen- und Einzelantrieb) werden zahlreiche Vor- und Nachteile zugesprochen. In der Baumwollweberei hat sich der elektrische Einzelantrieb bereits ziemlich allgemein durchgesetzt und neuerdings wird er auch in der Schafwollweberei mehr bevorzugt. Trotzdem wird diese Frage eine restlose Klärung nie allgemein gültig erfahren, da zu viele Nebenumstände mitspielen.

Die Websäle erhalten vielfach Luftbefeuchtung; der Raumheizbedarf ist für die ausgedehnten Shedbauten meist erheblich.

Veredlung (Ausrüstung).

Die sich an die Weberei anschließenden Reinigungs-, Verschönerungs- und sonstigen Veredlungsvorgänge sind im wesentlichen die folgenden: Die Rauherei (leichtes Aufreißen der Gewebe zur Erzielung weicher, pelzartiger Oberfläche), die Wäscherei, die Entschlichtung und Bleicherei, die Druckerei, die Färberei und die unter die Sammelbezeichnung „Appretur“ fallenden Vorgänge, die durch Durchtränken (Imprägnieren), Dämpfen, Krimpen (Dekatieren), Pressen, Glätten u. dgl. der Ware die letzte Vollendung in bezug auf Aussehen, Griff und Haltbarkeit geben.

Im Gegensatz zur Spinnerei und Weberei erfordern diese Veredlungsvorgänge nur verhältnismäßig geringen Kraftaufwand, dagegen überwiegend Dampf und Wärme, vor allem auch für die zwischen den Einzelvorgängen wiederholt auftretende Trocknung. Die Rauherei und Druckerei beanspruchen nur kleinen Dampfverbrauch zum Anheizen von Walzen und für das Dämpfen der Ware, ebenso die meisten Appretur-

maschinen. Dagegen fallen die Trockeneinrichtungen in der Wäscherei, Bleiche und Färberei als Stellen beträchtlichen Dampfverbrauchs ins Gewicht. Diese Trockeneinrichtungen können, gegebenenfalls nach Anpassung des Leitungsnetzes, der Dampfanschlüsse und der Heizflächen, fast alle mit niedrig gespanntem Abdampf betrieben werden, ebenso ist die Warm- und Heißwasserbereitung und die Laugenvorwärmung in der Bleicherei unter nahezu ausschließlicher Verwendung niedrig gespannten Abdampfes, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung einfacher Heißwasserspeicher, durchführbar. In der Färberei könnte auch das Weitererwärmen und Kochen der Flotten grundsätzlich mit niedrig gespanntem Abdampf erfolgen, da höhere Temperaturen als 100°C nicht erforderlich werden und die häufig durch Einblasen hochgespannten Dampfes erfolgte Umwirbelung des Flotteninhaltes durch wirtschaftlichere Mittel erfolgen könnte. Vielfach behindert jedoch das mit engen Querschnitten durchgeführte Leitungsnetz und bei Betrieb mit Kolbenmaschinen auch der Ölgehalt des Abdampfes die restlose Abdampfversorgung der Färberei, im übrigen auch der stoßweise Dampfbedarf, wo er nicht durch Heißwasserspeicherung abgemildert ist. Es sei erwähnt, daß viele Färbereien mit Kolbenmaschinenabdampf nach sachgemäßer Entölung auch für empfindliche Farben ohne Störung arbeiten (vgl. Bd. I, S. 189 und Bd. II, S. 35).

Die Bleichkessel erfordern dagegen eine Dampftemperatur entsprechend einem Druck von 3 bis 4 atü, so daß sie in Anlagen, bei denen nicht ein Entnahmedruck in dieser Höhe eingehalten werden kann, also in der überwiegenden Anzahl der bestehenden älteren Textilbetriebe mit niedrigem Kesseldruck, mit Frischdampf beheizt werden. Das gleiche trifft für solche Trockeneinrichtungen, insbesondere für Spannrahmen, zu, die von vornherein für höheren Druck entworfen sind.

Während in den überwiegenden Kraftbetrieben der Spinnerei und Weberei die hauptsächlichen Verbilligungsmöglichkeiten in der Niedrighaltung der Leerlaufs- und Übertragungsverluste bestehen, liegt in den Ausrüstungsbetrieben die wärmewirtschaftliche Hauptaufgabe in der weitgehenden Durchbildung der Abdampfverwertung und der Verminderung des zusätzlichen Frischdampfverbrauches für Trockeneinrichtungen, Bleicherei und Färberei.

Wie schon vielfach erwähnt, werden auch hier durch eine tatkräftige Verfolgung des Bestrebens mit möglichst geringen Dampfspannungen in der Fabrikation auszukommen, die größten Erfolge erzielt werden können. Man stößt aber auf dem Gebiete der Textilindustrie, besonders in vielen Fragen der Dampf- und Wärmeverwendung auf Vorurteile, die sich, ohne eine richtige physikalische Begründung zuzulassen, von einem auf den anderen übertragen und schließlich zu Gepflogenheiten werden, gegen welche überaus schwer angekämpft werden kann. Der

beratende Ingenieur ist bei der Durchführung der von ihm empfohlenen Maßnahmen und bei der Feststellung der hierdurch erzielten Erfolge auf die Mitarbeit des im Betriebe tätigen Sonder-Fachmannes angewiesen, der sich auch bei bester Absicht schwer von seinen bisherigen Grundsätzen trennt. Hierzu kommt, daß bei vielen Einrichtungen, die in der Veredlungsindustrie verwendet werden, verwickelte chemische und wärmetechnische Vorgänge vor sich gehen und kleine Fehler, welche in der Bedienung gemacht werden, Folgen nach sich ziehen, die die gänzliche Unbrauchbarkeit eines oder mehrerer Gewebestücke, also einen großen Schaden bedeuten. Zu den Einrichtungen dieser Art gehören beispielsweise die „Matherplatt-Apparate“, in denen die bedruckten Gewebe der Einwirkung des Dampfes ausgesetzt werden, um gewisse chemische Veränderungen im Farbstoff zwecks Erzielung gewisser Wirkungen, insbesondere Dauerhaftigkeit, Echtheit u. dgl. zu erreichen. Von größter Wichtigkeit ist bei diesen Kammern die Vermeidung von Kondensattropfen, durch welche Flecken auf dem Gewebe entstehen. Ferner ist eine möglichst gleichmäßige Dampf Atmosphäre im Raum erforderlich. Viele Koloristen beanspruchen für diese Zwecke eine gesonderte Dampferzeugung, die in kleinen Dampferzeugern neben den Einrichtungen vor sich geht, da angeblich schon die kleinen Spannungsschwankungen, die in den Dampfrohrleitungen betriebsmäßig vorkommen, von Nachteil auf die Gleichmäßigkeit sind. Im Grunde genommen sind die für diese und auch für manche andere Einrichtungen zu stellenden Forderungen hinsichtlich der Dampfeigenschaften noch keineswegs eindeutig festgelegt, und es sind hier noch offene Fragen der Textilchemie zu lösen¹⁾.

Aber nicht nur Wärme, sondern auch Kälte wird in der Textilveredlung benötigt. Gewisse Färbungen werden in Vorgängen bei eiskalten Temperaturen (eisrot) erzielt, so wie denn überhaupt das ganze Gebiet der Textilveredlung eine Mannigfaltigkeit aufweist, wie sie wohl kaum in einem anderen Industriezweig aufzufinden sein dürfte.

Der normal anzutreffende Dampfverbrauch der hauptsächlichsten Trocknungseinrichtungen bewegt sich in folgenden Grenzen:

Die Schlichtmaschinen haben je nach Größe, System und Ketten schwere und je nach dem Grad des Umluftbetriebes einen Dampfverbrauch von 150 bis 400 kg je Stunde einschließlich Schlichtekochung.

Die Spannrahmen, die ebenfalls zweckmäßig mit weitgehendem Umluftbetrieb arbeiten, haben je nach Geschwindigkeit und Waren schwere einen stündlichen Dampfverbrauch zwischen 150 und 400 kg

¹⁾ Näheres siehe in den Berichten des Arbeitsausschusses für Textilindustrie der österreichischen Gesellschaft für Wärmewirtschaft. Sparwirtsch. 1927, H. 3, 5 und 12.

für Einetagenrahmen, Mehretagenrahmen mit 2 bis 5 Feldern bedingen einen Stundenverbrauch zwischen 200 und 650 kg Dampf.

Kammertrockner erfordern je Kammer etwa 50 kg, Schubladentrockner 30 bis 50 kg je Stunde.

Ganz verschiedenartig sind die Dampfverbrauchsverhältnisse bei Hängen, die meist ohne geregelte Luftbewegung arbeiten und die nach Art und Größe der eingebauten Heizflächen, des Rauminhaltes und der Außenwandungen und Fensterflächen einen ganz verschiedenen Wärmebedarf aufweisen. Der Wirkungsgrad bewegt sich in außerordentlich weiten Grenzen, die praktisch zwischen 10 und 65% angetroffen werden, entsprechend 1,5 bis 12 kg Dampf je kg angetriebenes Wasser. Häufig läßt sich durch entsprechende Luftbewegung und Absaugung gerade bei Hängen ein recht fühlbarer Rückgang des Dampfverbrauches erzielen, wobei indes auf die Empfindlichkeit der Ware gegen Luftbewegung und Zugscheinung große Rücksicht zu nehmen ist.

Zylindertrockenmaschinen haben je nach Anzahl und Abmessungen der Zylinder verschiedenartigen Dampfbedarf, beispielsweise für eine liegende 20-Zylinder-Maschine 400 kg/st, für eine stehende gleich große Maschine 450 kg/st, während eine stehende 15-Zylinder-Maschine der gleichen Zylinderabmessungen 350 kg/st, eine stehende 12-Zylinder-Maschine gleichen Zylinderdurchmessers, aber von halber Zylinderbreite 160 kg/st erfordert.

Muldenpressen, bei denen insbesondere auf gut schließende Kondensstöpfe geachtet werden muß, erfordern etwa 150 kg/st, Kalandere 20 bis 40 kg/st und je Walze.

Trockendekatiermaschinen verbrauchen einschließlich Dämpfkessel etwa 200 kg/st, ebensoviel die mittelgroßen Mansarden der Druckmaschinen.

Bei den sämtlichen bisher genannten Trockeneinrichtungen sind höhere Lufttemperaturen als 100° C überhaupt nicht erforderlich. Im allgemeinen kann man bei entsprechender Luftmenge mit 60 bis 70° C auskommen. Dagegen erfordern Karbonisier- und Oxydierapparate Lufttemperaturen bis zu 110° C.

Fast sämtliche Trockeneinrichtungen der Textilindustrie besitzen, wie für die Hänge bereits erwähnt, einen nur sehr geringen heiztechnischen Wirkungsgrad, er liegt oft nur zwischen 10 und 30%. Der Gehalt der Abluft an Wasserdampf entspricht dabei gewöhnlich nicht mehr als 15 bis 25% relativer Feuchtigkeit. Die Abluft könnte also bis zur Sättigung noch sehr erhebliche Wassermengen aufnehmen, statt mit ihrer hohen Temperatur nutzlos ins Freie zu entweichen. Auf S. 25 wurde bereits die weitgehende Anwendbarkeit des Umluftbetriebes, d. h. der Wiederrückführung eines Teiles der hoch erwärmten Abluft an Stelle der Zuführung kalter Frischluft besprochen. In Wirklichkeit

arbeiten aber noch viele ältere Einrichtungen, wie Spannrahmen, Mansarden, Hotflues usw. entweder ganz ohne Umluft oder auch dort, wo Umluftvorrichtungen vorhanden sind, mit unrichtig eingestellter Umluft. Der Dampfverbrauch und die Trockenleistungen derartiger Einrichtungen können daher durch einfache Maßnahmen vielfach wesentlich verbessert werden, z. B. durch Abdichtung der Falschluchtquerschnitte, Einstellen der richtigen Luftgeschwindigkeit, Luftbewegung und Luftführung, des richtigen Verhältnisses von Umluft- und Frischluftmenge, durch Zwischenbeheizung der rückgeführten Umluft u. dgl. Es ist bei derartigen Trockeneinrichtungen gar nicht selten, daß die vollständige Abstellung der Frischluft, also das Arbeiten mit reiner Umluft, keinen Rückgang der Trockenleistung bringt, wenn die Schlitze und Undichtheiten in der Trockeneinrichtung genügen, um den erforderlichen Frischluftzusatz einsaugen zu lassen. Gegenüber der meist gefühlsmäßigen Einstellung der Luft- und Heizverhältnisse kann bei genauer Durchmessung der Luftmenge, des Verlaufs der Lufttemperaturen und der Feuchtigkeit und bei gleichzeitiger Beobachtung des Warenausfalles mitunter ein Rückgang des Heizdampfverbrauches um 20% bis zu 50% erreicht werden.

Nahezu alle Dampfverbrauchsstellen der Ausrüstung können nach Anpassung der Heizflächen und Leitungsquerschnitte sowie gegebenenfalls bei Zuführung vorgewärmter Luft, mit Abdampf von 0,5 bis 2 atü oder Druckheißwasser entsprechender Temperatur versorgt werden, so daß dann nur noch die Färberei wegen Ölfreiheit und die Bleiche wegen höherer Temperatur der Frischdampfversorgung zur Last fallen.

Bei neueren Kessel- und Kraftanlagen ist meist die Möglichkeit gegeben, den Anzapf- und Gegendruck in einer entsprechenden Höhe von mindestens 4 atü zu halten und bei Turbinenanlagen auch Bleicherei und Färberei durch Abdampf zu betreiben. Der Frischdampfverbrauch der Bleicherei und Färberei kann dabei vielfach ebenfalls wesentlich herabgedrückt werden.

Der Hauptverbrauch der Bleichkessel entfällt auf die sogenannte Ankochzeit, d. h. auf das Anwärmen der kalt eingefüllten Lauge bis zur Kochtemperatur, die für mittelgroße Kessel gewöhnlich 1 bis 2 Stunden beansprucht. Das Anwärmen dieser z. B. zwischen 5000 und 10000 l enthaltenden Kochkessel wird auf möglichst kurze Zeit zusammengedrängt und verursacht daher erhebliche Dampfverbrauchsspitzen. Dagegen ist während der eigentlichen Kochdauer, bei der der Kesselinhalt nur auf Temperatur zu halten ist und die sich bis zu 10 Stunden erstreckt, der Dampfverbrauch verhältnismäßig gering. Der Hauptfrischdampfverbrauch in der Ankochzeit kann durch entsprechende Vorwärmung der Lauge mittels Abdampf ganz wesentlich verringert und

gleichzeitig die Ankochzeit unter Verbesserung der Warengüte entsprechend abgekürzt werden. Die Abb. 27¹⁾ zeigt die Verminderung von

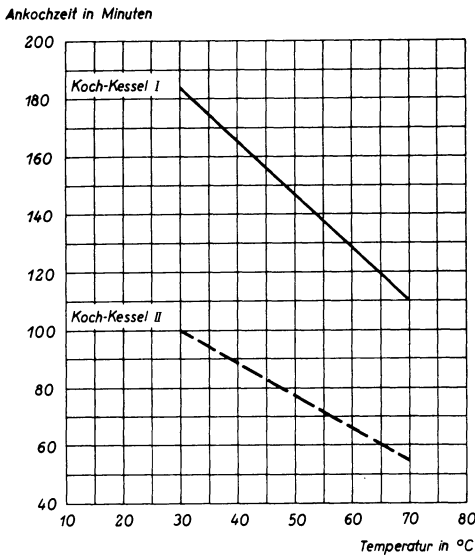


Abb. 27. Einfluß der Laugenvorwärmung auf die Ankochzeit.

für das Kochen der Flotten festzustellen, was schon äußerlich zu einer starken Vernebelung der Färbereiräume führt und damit zur

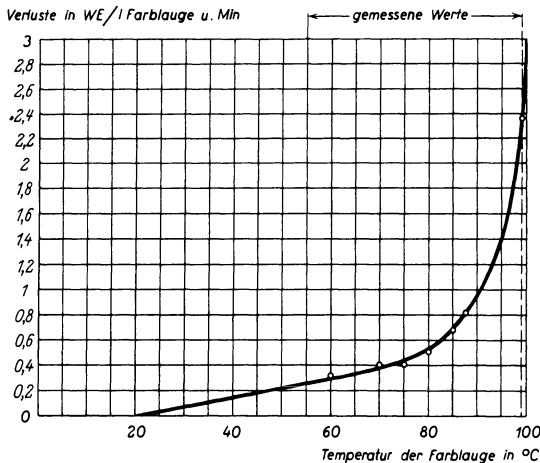


Abb. 28. Einfluß der Flottentemperatur auf die Abkühlungsverluste.

Kochdauer und Dampfverbrauch durch Vorwärmung der Bleichlauge.

Ähnlich läßt sich der Frischdampfverbrauch der Färberei oft weit unter das übliche Maß herabdrücken. Zunächst ist es vielfach möglich, die Flotten bereits mit Heißwasser von einer Temperatur von 40 bis 60° C anzusetzen, das unter Abdampfverwertung in einfachen Speichern bereitgestellt wird. Gewisse Farben verlangen allerdings kaltes Ansetzen. Weiterhin ist in der Färberei nahezu allgemein starke Dampfverschwendung bei der den Färbern unmittelbar überlassenen Wärmezufuhr

Errichtung von Entnebelungseinrichtungen zwingt. Zunächst kann der Dampfverbrauch durch Drosselung der

Dampfleitungsquerschnitte, dann aber auch durch Beschränkung der

Flottentemperaturen auf die wirklich erforderliche Höhe gebremst werden, denn der Hauptdampfbedarf in der

Färberei tritt durch die Schwadenbildung an der Oberfläche der Farb-

kufen ein, die bei einer

Temperatur über 70° C außerordentlich schnell ansteigt. Die Abb. 28

¹⁾ Nach Versuchen der Ingenieurgesellschaft für Wärmewirtschaft, Köln.

zeigt nach Versuchen der AEG Berlin¹⁾, daß beispielsweise bei einer Flottentemperatur nahe an 100° C die Schwadenbildung und damit der Dampfverbrauch etwa sechsmal so stark ist als bei einer Flottentemperatur von 70° C.

Es kann sonach durch sinngemäße wärmewirtschaftliche Maßnahmen dafür gesorgt werden, daß die durch Bleicherei und Färberei bedingten Dampfverbrauchsmengen und insbesondere die plötzlichen Spitzen wesentlich verringert werden, so daß sich ein verhältnismäßig nicht zu schwankendes Bild des Gesamtdampfverbrauchs ergibt. Die Abb. 29 bis 32 zeigen beispielsweise den Verlauf des Dampfbedarfs für Bleicherei, Färberei, Weberei mit Appretur und des Gesamtdampfbedarfs in einem großen gemischten Werk. Wo die Verhältnisse nicht so günstig liegen, also große Dampfverbrauchsspitzen und Täler nicht zu vermeiden sind, haben sich für große Anlagen sowohl Gefällespeicher, als auch Gleichdruckspeicher in gemischten Textilbetrieben zur Entlastung der Kesselanlage und zur Beschleunigung des Herstellungsvorganges gut bewährt und als wirtschaftlich erwiesen.

Die gemischten Textilbetriebe, die also für Spinnerei und Weberei großen Kraftbedarf und für die Ausrüstungsvorgänge erheblichen Dampfbedarf haben, bieten ein dankbares Feld für die gekuppelte Kraft- und Wärmewirtschaft. Insbesondere läßt sich bei älteren Anlagen, bei denen häufig nur geringe Abdampfverwertung vorliegt, gelegentlich von Erweiterungen oder Erneuerungen einzelner Abteilungen zwanglos mehr oder weniger vollkommene Abdampfausnutzung mit häufig wirtschaftlich recht einschneidenden Erfolgen ausbauen. Abb. 33²⁾ stellt schematisch den Ausbau der Abdampfverwertung für einen gemischten Textilbetrieb dar, bei dem infolge einer Erweiterung der Spinnerei und eines Teiles der Ausrüstung eine Verdoppelung des Kraftbedarfes und eine Steigerung des Heizbedarfes um die Hälfte sich als notwendig ergaben. Durch gleichzeitigen Ausbau der Abdampfverwertung war es bei Wahl einer Gegendruckkolbenmaschine für die Krafterweiterung möglich, den erheblichen Kraft- und Heizwärmezuwachs mit einer nur um 5% gesteigerten Dampfmenge zu decken, gegenüber derjenigen, die vorher für den viel schwächeren Betrieb erforderlich war. Die Abb. 33 zeigt im übrigen auch die einzelnen Verbrauchsziffern für die verschiedenen Dampfverwendungsstellen vor und nach der Umänderung.

Wie eingangs dieses Abschnittes erwähnt, ist das Dampf- und Kraftbedarfsbild je nach der Größe des Betriebes und nach dem Umfang, in dem nur Teilvorgänge oder die Gesamtvorgänge der Warenherstellung durchgeführt werden, außerordentlich verschieden.

¹⁾ Steinmann: Wärme 1928, Nr. 48.

²⁾ Reutlinger: Wärme 1929.

Die Grenzen des Kraftbedarfes der Textilbetriebe schwanken zwischen 100 PS₁ und 2000 PS₁ und darüber. Während sich für den Fa-

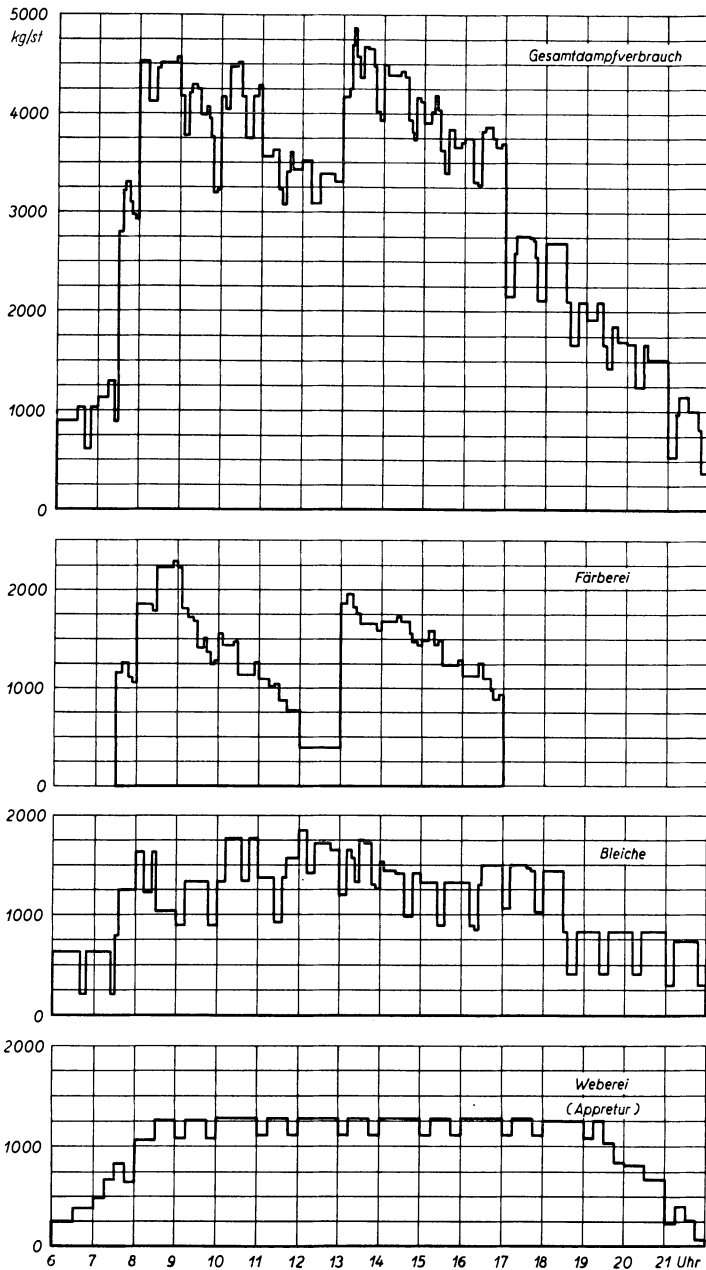


Abb. 29 bis 32. Verlauf des Dampfbedarfes eines Textilbetriebes.

brikationsdampfverbrauch die Stundenbeträge im allgemeinen zwischen 0 und 10000 kg je Stunde bewegen. Der Raumheizbedarf liegt zwischen

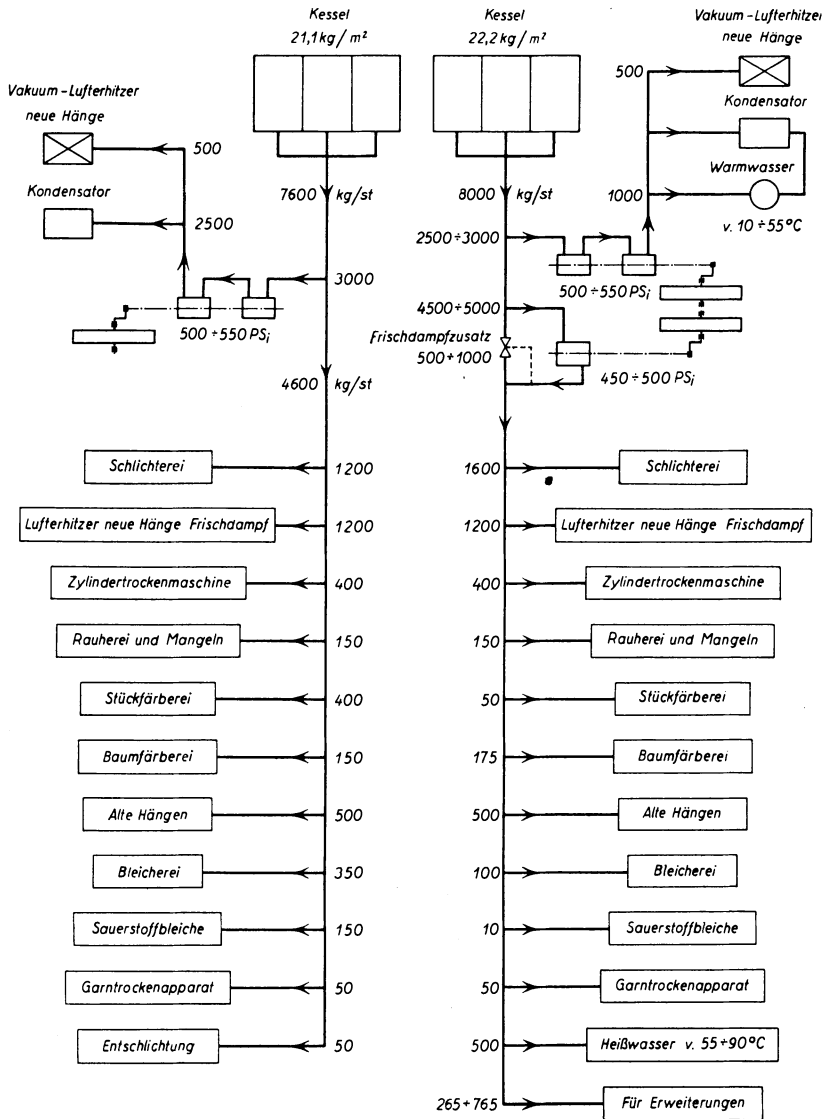


Abb. 33. Schema der Dampfwirtschaft in einem Textilbetrieb vor und nach dem Ausbau.

500 und 5000 kg je Stunde, wobei sich die letztgenannte Grenze nur für außerordentlich ausgedehnte Betriebe ergibt.

Wesentlich höhere Dampfverbrauchsfiguren liegen bei denjenigen Großbetrieben der Ausrüstungsindustrie vor, die im Mittelpunkt von

Textilgebieten in Lohn die Veredlung der Textilerzeugnisse der umliegenden Spinnereien und Webereien übernehmen. Diese Betriebe haben einen von Geschäftsgang und Mode abhängigen außerordentlich schwankenden Dampfbedarf von durchwegs sehr beträchtlicher Höhe. Ein Stundendampfverbrauch von 50000 kg und mehr ist nichts Ungewöhnliches. Diese großen Ausrüstungsbetriebe sind also stets in der Lage, ihre eigene Kraftversorgung, auch wenn sie sehr umfangreich ist, im Gegendruckbetrieb aus einem Bruchteil des durchschnittlich benötigten Fabrikationsdampfes zu gewinnen, und es wäre darüber hinaus durchaus möglich, sehr erhebliche Abfallenergiemengen an andere Werke abzugeben (vgl. Fünfter Abschnitt).

Die großen Ausrüstungsbetriebe sind auch ein dankbares Anwendungsgebiet für den Gefällespeicher, da sie besonders unter Schwankungen der Dampfentnahme sowohl während der einzelnen Arbeitstage als insbesondere auch mit der Saison zu leiden haben.

V. Lebensmittelindustrie.

Außer den Betrieben zur Herstellung von Mehl und Zucker, deren Erzeugung in Großbetrieben sich naturgemäß frühzeitig entwickelt hat, stammen die meisten Zweige der Lebensmittelerzeugung aus wesentlich jüngerer Zeit, sie sind auch in einer immerwährenden und raschen Fortbildung. Der Grund dafür liegt vor allem in dem Umstand, daß die Erzeugung und Verarbeitung der für die Ernährung nötigen Lebensmittel lange Zeit von den Verbrauchern selbst erfolgte (soweit es das Land außerhalb größerer Siedlungen betrifft, geschieht dies vorwiegend auch heute noch), erst später entstanden einschlägige gewerbliche und industrielle Betriebe für Brot, Teig-, Wurstwaren, Milchprodukte u. a. Die Notwendigkeit hierfür war durch das Anwachsen der Siedlungen geschaffen; die Lebensmittelindustrie nimmt größtenteils von den Großstädten ihren Ausgang und dringt immer weiter und weiter, in neuerer Zeit auch in das Gebiet der kleineren Siedlungen ein. Hand in Hand mit der Großerzeugung geht natürlich auch die Nutzbarmachung und Verwertung von Nebenerzeugnissen (Kleie als Futtermittel, Melasse u. dgl.) und die Herstellung zahlreicher Ersatzmittel, wie Konserven, Pflanzenfette u. v. a.

Mehl.

Bei der Mehlerzeugung machte sich schon sehr bald das Bestreben bemerkbar, die Menschenkraft durch Maschinen zu ersetzen und für deren Antrieb zunächst die Tiere, bald aber auch die Energie des Wassers und des Windes heranzuziehen. Erst später haben sich die Mühlen von den Wasserläufen und Berghöhen unabhängig gemacht und ihren Platz dort gewählt, wo ihnen der Rohstoff am leichtesten zukommen konnte.

Es entstanden Dampfmühlen, zunächst noch mit wasserbetriebenen vereinigt, dann aber auch als reine, nur wärmeverbrauchende Werke. Heute finden sich vielfach in den Großstädten Großmühlen entweder mit eigenen Kraftzentralen oder aber an ein fremdes elektrisches Netz angeschlossen.

Die Mühlen gehören zu den Industriebetrieben, die nur wenig Nutzdampf, dafür aber sehr viel Kraft benötigen. Für 1 kg Fertigware werden etwa 0,1 PSst gebraucht. Dieser Kraftbedarf, der vielfach auch noch höher liegt, erklärt sich damit, daß, abgesehen von dem Kraftbedarf der Walzenstühle, bei der Mehlerzeugung die Fließarbeit, wie sie in vielen Industriezweigen Eingang gefunden hat, schon sehr ausgebildet ist und daß von der Ausladung des Weizens aus den Fördergeräten bis zum Abbinden der mehlgefüllten Säcke alles maschinell geschieht. Förderbänder und Schnecken, Hebewerke und Luft-Förderanlagen besorgen die Fortbewegung des Rohstoffes und später der Halb- und Fertigwaren von einer Maschine zur anderen, wobei sich die einzelnen Verarbeitungsanlagen in der Hauptsache senkrecht untereinander reihen, so daß also zunächst immer eine Beförderung in das oberste Stockwerk nötig wird. Hierfür wird ein Teil der notwendigen Kraft verbraucht.

Der Nutzdampf wird zum geringen Teil zu Heiz-, zum größten Teil für Trockenzwecke benötigt. Das Getreide wird, bevor es zur Verarbeitung kommt, im Wasser gewaschen, wobei Erde, Steine, Staub und Schalen abgesondert werden. Das feuchte Getreide wird geschleudert und hierauf in Trockenkolonnen oder Weizenvorbereitern mit Warmluft behandelt. Hierbei wird mit höheren Temperaturen gearbeitet, weil dadurch die Backfähigkeit des Mehles günstig beeinflusst wird. Der Dampfverbrauch eines Vorbereiters richtet sich natürlich sehr nach der Beschaffenheit der Frucht. Kommt diese schon naß in die Wäsche, wie dies vielfach in regenreichen Jahreszeiten der Fall ist, dann ist der Wärmearaufwand bedeutend größer. Rohweizen besitzt gewöhnlich eine Feuchtigkeit von 15,2 bis 15,7%, nach der Wäsche beträgt der Wassergehalt etwa 19%. Für die Vermahlung, also nach der Trocknung, liegt dieser am günstigsten zwischen 16 und 16,2%. Die Höhe des Dampfverbrauches für die Fruchttrocknung kann mit 5 bis 8 kg Dampf je 100 kg Getreide angenommen werden. Bei einer Ausbeute von 75 bis 85% ist dies also je 1 kg Fertigware 0,06 bis 0,11 kg Dampf.

Aus den vorangeführten Bedarfszahlen ist zu ersehen, daß in diesem Industriezweig eine Kupplung von Kraft- und Wärmewirtschaft nur etwa in der Weise möglich ist, daß der Trockendampf durch Anzapfung gewonnen wird. Dort, wo es möglich ist, mit der Mühle gleichzeitig andere wärmeverbrauchende Industrien zu verbinden (Großbäckereien, Getreide-Hefe- und Spiritusfabrikation u. dgl.), läßt sich eine wirt-

schaftliche Verwertung von Abfallenergie durchführen (siehe Fünfter Abschnitt). Im allgemeinen wird das Bestreben jedoch dahin gehen, die notwendige Kraft so billig wie möglich zu erzeugen. Kondensationsmaschinen mit geringstem Dampfverbrauch genießen einen besonderen Vorzug. In jüngster Zeit führt sich besonders in den Balkanländern das billige Rohöl in seinen verschiedenen Formen, sowohl für Feuerungen zur Dampferzeugung als auch bei der Verarbeitung in Dieselmotoren günstig ein. Besonders die letzte Antriebsart findet wegen der raschen Betriebsbereitschaft und ihrer Sauberkeit ziemliche Verbreitung.

Bäckereien.

Als Einrichtungen des Kleingewerbes wurde den Bäckereien seitens der Wärmetechniker lange nicht die ihnen gebührende Aufmerksamkeit geschenkt, um so mehr, als Öfen einfachster Bauart tatsächlich keine nennenswerten Verbesserungen gestatten, wenn hierfür keine zu großen Kosten auflaufen sollen, und andererseits das Brennmaterial (in diesem Falle meist Holz) doch verhältnismäßig billig zu haben war. Erst der Krieg und seine Folgejahre haben durch Brennstoffmangel und durch Ansteigen der Brennstoffpreise dieses Gebiet den Wärmetechnikern nahegebracht. Auch konnte das Brot, dieses wichtigste Volksnahrungsmittel, das sprunghafte Hinaufgehen der Preise nicht mitmachen und man ging daran, mit allen Mitteln die Gesteuerungskosten zu drücken. Dies führte zur Verwendung von Öfen verbesserter Bauarten mit Beheizung durch Kohle oder Gas (auch Elektrobacköfen wurden versucht), und schließlich zum Übergang zur Großindustrie. In den Brotfabriken erfolgen heute die ganzen, früher durch Menschenkraft und Handarbeit durchgeführten Herstellungsvorgänge auf mechanischem Wege mit Hilfe von Sondermaschinen. Das Backen geschieht in Großanlagen, die bestmögliche Ausnützung und weitgehendste Gleichmäßigkeit und Raschheit gewährleisten. Die Brotherstellung ist solcherart auch in die Reihen der kraft- und wärmeverbrauchenden Industrien gerückt.

Über den Herstellungsvorgang ist kurz folgendes zu sagen: Mehle verschiedener Art werden je nach der zu erzeugenden Brotart in verschiedenen Verhältnissen in der Mischmaschine gemischt, worauf eine Siebung in entsprechenden Siebmaschinen stattfindet. Das Mehlgemisch kommt in Behälter, aus denen es nach nochmaliger Siebung und gleichzeitiger Wägung für die Knetmaschinen entnommen wird. Die Stoffbeförderung in diesen Arbeitsgängen erfolgt durch Schnecken und Becherwerke wie in der Mühlenindustrie.

In der Knetmaschine werden Mehl, Sauerteig, Wasser, Salz und verschiedene andere Zusätze (je nach der Teigart Kümmel, Zucker usw.) durchgearbeitet, hierauf in Förderwagen ausgestoßen und einer kurzen Gärung überlassen (Angären). Dann kommt der Teig in die Teilmaschine

und aus dieser auf Förderbänder. Von diesen werden die Stücke abgenommen, durch Bäcker von Hand aus durchgearbeitet (Wirken), in Formen eingelegt und in den Gärraum eingeschoben. Hier erfolgt bei einer Temperatur von etwa 40° C in angefeuchteter Luft der Hauptgärvorgang, nach dessen Beendigung das Gut aus den Formen gestürzt, gefeuchtet und gestupft wird. Bei dem letztgenannten Vorgang wird der Teig mit Löchern versehen, um der überschüssigen Kohlensäure, die ja bei der Gärung entsteht, ein Entweichen zu ermöglichen und die unschöne Rissebildung zu vermeiden. Hierauf wird das Backgut in den Ofen eingebracht (eingeschossen) und bei etwa 260° C gebacken. Der Arbeitsvorgang bis zum Backen erfordert in erster Linie Kraft für die vorstehend genannten Maschinen, Fördereinrichtungen und die Wasserhaltung. Wärme wird außer zum Backen nur für den Gärvorgang gebraucht und für die Bereitung von Warmwasser. Letzteres wird sowohl dem Teig unmittelbar zugesetzt, als auch zu Waschzwecken benötigt.

Der Hauptwärmeverbraucher ist allerdings der Backofen. Über Aufbau und Wirkungsweise finden sich in der Literatur und den Fachzeitschriften wertvolle Angaben. Wichtiges und die wirtschaftlichen Vorgänge klar aufzeigende Zahlenzusammenstellungen über die Wärmeausnutzung bei Backöfen hat Prof. Eberle¹⁾ veröffentlicht. Nach diesen beträgt der theoretische Wärmebedarf für 1 kg Teig 130 WE, während der praktische Wärmeverbrauch je nach der Ofenbauart mit 1220 bis 2000 WE für 1 kg Teig ermittelt wurde. Dieser ungünstige Wirkungsgrad wird auf die großen Verluste durch Strahlung und Leitung zurückgeführt, so daß eine Verbesserung des Wärmeschutzes wesentliche Vorteile bringen kann. Demgegenüber sind die Verluste durch Herdrückstände und Abgase verhältnismäßig klein.

Die Einführung von Gas zu verschiedenen Koch- und Heizzwecken hat auch dazu geführt, die Verwendbarkeit in der Bäckerei zu erproben. Die rasche und bequeme Feuerregelung ergibt wohl bedeutende Vorteile; Wärmeersparnisse lassen sich jedoch nur dort erzielen, wo auf die Bauart von Speicheröfen verzichtet wird, denn bei diesen treten die größten Strahlungsverluste auf.

Eine derartige Anlage, die mit gasbeheiztem Hochleistungsöfen arbeitet, wurde in Berlin errichtet²⁾, wobei Leuchtgas unter Zuführung von Preßluft die Heizung besorgt. Die Stundenleistung eines solchen Ofens wird mit 1500 Stück Broten zu je 1,2 kg angegeben. Der Wärmeverbrauch stellt sich auf etwa 120 m³ Gas mit einem Heizwert von 4200 WE für das Backen allein, während für das Anwärmen, das ungefähr 1½ Stunden dauert, noch weitere 200 m³ benötigt werden.

¹⁾ Eberle, Chr.: Brennstoffausnutzung im Bäckereigewerbe. Z. V. d. I. 1927, Nr. 28 und 31.

²⁾ V. d. I. Nachrichten vom 16. XI. 1927.

Eine andere Feuerungsart wurde bei einer Anlage in Japan mit Erfolg durchgeführt, die wesentliche Ersparnisse ergeben soll. Koks wird in einer Sauggasanlage von rund 400 m³ Gaserzeugung verarbeitet und das Gas zum Heizen der Öfen genommen.

Elektrische Backöfen wurden, von der Schweiz ausgehend, vielfach erprobt und die Ergebnisse haben zum Teil recht befriedigt. Diesen Öfen haften gewiß unleugbare Vorteile an. Leichte Bedienbarkeit und einfache Regelung, Sauberkeit im Betrieb selbst wie auch in der Umgebung durch Fortfall der Rauch- und Rußbelästigungen u. a. Demgegenüber stehen jedoch die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten. Wenn auch der Wirkungsgrad nicht ungünstig ist, ist doch der Unterschied zwischen dem Strom- und dem Kohlenpreis so groß, daß der Elektroofen mit dem kohlenbeheizten Dampfbackofen nur selten in Wettbewerb treten kann. So wurde z. B. auf Grund eingehender Versuche an einem 10 m²-Elektroofen ein Stromverbrauch von etwa 100000 kWst im Jahr ermittelt, während für einen 10 m²-Dampfbackofen zur Erzielung der gleichen Leistung im Jahr 36 t Kohle nötig sind¹⁾. Erst bei einem kWst-Preis entsprechend dem Preis von rund 0,4 kg Kohle, ließen sich also Vorteile erzielen, was jedoch nur dort möglich ist, wo billige Abfallenergie oder billiger Nachtstrom zur Verfügung steht. Allerdings werden dann wieder Speicheröfen notwendig, deren Nachteile schon im früheren angeführt wurden. Dem elektrisch beheizten Backofen wird aber noch der große Vorteil nachgerühmt, daß der Schwund beim Backen geringer ist.

Die Ofenbeheizung im Rahmen einer Abdampfverwertung durchzuführen, ist nicht möglich, da einerseits sehr hohe Temperaturen (260° C) benötigt werden, die nur durch eine Zwischenüberhitzung erreichbar sind, andererseits sich die kraft- und wärmeverbrauchenden Vorgänge in der Hauptsache nicht gleichzeitig, sondern nacheinander abwickeln, so daß für eine Abdampfverwertung Einrichtungen nötig wären, die die Wirtschaftlichkeit einer solchen Arbeitsweise unmöglich machen.

Zucker.

Die Zuckernerzeugung aus Rüben (nur diese Art kommt für europäische Verhältnisse in Frage, obwohl die Rohrzuckergewinnung heute schon die Rübenzuckerherstellung wesentlich überflügelt hat), stellt an den Wärmetechniker ganz besondere Aufgaben, vorwiegend aus dem Grunde, weil diese Industrie, sofern es sich um die Rohzuckerherstellung allein handelt, ein reiner Kampagnebetrieb ist und infolgedessen alle mit einem solchen kurzfristigen Vollbetrieb zusammenhängenden wirt-

¹⁾ Kratochwil, Ing.: Verwertung elektrischer Abfallenergie. Sparwirtsch. (G.W.) 1924, H. 3/4.

schaftlichen Schwierigkeiten zu überwinden hat. So ist vor allem bei den Kraft- und Wärmezentralen auf unbedingte Betriebssicherheit zu sehen. Ferner ist möglichste Wirtschaftlichkeit im Kohlenverbrauch anzustreben, wobei aber hinsichtlich der Anschaffungskosten zu berücksichtigen ist, daß der ganze Kapitalsdienst in dem nur 3 bis 4 Monate währenden Kampagnebetrieb hereingebracht werden muß.

Besser liegen die Verhältnisse bei Betrieben, die nicht nur Rohzucker erzeugen, sondern die Rohware auch gleichzeitig weiterverarbeiten (raffinieren). Die Raffinerien arbeiten meist viel länger, besonders wenn sie nicht nur die eigenen Rohzuckererzeugnisse verarbeiten, sondern auch Rohzucker beziehen.

In allerletzter Zeit findet man in der Zuckerindustrie das Bestreben, die Vorteile der Verbundwirtschaft weitgehendst auszunützen, indem Überschubkraft, die für den Eigenbedarf nicht verwendet werden kann, über den Rahmen des eigenen Betriebes abgegeben wird. Die reinen Rohzuckerfabriken haben hierbei die Schwierigkeit, daß nur wenige private Stromabnehmer mit einer so kurzfristigen Belieferungszeit, wie sie dieser Kampagnebetrieb darstellt, einverstanden sind. Dahingegen kommen Überlandnetze als Stromabnehmer dafür in Betracht, da an diese in den Wintermonaten ohnehin höhere Anforderungen gestellt werden (siehe auch Fünfter Abschnitt). Es sind infolgedessen Zuckerfabriken heute vielfach genötigt, ihre Anlagen den neuzeitlichen Anforderungen entsprechend umzubauen. Es wird sich bei solchen Betrieben vorwiegend darum handeln, mit geringen Kosten Verbesserungen zu schaffen, welche die Wirtschaftlichkeit in der Wärmeausnützung steigern und dadurch die Gestehungskosten verringern¹⁾.

Zur Zuckererzeugung wird die in unseren Gegenden gezogene Zuckerrübe, deren Zuckergehalt ungefähr 15 bis 17%, bei einzelnen hochwertigen Arten sogar bis zu 25% beträgt, verwendet. Das Einbringen der Rübe zum ersten Arbeitsvorgang, zur Wäscherei, geschieht heute vorwiegend mit Wasser im Schwemmverfahren. Das Schwemmverfahren kann auch für das Entladen der Eisenbahnwagen, in denen die Rübe anrollt, verwendet werden. Sind zweckentsprechende Pumpen vorhanden, so kann das Schwemmwasser trotz der Verunreinigung mit Schlamm u. a. immer wieder rückgepumpt werden. Oft genügt eine einfache Filtergrube für teilweise Schlammbesonderung vor den Pumpen. Die Schwemmrinnen befinden sich meist am Grunde der Rübengruben, deren Boden schräg abläuft, so daß die Rübe leichter in die Rinne abrutschen kann und hier von dem Wasser mitgenommen wird. Bisweilen wird, um Stauungen in den Gruben zu verhüten, die Rübe durch Spritz-

¹⁾ Kind, H.: Wärmewirtschaft und Kraftversorgung in der Rübenzuckerindustrie. Z. V. d. I. 1925, Nr. 2.

wasser abgeschwemmt. Die Wasserhaltung spielt also in der Zuckerfabrik eine ganz bedeutende Rolle und ein Großteil der Kraft ist für die Wasserförderung nötig. Da für das Schwemmen und das Waschen leicht angewärmtes Wasser von Vorteil ist, wird hier gerne das Wasser der Kondensatoren verwendet.

Die gewaschenen Rüben werden durch Becherwerke in Behälter gebracht, gewogen und hierauf den Schnitzelmaschinen zugeführt, in denen sie durch Schneidmesser zerkleinert werden. Die Schnitzel kommen dann mittels mechanischer Fördereinrichtungen (Schnecken, Gurten u. dgl.) in die Auslaugegefäße (Diffuseure), das sind Behälter von 40 bis 100 hl Inhalt, die in Gruppen von 6 bis 16 Stück zusammengestellt sind. In diesen hintereinander geschalteten Gefäßen werden die Rübenschnitzel mit Wasser im Gegenstromverfahren entzuckert. Im allgemeinen wird der Saftstrom am unteren Teile des Behälters abgezogen und dem nächsten von oben zugeführt. Zwischen den Behältern ist in der Saftleitung ein Vorwärmer eingebaut, der mit Dampf beheizt wird und den Zweck hat, den Saft immer wieder nachzuwärmen. Die bisweilen auch angewendete unmittelbare Dampfeinführung hat neben dem Nachteil der Verdünnung des Saftes auch den, daß Frischdampf gebraucht wird, während für die Röhrenanwärmer, die vielfach bei der mittelbaren Beheizung zur Anwendung kommen, die niedrig gespannten Brühdämpfe aus der Verdampferanlage Verwendung finden können. Röhrenanwärmer haben allerdings den Nachteil, daß bei Undichtheiten Saft in das Kondensat gelangen kann, und es ist daher von besonderer Wichtigkeit, dort, wo diese Kondensate zur Kesselspeisung herangezogen werden, eine regelmäßige Untersuchung auf Zucker vorzunehmen, da dieser im Kesselhausbetrieb schwere Störungen verursachen kann. Der ganze Vorgang spielt sich je nach der Arbeitsweise in den Temperaturgrenzen von 65° bis 80° ab. Temperaturen über 90° sind für die Rübenschnitzel gefährlich, da sie diese „verbrühen“, d. h. weich machen, wodurch ein Zusammenballen entsteht, was das glatte Durchgehen des Saftstromes verhindert. Bei Temperaturen unter 60° gibt es keine Auslaugung (Diffusion) und daher muß diese Temperaturgrenze für das Auslaugen so rasch als möglich erreicht werden. Sind die Rübenschnitzel genügend ausgelaugt, dann werden sie aus dem Behälter entfernt, was entweder mit Spülwasser geschehen kann oder, wenn in der Anlage Wassermangel herrscht, auch mit Druckluft erfolgt.

Die aus dem Behälter ausgeleerten Schnitzel kommen nun in die Schnitzelpressen, in denen ihnen die Feuchtigkeit zunächst auf mechanischem Wege entzogen wird. Ihre Weiterverwendung zu Futterzwecken erfolgt entweder im feuchten, ausgepreßten Zustande, oder aber sie werden getrocknet und als Trockenschnitzel abgegeben. Im ersteren Falle kommen sie sofort zur Einlagerung in Erdgruben, in denen

sie einen Säuerungsverfahren durchmachen und nach diesem als saure Schnitte verfüttert werden. Bei diesem Einsäuern geht ein ziemlicher Teil der Nährstoffe verloren. Um diese Verluste zu vermeiden, dann aber auch, um für dieses Gut auch weit entfernt liegende Abnehmer finden zu können, ging man dazu über, die Schnitzel zu trocknen. Die Herstellung der Trockenschnitzel geschieht meist in eigenen Trockenanlagen, ähnlich denen, wie sie auch in der Brauerei und Spiritusindustrie in Verwendung stehen. Ihre Beheizung erfolgt entweder durch Rauchgase oder mittels Dampf. Das Trocknen der Schnitzel erfolgt mit einem um so geringeren Wärmehaufwand, je stärker die mechanische Auspressung vorher vorgenommen wurde (siehe S. 30). Die Erzielung eines Wärmegewinnes darf jedoch nicht mit den Verlusten an Nährstoffen durch den abfließenden Preßsaft erkauft werden.

Das Trocknen mit Abgasen erfordert ganz besondere Sorgfalt, da bei zu hohen Temperaturen leicht ein Ankohlen des Trockengutes eintreten kann. Aber auch der verwendeten Kohle ist ein besonderes Augenmerk zuzuwenden, da hoher Schwefelgehalt oder die Neigung zur übermäßigen Flugaschenbildung die Schnitzel für die Verfütterung vollkommen unbrauchbar machen können. Bei der Dampftrocknung wird das Gut viel gefahrloser verarbeitet. Allerdings kann es bei den wesentlich niedrigeren Trockentemperaturen vorkommen, daß die Schnitzel noch feucht den Trockner verlassen, wodurch sie stark an Haltbarkeit verlieren. Dort, wo genügend Abdampf zur Verfügung steht, kann mit Dampftrocknern wirtschaftlich gearbeitet werden. Jedenfalls ist die Frage, ob Abgas- oder Dampftrockner verwendet werden sollen, für jeden einzelnen Fall genauest zu untersuchen. Die Schnitzel werden bis auf einen Wassergehalt von 9 bis 12% heruntergetrocknet. Tiefer zu gehen ist nicht von Vorteil, da das Trockengut brüchig wird und zerfällt. Höhere Feuchtigkeit hat bei Lagerung Gärung zur Folge, wodurch das ganze Gut unbrauchbar wird. Dies gilt besonders dort, wo die Lagerung in großen Haufen erfolgt.

Der Rohsaft, der bei der Auslaugung gewonnen wird, wird nun vor seiner weiteren Verarbeitung zunächst mechanisch gefiltert, um sämtliche Schnitzelreste sicher zu entfernen, und gelangt hierauf in sogenannte Wärmer. Es sind dies von Dampf umspülte Rohre, durch die der Saftstrom mittels Pumpen mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 2 m/sek durchgepumpt wird, um sodann in die Scheidepfannen abzufließen. Dadurch erhält der Rohsaft die für die Scheidung nötige Wärme. Durch eine Behandlung mit Kalk wird sowohl durch chemische Vorgänge (Ausfällen und Zersetzen von Nichtzuckerstoffen), als auch mechanisch (Niederschlagen schwebender Bestandteile) eine Klärung erzielt. Durch die anschließende „Saturation“ erfolgt eine vollständige Reinigung. Diese geschieht in hohen Behältern, in denen der Scheide-

saft mit Kohlensäure durchgeblasen wird. Zur Vermeidung von allzu starker Abkühlung erfolgt ein Nachwärmen des Saftes nach beendeter Saturation durch Aufkochen in Röhrenanwärmern, denen man die Dämpfe aus der Verdampfanlage zuführt.

Die nun folgenden Arbeitsgänge bezwecken die Trennung des Zuckers von den Nichtzuckerstoffen. Zunächst ist das Wasser auszutreiben, was in Verdampfanlagen geschieht. Das Wesen der Verdampfer wurde schon im ersten Abschnitt (S. 43ff.) behandelt. In der Zuckererzeugung ist jedoch vom Standpunkt der Wärmewirtschaft gerade dieser Arbeitsgang von solcher Wichtigkeit, daß Entwicklung, Aufbau und Arbeitsweise der hierfür nötigen Einrichtungen später noch eingehender behandelt werden.

In den Verdampfern wird der Dünnsaft eingedickt und sodann in den Verkochern bei Unterdruck auf eine bestimmte Dichte verarbeitet. Im Gegensatz zu den früheren Vorgängen ist es bisher nicht möglich, das Verkochen in ununterbrochenem Arbeitsgang durchzuführen, so daß von hier aus gewisse Ungleichheiten im Wärmeverbrauch ihren Ausgang nehmen.

Ist nun der notwendige Sättigungsgrad bei der Füllmasse erreicht, dann erfolgt die Weiterverarbeitung in den Kristallisatoren oder Sudmaischen. Hier entstehen Zuckerkristalle, während eine zuckerhaltige Flüssigkeit (Sirup) zurückbleibt. Das Auskristallisieren dauert mehrere Stunden, wobei die Temperatur der Masse auf 75° bis 80° gehalten werden muß. Nach einem gewissen Grad der Ausscheidung wird abgekühlt und verdünnter Sirup zugesetzt, so daß die ganze Masse gut schleuderbar wird, denn bei dem nächsten Arbeitsvorgang erfolgt in Schleudern (Zentrifugen) die Trennung der Zuckerkristalle von den ihnen anhaftenden Safftresten.

Der aus den Schleudern entnommene Rohzucker ist in der Farbe gelblichweiß bis rotgelb, was auf die Färbung des an den Kristallen haftenden Sirups zurückzuführen ist. Um ihn haltbar lagern zu können, muß er weiter abgekühlt, gesiebt und gemischt werden.

Für die Weiterverarbeitung des Rohzuckers zu handelsmäßigem Verbrauchszucker gibt es zwei Verfahren. Das eine ist im Anschlusse an die Rohzuckererzeugung und liefert den weißen Kristallzucker (Granulated), gemahlene Zucker oder zusammengebackene Kuchen (Pilee). Dabei werden die den Kristallen noch anhaftenden Sirupreste in den Schleudern mit Wasserdampf oder Zuckerlösung entfernt. Man nennt dieses Waschen des Zuckers „Decken“. Das zweite Verfahren ist das Raffinieren, bei dem der Zucker nochmals aufgelöst, gefiltert, gekocht und sodann auf Stücke oder Stangen gegossen wird. Letztere werden zu Würfeln zerhackt. Durch Vermahlen von Stücken in Mühlen wird Staubzucker erzeugt.

Als wichtiges Abfallprodukt fällt bei der Rohzuckererzeugung noch die Melasse an. Ihre Verwertung ist sehr mannigfaltig, teils als Futtermittel, vorwiegend aber für die Hefe- und Spirituserzeugung, wie dies bei der Behandlung der „Gärungsindustrie“ besprochen wird.

In vorstehendem wurde die Zuckerherstellung nur in groben Zügen beschrieben, da eine ganz ausgezeichnete Literatur die chemischen und physikalischen, die technologischen und die kraft- und wärmetechnischen Vorgänge ausführlich behandelt. Hierher gehören u. a. die vielfach angeführten Arbeiten von Classen, Kind und Schiebl¹⁾.

Der hohe Kohlen- bzw. Dampfbedarf hat eine gute Dampfwirtschaft zur Lebensbedingung für alle Zuckerfabriken, die hohe Kohlenpreise zahlen müssen, gemacht. Es beträgt der Kohlenverbrauch zur Rohzuckererzeugung je 100 kg Rübe rund 8 kg von etwa 6800 WE. Für die Fabrikationsvorgänge werden nach Dr. Classen²⁾ je 100 kg Rübe rund 36000 WE benötigt, was etwa 64 kg Dampf entspricht, einschließlich des Dampfverbrauches für die Krafterzeugung. Es war auch in dieser Industrie die Abdampfverwertung schon vor mehr als 40 Jahren in hohem Maße eingeführt. Nur so war es möglich, die Verbrauchszahlen auf dieses Maß herunterzubringen. In der Zahlentafel 25³⁾ ist ein kennzeichnender Ausschnitt aus der Entwicklung der Zuckerindustrie wiedergegeben, er zeigt, wie der Kohlenverbrauch je 100 kg Rübe von 28 kg auf 8 kg gesunken ist. Dieses Beispiel ist bezeichnend für die Zuckerindustrie im allgemeinen, die schon seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts jeweilig auf der vorge-schrittensten Stufe der Entwicklung der Wärmetechnik gestanden ist. Sie ist auch heute hinsichtlich guter Wärmeausnutzung eine der technisch vollkommensten Industrien.

Zahlentafel 25.

Im Quinquennium	Rübe je ha	Jährliche Rüben- verarbeitung	Löhne je 100 kg Rübe	Kohle je 100 kg Rübe	Gesamt- Kohlen- verbrauch
1874—1878	173 q	122225 q	26,40 h	28,37 kg	3450 t
1879—1883	212 q	179414 q	19,22 h	22,70 kg	4070 t
1884—1888	214 q	166686 q	15,72 h	16,42 kg	2720 t
1889—1893	274 q	247246 q	10,78 h	10,46 kg	2620 t
1894—1898	304 q	283261 q	9,22 h	9,63 kg	2720 t
1899—1903	348 q	276564 q	9,59 h	8,01 kg	2200 t

¹⁾ Den Abhandlungen Schiebls sind einzelne Zahlen der folgenden Ausführungen und die Abbildungen entnommen.

²⁾ Classen, Dr. H.: Die Zuckerfabrikation. Magdeburg: Schallehn & Wollbrück.

³⁾ Die Zahlen stammen aus einer mährischen Zuckerfabrik und wurden von Dr. Ostermayer in Nr. 4 der Mitteilungen des Deutschen Ingenieurvereins in Mähren, Brünn 1911 veröffentlicht.

Die Mittel, welche dazu dienen, den Wärmeaufwand zu vermindern, sind verschiedenster Art. Die in früherer Zeit vielfach gebräuchliche Zahl von 3,3 bis 4,0 m² Heizfläche je 100 kg Stundenrübenverarbeitung bei Verwendung von Flammrohrkesseln hat bei Verwendung neuerer Kesselarten eine Verringerung auf etwa 2,5 m² erfahren. Nun wurde schon früher erwähnt, daß mit Rücksicht auf die geringe Ausnutzung der Kesselanlagen in Zuckerfabriken vielfach alte Anlagen in verhältnismäßig gutem Zustande vorhanden sind. Die Aufgabe besteht also meistens darin, unter Beibehaltung der alten Kesselanlagen der vorerwähnten Ziffer möglichst nahe zu kommen. Wie in vielen anderen ähnlichen Industrien ist auch hier der ungünstige Einfluß der Ver-

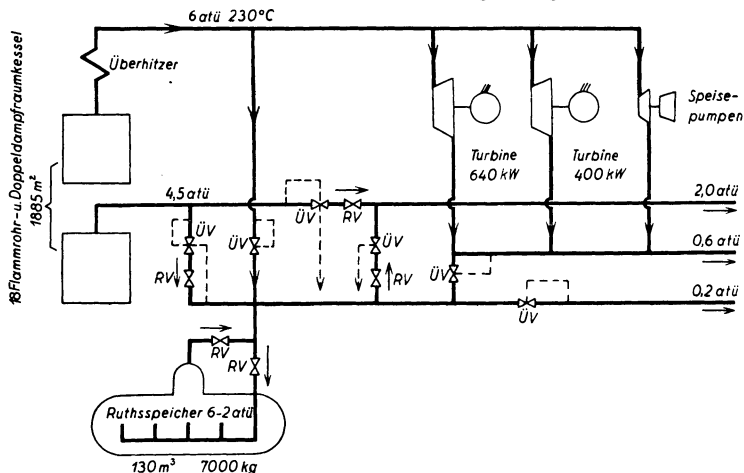


Abb. 34. Schaltbild der Dampfleitungsnetze in der Zuckerfabrik Stöbnitz¹⁾.

brauchsschwankungen von Nachteil, was in letzter Zeit das Problem der Wärmespeicherung in den Vordergrund rückte. Hierbei genügte es vielfach, die vorhandene Anlage zu belassen und durch Aufstellen eines Gefällspeichers oder eines Speiseraumspeichers die Leistungsfähigkeit der Kesselanlage zu heben.

Ein Beispiel hierfür ist der Umbau der Zuckerfabrik Stöbnitz. Hier wurde durch Einbau eines Ruths-Speichers eine wesentliche Vergleichmäßigkeit der Dampfversorgung erzielt und damit eine bedeutende Steigerung der Erzeugung erreicht. Da die Jahresverarbeitung von rund 1300 t Rüben auf 1935 t hinaufgesetzt werden konnte (weil Stockungen, verursacht durch Dampfangel, nicht mehr eintraten), ohne daß die ursprüngliche Heizfläche von 1885 m² Flammrohr- und Doppeldamfraumkessel vergrößert werden mußte, konnte die vor Einbau des Speichers rund 3,5 m² betragende Kennziffer auf 2,3 m² heruntergedrückt werden. Der Speicher hat einen Inhalt von 130 m³ und ist geeignet, 7000 kg Dampf bei einem Gefälle von 6 auf 2 atü abzugeben. Abb. 34 zeigt das Schaltbild dieser Anlage. Trotz der Steigerung der Erzeugungsziffer hat der Kohlenverbrauch

¹⁾ Schiebl, Dipl.-Ing. K.: Arch. Wärmewirtsch. 1927, H. 12, S. 379.

nicht zugenommen: infolge der Vergleichsmäßigung des Betriebes konnte sogar eine Verringerung des Kohlenverbrauches festgestellt werden. Daß die gleichmäßige Feuerführung auf den Wärmeaufwand von großem Einfluß sein kann und daß durch wärmewirtschaftliche Maßnahmen im Kesselhausbetrieb ganz beträchtliche Ersparnisse erzielbar sind, zeigt das Beispiel einer schwedischen Zuckerraffinerie, in der vor dem Umbau der Wärmeaufwand zum Raffinieren für 1 kg Rohzucker mit 1595 WE ermittelt wurde, während er nach Einbau von Speicher, Luftüberhitzern u. a. eine Verringerung auf 940 WE erfahren hat. Durch den Umbau der Anlage war es nicht nur möglich, 50% an Kesselheizfläche zu sparen, sondern auch den Brennstoffverbrauch um etwa 41% herunterzusetzen.

Selbstverständlich ist mit der Vermeidung der Dampfverbrauchs-schwankungen ein wirtschaftlicher Betrieb noch lange nicht gewährleistet, wenn nicht auch sonst die Wärmeverluste auf ein Mindestmaß eingeschränkt werden. Bei der Beschreibung der Zuckererzeugung wurde besonders auf den Vorgang der Saftendickung, als für die Wärmewirtschaft bedeutungsvoll verwiesen. Und tatsächlich hängt von der richtigen Arbeitsweise der Verdampfer auch die gesamte Wärmeschlußrechnung wesentlich ab. Ursprünglich wurde in der Zuckerindustrie nach dem Preßverfahren gearbeitet, wobei noch große Zuckerverluste eintraten. Für den Vorgang der Auslaugung, der heute allgemein üblich ist, werden große Wassermengen notwendig, die zur Gewinnung des Trockenstoffes durch Verdampfen wieder ausgetrieben werden müssen, was eben den großen Wärmeverbrauch hervorruft. Je 100 kg Rübe sind insgesamt etwa 90 bis 100 kg

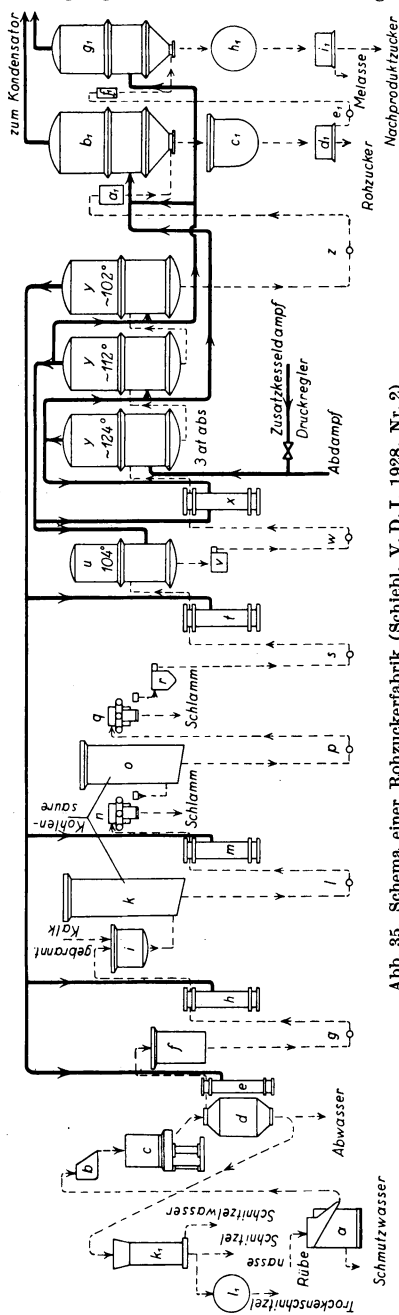


Abb. 35. Schema einer Rohzuckerfabrik (Schlebl, V. D. I. 1928, Nr. 2).

Wasser auszutreiben, aber auch schon vorher ist der Saft für einzelne Arbeitsgänge aufzuwärmen. Das Schema in Abb. 35 enthält stark ausgezogen die Dampfwege zu und von den einzelnen Einrichtungen, von denen den Verdampfern die größte Bedeutung zukommt. Für ihre wirtschaftliche Arbeitsweise ist die weitgehendste Ausnützung der zugeführten Wärmemengen auf nicht zu hohem Temperaturniveau (mit Rücksicht auf Zersetzung und Verfärbung des Saftes) eine der wichtigsten Voraussetzungen, die im Laufe der Zeit durch verschiedene Anordnungen erfüllt wurde.

Die Empfindlichkeit des Saftes erforderte niedrigere Temperaturen, die, sollten entsprechende Leistungen erzielt werden, nur im Unterdruckbetrieb anwendbar wurden. Die Verdampfer selbst waren stehende Zylinder, deren Heizeinrichtungen (stehende, außen von Dampf umspülte Rohre von 1,2 bis 2 m Länge) im unteren Teil lagen (Robert-Körper). Diese Verdampfer arbeiten mit hohem Saftstand, was der Verdampfung hinderlich ist; es kamen auch liegende Verdampfer (Weller-Jellinek) in Verwendung, die hinsichtlich Verdampfung wohl besser arbeiteten, weil der Saftstand niedriger war, jedoch den Nachteil hatten, daß sich die Heizflächen schwer reinigen ließen.

Die Versteinungen der Heizflächen sind ein Übelstand, gegen den die Betriebe wohl am meisten anzukämpfen haben. Jede Heizflächenreinigung ist gleichbedeutend mit einem Stillstand des betreffenden Körpers. Je nach der Bauart ist die Reinigungszeit länger oder kürzer. Wären genügend Ersatzkörper vorhanden, fiel der Stillstand nicht zu sehr ins Gewicht. Erfahrungsgemäß ist aber gerade die Verdampferanlage meist an der Grenze der Leistungsfähigkeit. Schon die Verunreinigungen selbst haben eine Leistungseinschränkung zur Folge; dazu kommt dann der Zeitaufwand für die Reinigung. Verdampfer, deren Reinigung wenig Zeit beansprucht, erhielten infolgedessen den Vorzug. Man ging also wieder auf stehende Verdampfer (Kastner-Verdampfer) über, bei denen jedoch in den stehenden Rohren von etwa 7 m Länge ein niedriger Saftstand gehalten wurde; der von den aufsteigenden Dampfblasen mitgerissene Saft rieselte längs der oberen Rohrwände herunter. Die Eignung dieses Körpers blieb jedoch nur auf Dünnsäfte beschränkt (Vorkocher). Die weitere Entwicklung führte zu den Kammer-Schnellstromverdampfern von Vinzenz-Turek, ebenfalls stehende Verdampfer, die jedoch schon mit Überdruck arbeiten.

Das gesamte Temperaturgefälle, das dem Spannungsgefälle vom Eintritt in den ersten Verdampfer bis zum Austritt aus dem letzten Verdampfer entspricht, begrenzt die Körperzahl deshalb, weil in jedem Körper ein gewisser Mindest-Temperaturunterschied zwischen dem Wärmeträger und dem kochenden Saft herrschen muß, um die Kochzeit in möglichen Grenzen zu halten. Durch Erhöhung dieses Temperatur-

unterschiedes kann die Kochzeit beschleunigt werden. Wenn nun die Eintrittstemperatur des Wärmeträgers im ersten Verdampfer erhöht wird (was bei Erhöhung der Dampfeintrittsspannung der Fall ist), kann sohin entweder die Körperanzahl entsprechend vermehrt werden oder aber es entstehen bei Verwendung der gleichen Körperanzahl größere Temperaturunterschiede in jedem einzelnen Körper zwischen dem Wärmeträger und dem Kochgut. Die Heranziehung der Überdruckverdampfung kann sich also nach zwei Richtungen auswirken, indem entweder die Wirtschaftlichkeit der Verdampfung durch die größere Unterteilung gehoben wird (was bei Verwendung einer größeren Körperzahl eintritt), oder aber indem die Leistungsfähigkeit bei gleicher Körperanzahl gesteigert wird.

Der Empfindlichkeit des Saftes muß in den mit Überdruck arbeitenden Körpern durch entsprechend große Saftgeschwindigkeit Rechnung getragen werden, was natürlich bei Verwendung der üblichen Apparat-ausführung, wie schon erwähnt, eine gewisse Düninflüssigkeit des Saftes und einen niederen Saftstand voraussetzt.

Für Dicksäfte, also in dem letzten Körper von Überdruck-Verdampferanlagen, wird die Erhöhung der Saftgeschwindigkeit durch Unterteilung des Verdampfers in einzelne Kammern (Schnellstromverdampfer) erzielt. Hierdurch wird die Berührung des Saftes mit den heißen Flächen auf eine möglichst kurze Zeit beschränkt und eine Verfärbung des Saftes verhütet, während andererseits die Verdampfung begünstigt wird. Solche Verdampferanlagen mit Kammer- oder Überdruckverdampfern geben noch verhältnismäßig heiße Brüden, deren gesamte Wärme noch für Zwecke anderer Fabrikationseinrichtungen verwendet werden kann.

Aus den in Abb. 36 bis Abb. 39 dargestellten Schaltungen sind die Dampf- bzw. Brüdenwege innerhalb verschiedener Unterdruck-Verdampferanlagen zu ersehen. Die mit arabischen Zahlen bezeichneten Körper sind Vorkocher, die schon mit höheren Temperaturen, also mit Kesseldampf arbeiten, da sie Dünnsaft enthalten. Ein weiterer Zweck dieser Körper ist die Schonung der Heizflächen der eigentlichen Verdampfer (mit römischen Zahlen bezeichnet) gegen Versteinung, ein Mittel, das allerdings noch lange nicht diesen Übelstand zu beseitigen vermag.

Die bei „d“ abziehenden Brüdenwärmen sind verloren. Diese Verluste sollen durch die Überdruckverdampfer gemindert werden. Die Schaltung ist aus Abb. 40, die Einfügung in die Gesamtanlage aus der schon früher erwähnten Abb. 35 zu ersehen. Hier wird im ersten Körper (γ) mit Verwendung höher gespannten Abdampfes gearbeitet, während der Zusatzkesseldampf Schwankungen ausgleichen soll, so daß eine gleichmäßige Wärmezufuhr gesichert ist. Die Brüden beheizen den

II. Körper, den Dünnsaftwärmer (x) und Unterdruckverkocher (b_1). Die Brüden des II. Körpers heizen den III. Körper, den Aufkocher (u), Unterdruckverkocher (g_1) und die verschiedenen Saft-, Schlammsaft-

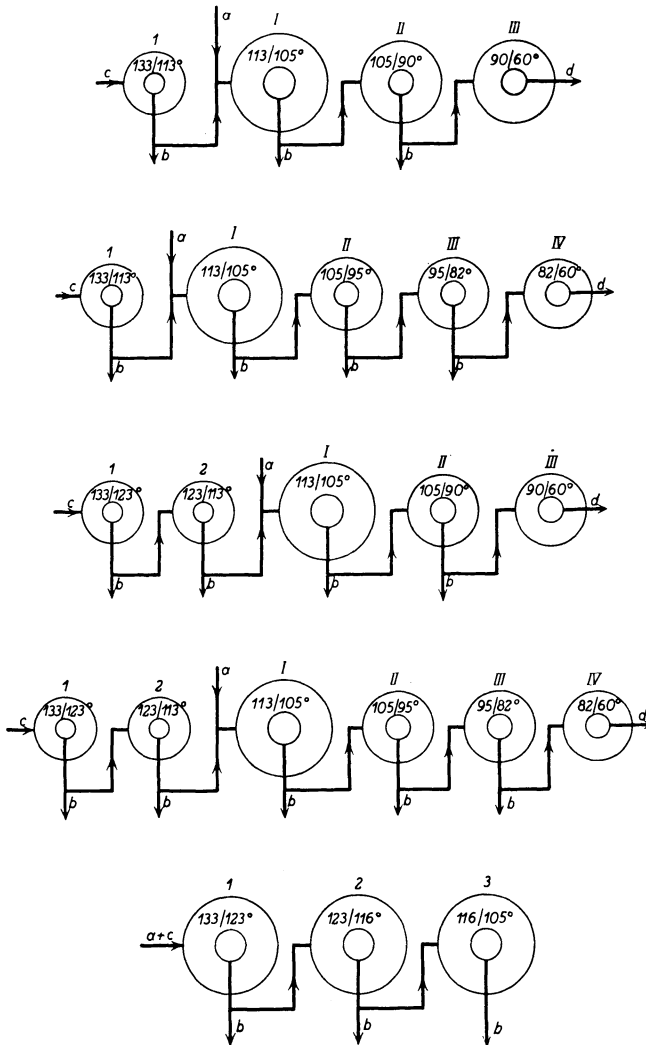


Abb. 36 bis 40. Schaltung von Unterdruckverdampfern (die vier oberen) und einer Überdruckverdampferanlage (zu unterst, Abb. 40) (Schiebl, a. a. O.).

und Dünnsaftwärmer (e, h, m, t). Die Kondensate werden den Kesseln zugeführt oder als Warmwasser im Herstellungsverfahren verwendet. Die Abwärme des Unterdruckverkochers geht verloren.

Das Wärmeflußbild Abb. 41 gibt ein Bild des Wärmeverbrauches. Es zeigt aber auch, welche Zusatzdampfmenen benötigt werden, ohne

daß die aus ihnen erzielbare Kraft im Betrieb selbst Verwendung finden können; sie kann aber über den Rahmen des eigenen Betriebes verwertet werden¹⁾.

Zusammenfassend ergibt sich, daß der Kraft- und Dampfverbrauch der Rohzuckerfabriken und der Raffinerien von verschiedenen Umständen, insbesondere aber von der Wirtschaftlichkeit der Verdampferanlage, von der Art des Kraftbedarfes zur Schnitzelentwässerung und bei der Raffinerie insbesondere auch von der Art des Enderzeugnisses abhängt. Allgemeine Dampf- und Kraftbedarfsziffern sind sohin nur in verhältnismäßig weiten Grenzen anzugeben:

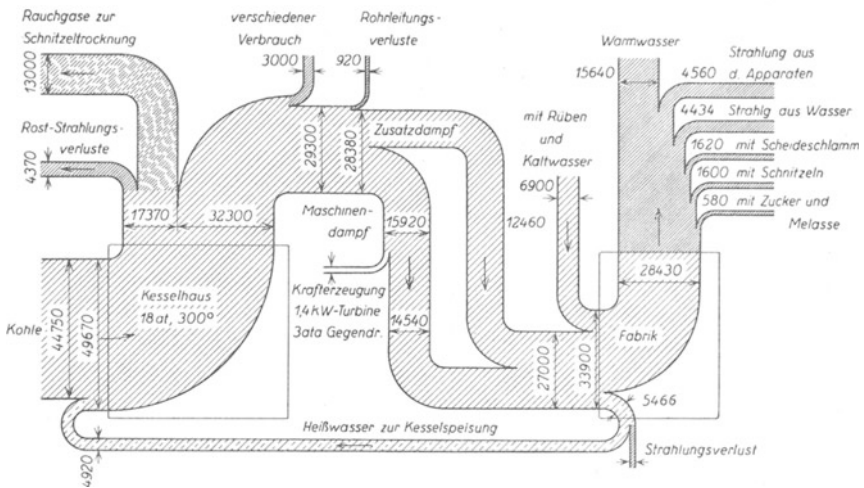


Abb. 41. Wärmeflußbild einer Rohzuckerfabrik je 100 kg Rübe (Schiebl, a. a. O.).

Der Kraftverbrauch einer neuzeitlichen Rohzuckerfabrik mit zweckentsprechenden Einrichtungen und elektrischer Kraftübertragung schwankt zwischen 1,2 und 1,6 kWst (am Schaltbrett gemessen), gerechnet auf 100 kg Rübenverarbeitung. Bei etwa 16%iger Ausbeute (16 kg Gesamtzucker je 100 kg Rübe) ergibt dies sohin 0,75 bis 1 kWst je Kilogramm Zucker.

Die Dampfverhältnisse zeitgemäßer Anlagen sind dadurch gekennzeichnet, daß der gesamte Maschinenabdampf und der erforderliche Frischdampfzusatz im wesentlichen nur in die Verdampferstation eingeführt werden, während die übrigen Wärmevorgänge, wie Saftvorbereitung, Kochung u. dgl., ausschließlich durch Brüden besorgt werden. Die Dampfaufnahme der Verdampferstation bedingt also in diesen Fällen die Gesamtbelastung der Kessel, und es ist die Vollkommenheit der

¹⁾ Vgl. fünfter Abschnitt und Niethammer: Die Energie in der Nestomitzer Zuckerraffinerie. Arch. Wärmewirtsch. Bd. 5. 1924.

Wärmewirtschaft letzten Endes außer vom Wirkungsgrad der Kesselanlage noch davon abhängig, ob und in welcher Menge Brühdämpfe in einem noch nicht bis zum äußersten ausgenützten Zustand in die Kondensation abströmen.

Trotz vollkommener Verwendung des Maschinenabdampfes ist in der Regel noch Frischdampfzusatz erforderlich, der je nach den in Betracht kommenden Druckgefällen noch Abfallkraft zu erzeugen zuläßt. Der Gesamtdampfverbrauch von Rohzuckerfabriken bewegt sich zwischen 45 und 65 kg je 100 kg Rüben (die kleineren Ziffern gelten für besonders wirtschaftlich eingerichtete Fabriken). Für die eigentliche Krafterzeugung kann nur ein Betrag von wenigen Hundertteilen des Gesamtdampfverbrauches lediglich wegen der Dampfverschlechterung in der Maschine gerechnet werden, da ja der Abdampf volle Verwertung in der Fabrikation findet.

Rohzuckerfabriken mit teilweiser Weißzuckererzeugung haben einen um etwa 15% höheren Gesamtwärmeverbrauch.

Wesentlich größer sind die Kraft- und Dampfverbrauchsziffern von Zuckerfabriken, welche die Rübe in ihrer Gänze oder teilweise bis zur Raffinade als Fertigerzeugnis verarbeiten. Das Raffinieren selbst zeigt große Unterschiede im Kraft- und Wärmebedarf, je nach der Betriebs-einteilung, den örtlichen Verhältnissen und der Art der erzeugten Fertigware. Je weiter die Verfeinerung des Rohzuckers geht, desto höher ist natürlich der Dampf- und Kraftbedarf. Auf 100 kg Rohzucker gerechnet, werden zum Raffinieren im allgemeinen 100 000 bis 160 000 WE gebraucht, entsprechend etwa 1,7 bis 2,7 kg Dampf je Kilogramm Zucker.

Alle diese Ziffern sind nur als beiläufige Anhaltspunkte zu werten; es kommen natürlich auch Abweichungen, insbesondere in der Richtung größeren Dampf- und Kraftverbrauches, besonders bei älteren Anlagen vor.

Kartoffeltrocknung.

Unter den Lebensmittel verarbeitenden Betrieben nimmt ferner seit Anfang dieses Jahrhunderts die Kartoffeltrocknung eine bedeutende Stelle ein. Hand in Hand mit der Ausgestaltung der maschinellen Einrichtungen gehen auch die Bestrebungen zur Erzielung hoher Wirtschaftlichkeit in wärmetechnischer Beziehung. Dabei liegt die Schwierigkeit vorwiegend in dem Umstand, daß in dem in der Kartoffel befindlichen Wasser wertvolle Nährstoffe, wie Mineralsalze und Zucker, die natürlich dem fertigen Trockenerzeugnis nicht entzogen werden dürfen, gelöst sind. Es muß also die Trocknung auf diese Besonderheit Rücksicht nehmen. Die zwei Hauptgruppen der Kartoffeltrocknerei sind die Kartoffelschnitzel- und die Flockenherstellung. In ersterer werden die gut gewaschenen und gereinigten Kartoffeln auf Schnitzel-

maschinen zerschnitten und hierauf getrocknet. Die Einrichtungen hierfür werden mit Feuergasen unmittelbar oder durch mit Feuergasen erwärmte Luft betrieben. Die Flockenerzeugung (in der Trockenkartoffelerzeugung die weitaus wichtigere Industrie) erfolgt nach folgendem Verfahren: Die Kartoffeln werden gedämpft, sodann durch eine Schnecke zu Brei zerquetscht und hierauf den Walzentrocknern, die mit Dampf von 4 bis 7 at beheizt werden, zugeführt. Die von den Trocknern abgenommenen Flocken werden gekühlt und eingesackt. Das Kühlen geschieht durch kräftiges Durchblasen mit Luft. Werden für den Transport des trockenen Gutes Druckluftanlagen verwendet, so geschieht schon hierbei die zweckentsprechende Kühlung.

Über diesen Industriezweig und seine Energieverbrauchsahlen liegen vielfache Versuchsergebnisse vor. Man rechnet für die Kartoffelschnitzelerzeugung besonders mit Rücksicht darauf, daß es sich doch meist um kleinere Betriebe mit weniger vollkommenen Anlagen handelt, mit einem Leistungsbedarf von 60 bis 80 PS für eine stündliche Verarbeitung von 10 t Rohkartoffel, aus welcher Menge rund 1200 kg Schnitzel gewonnen werden, so daß je 100 kg Schnitzel mit etwa 6,5 PSst gerechnet werden kann. Für das Trocknen benötigt man je 100 kg Schnitzel 250 bis 300 kg Dampf.

Welche große Bedeutung besonders der Kartoffeltrocknung zukommt, beweist das Preisausschreiben des Reichswirtschaftsministeriums in Deutschland. Die auf Grund der Bedingungen vielfach aufgetauchten, mitunter recht ursprünglichen Verfahren müssen zunächst ihre Erprobung im praktischen Dauerbetrieb bestehen. Jedenfalls sind alle beteiligten Kreise bemüht, durch ein billiges Trockenverfahren diesen Zweig der Industrie für die Volkswirtschaft noch nutzbringender auszubauen¹⁾.

In der Flockenerzeugung liegen die Verhältnisse etwas ungünstiger insofern, als für die Walzentrockner mehr Kraft und wegen des Dämpfens auch mehr Dampf (für 10 t Rohkartoffel etwa 1500 kg) gebraucht wird.

Molkereien.

Eine der wichtigsten und für die Lebensmittelversorgung von Großstädten unentbehrlichsten Industrien sind die Molkereien.

Sie bieten eine Reihe interessanter energiewirtschaftlicher Aufgaben, da hier außer Kraft und Wärme, die ja schließlich bei den meisten industriellen Betrieben benötigt werden, auch noch Kälte gebraucht wird. Die Entwicklung zum Großbetrieb ist hier jüngeren Datums und es mangelt vielfach an den für andere Zweige vorliegenden jahrelangen Erfahrungen. Schließlich geschieht auch hier

¹⁾ Näheres darüber: Arch. Wärmewirtsch. November 1929.

der Ausbau aus bestehenden Kleinanlagen heraus, wobei sich einer einheitlichen Durchbildung der Anlage naturgemäß ziemliche Schwierigkeiten entgegenstellen.

In einer zeitgemäßen Großmolkerei wird die rohe Milch, die im allgemeinen in Kannen, manchmal auch in Tanks zugeführt wird, zunächst in Tiefbehälter entleert. Bei den Kannen geschieht dies in ununterbrochenem Arbeitsgang, wobei die vollen Kannen auf Rollengängen oder Förderbändern einer Kippmaschine zugeführt werden und sodann von dieser zur Waschmaschine gelangen, auf welcher sie gereinigt und getrocknet werden. Aus dem Tiefbehälter fördern Pumpen die Rohmilch in einen hochliegenden, gekühlten Vorratsbehälter, aus dem die Entnahme für die Weiterverarbeitung erfolgt. Alle weiteren Arbeitsgänge sind, um die Verwendung von Pumpen auszuschalten, zweckmäßig untereinander angeordnet.

Die Frischmilch durchfließt zuerst einen Wärmeaustauscher, wobei sie auf etwa 35° C erwärmt wird. Hierauf wird in „Separatoren“ der Rahm abgeschleudert. Durch weiteres Erwärmen wird die Milch keimfrei gemacht und sodann auf Rieselkühlern auf etwa 3° C abgekühlt. Vor Eintritt in den Kühler wird die Magermilch mit Rahm versetzt, der nach Durchlaufen einer eigenen Entkeimungsanlage (Pasteurapparat) in einer Homogenisiermaschine entsprechend behandelt wurde, damit er trotz seines geringen spezifischen Gewichtes mit der Milch eine gleichmäßige, emulsionsartige Mischung bildet. Das vorhin erwähnte Entkeimen (Pasteurisieren) kann auf zweierlei Art geschehen, entweder als „Hochpasteurisieren“ während weniger Minuten, bei einer Temperatur von ca. 85° C oder als „Dauerpasteurisieren“ während etwa ½ Stunde bei einer Temperatur von 65° C. Die keimfreie Milch gelangt in gekühlte Vorratsbehälter, aus denen sie den Flaschenfüll- und Verschlußmaschinen zufließt. Die Flaschen werden vor der Füllung einer entsprechenden Reinigung auf eigenen, selbsttätig arbeitenden Flaschenwaschmaschinen unterzogen.

Für die Arbeitsvorgänge wird Kraft benötigt, und zwar zum Antrieb der Pumpen und für die Wasserhaltung, ferner für die Separatoren und verschiedene Sondermaschinen zum Entkeimen, Homogenisieren und Kannenentleeren, für die Waschmaschinen, Förderbänder und sonstige Beförderungsgeräte. Der Kraftbedarf eines Molkereibetriebes, gerechnet vom Eintreffen der Frischmilch in Kannen bis zur Fertigstellung der versandbereiten Milch, in Flaschen abgefüllt und in Kisten verpackt, ergibt sich im Durchschnitt zu etwa 0,021 PSst je Liter Milch. Der Kraftbedarf der Kälteerzeugung ist nicht inbegriffen.

Wärme bzw. Dampf wird zum Entkeimen, zum Reinigen der Kannen und Flaschen, zur Raumheizung und bei strengem Winter bisweilen zum Auftauen der von auswärts gefroren einlangenden Milch

benötigt. Für das Entkeimen rechnet man je 1 l Milch 0,11 kg Dampf von 1,5 ata, und zwar wird vorteilhaft Abdampf verwendet. Oft wird aber auch Dampf von 2,5 ata oder mehr beansprucht, obwohl diese höhere Spannung durch nichts gerechtfertigt ist, denn der gleiche Effekt läßt sich mit niedergespanntem Dampf erzielen, wenn nur der Bemessung der Heizflächen für die dem niederen Druck entsprechenden kleineren Temperaturunterschiede die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird; dafür erhält man einen Mehrgewinn an Kraft infolge besserer Dampfausnützung in der vorgeschalteten Dampfmaschine (siehe hierüber auch S. 241).

Für die verschiedenen Waschmaschinen wird meist Frischdampf von 4 bis 7 at verwendet, um das notwendige Warmwasser nicht durch Öl zu verunreinigen. Diese Art der Warmwasserbereitung ist ebenfalls unwirtschaftlich. Abgesehen davon, daß bei Turbinenbetrieb der Auspuffdampf ohne weiteres unmittelbar eingeblasen werden könnte (allerdings kommen Dampfturbinen bei den hier benötigten verhältnismäßig kleinen Kraftmengen kaum je in Frage) stellt sich bei Kolbendampfmaschinen die Verwendung des Auspuffdampfes mit 1,5 atü zur Warmwassererzeugung in entsprechend bemessenen Gegenstromvorwärmern wesentlich günstiger.

Es kann also unter allen Umständen und für alle Fabrikationsteile Auspuff- oder Entnahmedampf zur Verwendung kommen.

Kälte wird benötigt zum Kühlen nach den verschiedenen Entkeimungsvorgängen, für das Lagern in Kühlräumen und Vorratsbehältern und schließlich zur Blockeiszeugung dort, wo die Verkaufsstellen vom Molkereibetrieb aus mit Eis versorgt werden. Wenn die Blockeisversorgung ausschließlich durch eigene Erzeugung gedeckt werden soll, so kann je Liter Milch mit einer Eismenge von 0,1 bis 0,2 kg während der warmen Jahreszeit gerechnet werden.

Als Kältemittel werden verwendet: zunächst die Frischmilch, die in Wärmeaustauschern der entkeimten Milch Wärme abnimmt, wobei letztere auf ungefähr 45°C heruntergekühlt wird. Ferner Brunnenwasser, das durch die oberen $\frac{2}{3}$ der Rieselkühler fließt, wobei bei regelrecht bemessenen Kühlern je Liter Milch etwa 1,2 l Brunnenwasser von 10°C erforderlich sind. Die Tiefkühlung der Milch bis auf ungefähr 3°C geschieht durch Sole von minus 8 bis minus 10°C, wobei je Liter Milch noch etwa 15 WE entzogen werden.

Die Kälteerzeugung¹⁾ kann nach zweierlei Verfahren erfolgen, und zwar entweder mittels Kompressionsmaschine oder mit Absorptionsmaschine. Die Kompressionsmaschine braucht ausschließlich Kraft, zu deren Erzeugung Dampf entsprechend hoher Spannung erforderlich

¹⁾ Siehe auch S. 209. „Industrie der Kälteerzeugung“.

ist, während die Absorptionsmaschine mit Dampf niederer Spannung, der schon früher in einer Kraftmaschine ausgenützt wurde, betrieben werden kann. Nachstehende Vergleichsziffern können als durchschnittliche Verbrauchszahlen für größere Kälteanlagen, einschließlich der im praktischen Betrieb auftretenden Verluste, angenommen werden.

I. Kompressions-Kältemaschine: Kälteleistung 2500 Kal. je PSst.

II. Absorptionsmaschine: Kälteleistung 200 Kal. je 1 kg Dampf

III. Gute Kondensations-Dampfmaschine: Dampfverbrauch 4,8 kg je PSst bei 18 atü Adm.-Druck und 350° C Überhitzung.

IV. Gegendruck-Dampfmaschine: Dampfverbrauch 7 kg je PSst. Dampfverhältnisse wie III, Gegendruck 0,5 atü.

Werden I und III gekuppelt, können je 1000 kg Dampf 522000 WE an Kälte gewonnen werden. Werden II und IV gekuppelt, können je 1000 kg Dampf 143 PSst und mit dem Abdampf 180000 WE an Kälteleistung erzeugt werden.

Werden die 143 PSst in einer Kompressionslage verwertet, so läßt sich eine weitere Kälteleistung von 357000 WE gewinnen, so daß also praktisch die zwei Zusammenstellungen nahezu die gleiche Leistung je 1000 kg Dampf erzeugen¹⁾.

Nun darf aber die Kälteerzeugungsanlage nicht als eine Einrichtung für sich behandelt, es müssen vielmehr alle Fragen, die im Zusammenhang mit ihr auftreten, im Rahmen der gesamten Kraft- und Wärmewirtschaft des betreffenden Betriebes gelöst werden. Es ist also unerlässlich, sich über die Höhe der Bedarfsziffern in den 3 Gruppen Kraft-, Wärme- und Kälte ein Bild zu machen.

In Zahlentafel 26 sind die Erfordernisse einer Großmolkerei für 10000 Liter Milch Verarbeitung je Stunde unter Berücksichtigung der Tages- und Jahreszeiten zusammengestellt. In der letzten Zeile wurde ein Jahresmittel aus den gefundenen Werten gezogen, um Durchschnittswerte zu erhalten. Es soll nun untersucht werden, welche Dampfmengen zur Deckung der in der Tafel 26 angegebenen Werte erforderlich sind. Wie schon früher erwähnt, sind verschiedene Zusammenstellungen zwischen Kraft- und Kälteerzeugung möglich. Die Untersuchung wurde für vier verschiedene Fälle angestellt und ist aus Zahlentafel 27 ebenfalls für jede Tages- bzw. Jahreszeit ersichtlich. Auch hier ist in der letzten Zeile ein Jahresmittel gezogen. Die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen gelten naturgemäß für alle anderen Zeiten, wenn nur hinsichtlich der Erfordernisse die in der Zahlentafel 26 angegebenen Werte eingehalten sind.

Die in Spalte 1 verzeichneten Zahlen sind unter allen Umständen erforderlich und unabhängig davon, welche Art der Kraft bzw. Kälteerzeugung gewählt wird. Infolgedessen erscheinen diese Werte in den Spalten 2 bis 5 unter Gesamtkraft ebenfalls.

¹⁾ Bei Verwendung von Gegendruckturbinen liegen die Verhältnisse ungünstiger. Der Wärmebedarf so kleiner Maschinen, wie sie für Molkereibetriebe in Frage kommen (höchstens 500 PS), ist auch dann, wenn schnellaufende Turbinen verwendet werden, bedeutend größer.

Der niedrigste Dampfbedarf ergibt sich in Spalte 5 bei einer Zusammenstellung von Gegendruckmaschine, Ammoniak-Kompressor und Absorptionsanlage. Hierbei wird der Frischdampf vollkommen in Kraft umgesetzt, der Abdampf zu Betriebszwecken und der Restabdampf zur Kälteerzeugung herangezogen. Die Absorptionsanlage wird hier gegenüber Spalte 4 wesentlich kleiner ausfallen, da ihr auch eine geringe Leistung zukommt. Hingegen wird der Kompressor stärker ausgeführt werden müssen als in Spalte 4, da die Kälteerzeugung mit diesen hier wesentlich größer ist. Die Zusammenstellung nach Spalte 3 ist trotz des günstigeren Frischdampfverbrauches gegenüber Spalte 4 doch von Nachteil, weil eine beträchtliche Menge unverwendbaren Abdampfes (freier Rest) in den Auspuff gehen. Die Zusammenstellung nach Spalte 2 stellt sich als die ungünstigste dar, da nicht nur für die Krafterzeugung, sondern auch für den sonstigen Betrieb Frischdampf zur Verarbeitung kommt.

Zahlentafel 26.

Betriebsverhältnisse für 10000 l Milch je Stunde		Kraft PSst	Nutzdampf in kg/st				Kältebedarf in Kal.		
			Entkeimung	Waschen u. Trocknen	Heizung	Gesamt	Betrieb	Blockeis-erzeugung	Gesamt
Sommer:	Vormittag .	180	1100	130	—	1230	150000	160000	310000
	Nachmittag	30	—	120	—	120	—	160000	160000
	Zusammen .	210	1100	250	—	1350	150000	320000	470000
Winter:	Vormittag .	180	1100	130	300	1530	150000	25000	175000
	Nachmittag	30	—	120	100	220	—	25000	25000
	Zusammen .	210	1100	250	400	1750	150000	50000	200000
Jahresmittel . .		210	1100	250	200	1550	150000	185000	335000

Selbstverständlich sind diese Verhältnisse, wie sie in Zahlentafel 27 niedergelegt sind, nur als Beispiel zu werten. Den einzelnen Molkereibetrieben werden fast durchweg auch verschiedene Nebenabteilungen angegliedert sein (Butter, Käse, Eiscreme usw.), die ebenfalls Kraft, Wärme und Kälte erfordern, so daß sich die in Zahlentafel 26 niedergelegten Werte, bezogen auf 10000 Liter Genußmilch je Stunde, wesentlich ändern können. Aber auch da werden sich die Verhältnisse meist zugunsten der in Spalte 5 angeführten Zusammenstellung ergeben. Es ist daher immer zu erwägen und wird meist wirtschaftlich sein, zu einer bestehenden Anlage, die Kraft mittels Gegendruckmaschine und Kälte mittels Kompressor erzeugt, auch noch nachträglich eine Absorptionsanlage hinzustellen. Die Kosten einer solchen sind gegenüber einer Kompressoranlage gleicher Leistung wohl um 30 bis 40% höher. Hingegen stellt sich der Betrieb um etwa 12 bis 16% niedriger.

Noch ein Umstand ist bei Behandlung der Gesamtheit der energiewirtschaftlichen Fragen von besonderer Wichtigkeit. Aus Zahlentafel 26 ist zu ersehen, daß im Sommer ein großer Bedarf an Kälte ist, während

Zahlentafel 27.

	1		2				3				4				5					
	Fabr. Kraft l. Tafel Nr. 26	PSst	Kälte Kraft		Dampfbedarf		Kälte Kraft	Ges. Kraft	Dampfbedarf		Kälte Kraft	Ges. Kraft	Dampfbedarf		Kälte Kraft	Ges. Kraft	Dampfbedarf		Kälte Kraft	Ges. Kraft
			für Fabrikation	Zus.	für Fabrikation	Freier Rest			für Fabrikation	Freier Rest			für Fabrikation	Freier Rest			für Fabrikation	Freier Rest		
			kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde	kg je Stunde
Sommer:	Vorm. . .	180	124 304	1460 2690	1230	2690	2130	900	1230	900	2240	1010	1230	1010	1806	576	1230	576	1806	576
	Nachm. . .	30	64 94	450	120	570	660	540	120	540	580	460	120	460	469	349	120	349	469	349
	Zusammen	210	188 398	1910	1350	3260	2790	1440	1350	1440	2820	1470	1350	1470	2275	925	1350	925	2275	925
Winter:	Vorm. . .	180	70 250	1200	1530	2730	1750	220	1530	220	2076	540	1530	540	1673	143	1530	143	1673	143
	Nachm. . .	30	10 40	190	220	410	280	60	220	60	326	100	220	100	259	39	220	39	259	39
	Zusammen	210	80 290	1390	1750	3140	2030	280	1750	280	2390	640	1750	640	1932	182	1750	182	1932	182
Jahresmittel. . .	210	134 344	F 1650	F 1550	F 3200	F 2410	A 860	A 1550	A 1550	F 2605	A 1055	A 1550	A 1055	F 2103,5	A 553,5	A 1550	A 553,5	F 2103,5	A 553,5	

Anmerkung: Spalte 2 Kondensationsmaschine und Ammoniakkompressor.

” 3 Gegendruckmaschine und Ammoniakkompressor.

” 4 Gegendruckturbine, Ammoniakkompressor und Absorptionsanlage.

” 5 Gegendruckmaschine, Ammoniakkompressor und Absorptionsanlage.

„F“ = Frischdampf; „A“ = Abdampf.

der Nutzdampfbedarf infolge des Ausfallens von Heizungen geringer wird, und daß sich umgekehrt im Winter der Dampfbedarf höher stellt, während der Kältebedarf wesentlich kleiner wird. Bei der in Zahlentafel 27, Spalte 5 angeführten Zusammenstellung wirkt sich diese Eigenheit des Molkereibetriebes ganz besonders günstig aus. Der im Sommer zur erhöhten Kälteerzeugung verwendete Abdampf wird im Winter vornehmlich für Raumheizungszwecke benützt; trotz des höheren Bedarfes an Betriebs- und Heizdampf ergibt sich eine niedrigere Frischdampfzeugungsziffer als im Sommer.

Im praktischen Betrieb werden selbstverständlich diese Werte nicht so gleichmäßig jede Stunde auftreten, wie sie in der Zahlentafel niedergelegt sind. Es ergeben sich vielmehr große Schwankungen, die möglichst auszugleichen, geboten erscheint, wenn ein wirtschaftlicher Betrieb gesichert sein soll. Die Kraftschwankungen äußern sich bei der in Spalte 5 angegebenen Zusammenstellung in der mehr oder weniger anfallenden Abdampfmenge. Um hier ausgleichend zu wirken, kann ein Speicher verwendet werden, der jedoch unter Umständen recht groß ausfällt. Auch der Kältebedarf schwankt, und es erscheint auch hier von allergrößter Wichtigkeit, Einrichtungen zu treffen, welche die Schwankungen von Bedarf und Erzeugung ausgleichen. Durch die Aufstellung einer Absorptions-Kältemaschine ist es aber möglich, ohne Benutzung eines Dampfspeichers die Abdampfschwankungen auszugleichen und gleichzeitig den wechselnden Bedürfnissen an Kälte gerecht zu werden, in der Weise, daß bei Anfall großer, im Betrieb augenblicklich unverwertbarer Abdampfmengen diese in Kälte umgesetzt werden und in Kältespeichern zur Aufbewahrung kommen. Zu Zeiten hohen Bedarfes an Abdampf wird dieser in seiner Gänze für den Betrieb herangezogen, während der Kältebedarf aus dem Kältespeicher gedeckt wird. Dabei stellt sich der Kältespeicher als eine einfache und verhältnismäßig billige Einrichtung dar. Die Speicherung der Kälte erfolgt dadurch, daß in den Kreislauf der Soleleitung ein isolierter Behälter eingeschaltet wird, in dem die auf die Verwendungstemperatur (etwa -10° oder noch tiefer) abgekühlte Sole zur Aufbewahrung kommt. Diese Art der Speicherung ist auch dort, wo keine Absorptions-Kälteanlagen in Verwendung stehen, von großer Wichtigkeit, weil damit der Betriebsleitung die Möglichkeit gegeben ist, den Kompressor, und somit die Kraftanlage mit einer Durchschnittsbeanspruchung laufen zu lassen, ohne auf die Schwankungen des Kältebedarfes besondere Rücksicht nehmen zu müssen. Eine mit solchen Mitteln erzielbare Vergleichsmäßigung des Dampf- und Kraftbetriebes wird sich unter allen Umständen in einer entsprechenden Kohlenersparnis, hervorgerufen durch den günstigen Nutzeffekt der Wärmekraftzentrale, auswerten.

Sonstige Lebensmittel.

Auch die Kakao- und Schokolade-Industrie hat mit der Entwicklung zum Großbetrieb neue Wege wirtschaftlicher Arbeitsweise beschritten und arbeitet ständig an der Ausgestaltung und Verbesserung der Einrichtungen. Das Kraft- und Dampfbedarfsbild in Schokoladefabriken ist in wärmewirtschaftlicher Beziehung ähnlich dem der Brauereien. Der Kraftbedarf ist nicht unerheblich, kann aber durch Zwischendampf- oder Gegendruckbetrieb ohne nennenswerte Brennstoffkosten gedeckt werden. Dabei ist es mit Rücksicht auf die Erzeugungsart wohl in den meisten Fällen möglich, den Gegendruck niedrig zu halten (0,5 at oder Heißwasser können verwendet werden), da nur für wenige Stellen ein höherer Dampfdruck benötigt wird, der unter Umständen im Zwischendampfbetrieb gewonnen werden kann. Die Temperaturen, die notwendig sind, bewegen sich zwischen 50 bis 70° C und nur gewisse Kocher, die zu schnellem Anwärmen oder Kochen dienen sollen, brauchen Temperaturen bis zu 100° C. Ein Nachteil in der Schokoladenindustrie ist die Benützung des Kochers mit Halbkugelform, der der Verwendung niedergespannten Abdampfes meist im Wege steht. Die Kugelform ist ja bekanntlich der Körper größten Inhaltes bei kleinster Oberfläche, während gerade bei niedrig gespanntem Dampf große Heizflächen erforderlich sind. Die Folge davon ist, daß bei diesen Einrichtungen vielfach mit durchströmendem Dampf gearbeitet wird, wodurch, wenn nicht die Möglichkeit besteht, Brüden wieder zu verwenden, ziemlich beträchtliche Verluste durch abgehende Schwaden entstehen. Bei diesem Fabrikationszweig spielt weiter auch noch das Bestreben eine wichtige Rolle, das Aroma des verarbeiteten Gutes möglichst zu verfeinern, was durch geeignete Sondereinrichtungen zum Aufbereiten und Trocknen der Ware erzielt werden soll. So sind beispielsweise Karussell-Wärmeschränke in Betrieb genommen worden, die sich bestens eingeführt haben und auch für die Aufbereitung wurde in der weit leistungsfähigeren Umlauf-Reibmaschine ein Fortschritt gegenüber der Längs-Reibmaschine erzielt.

Jedenfalls ist diese Industrie ganz besonders in der Lage, ihre Einrichtungen vom Frischdampfnetz abzuschalten und Beheizung mit Heißwasser bzw. Kondensaten durchzuführen und dadurch das Kohlenkonto ganz beträchtlich herunterzusetzen. Die genaue Überprüfung und sorgfältige Durchbildung des Dampf- und Kondensationsnetzes wird auch hier meist erhebliche Ersparnisse erzielen lassen.

Kaffee, Reis, Teigwaren, Pflanzenfett u. v. a. machen, bevor sie dem Verbrauch zugeführt werden, mehr oder minder verwickelte Arbeitsvorgänge durch, die sich immer mehr in ihrer Gesamtheit in Großbetrieben vereinigen und hier durch eingehende Studien vervollkommen und verbessert werden.

VI. Gärungsindustrie (Brauerei, Spiritus, Preßhefe) und ihre Abfallstoffe.

Die wesentlichsten Zweige der Gärungsindustrie sind die Bierbrauerei, die Spiritusbrennerei und die Hefeherzeugung.

Bei der Bierbrauerei wird aus Malz und Wasser eine zuckerhaltige, gärungsfähige Flüssigkeit erzeugt, diese in einem Kochvorgang mit Hefe gewürzt, sodann abgekühlt und durch die Gärung kohlenensäure- und alkoholhaltig gemacht. Nach Kühlung und Lagerung in entsprechend kalten Räumen wird das Bier dem Konsum zugeführt.

In der Spiritusbrennerei wird eine Maische aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen (Getreide, Kartoffeln u. a.) oder aus Kohlenwasserstoffe enthaltenden Abfällen anderer Industrien (Zuckerfabriks-Melasse, Zellulosefabriks-Ablauge) erzeugt, durch Zusatz von Gärungserregern vergoren und die so gewonnene alkoholhaltige Maische „gebrannt“ (entgeistet), wobei einerseits der Spiritus, andererseits als Abfallstoff die Schlempe gewonnen wird. Getreide und Kartoffelmaischen verlangen einen größeren, Melasse und Ablauge einen geringeren Aufwand an Wärme und Kraft.

Die Herstellung von Hefe geschieht in der Weise, daß Hefepilze gezüchtet werden, die für ihr Wachstum und ihre Fortpflanzung eine Nährflüssigkeit, vorwiegend Zucker, benötigen. Nach dem Gärungsvorgang, bei dem sich diese Entwicklung abspielt, wird aus der vergorenen Würze durch Separatoren die hefehaltige Flüssigkeit abgetrennt und dann in Pressen entwässert. Auch hier gibt es ähnlich der Spirituserzeugung im wesentlichen 2 Verfahren, das eine verwendet wieder eine aus Getreide hergestellte Nährflüssigkeit, während bei dem anderen Melasse oder Ablauge zur Verarbeitung kommt.

Allen drei Zweigen gemeinsam ist, sofern Getreide verarbeitet wird, die Herstellung von Grünmalz aus Gerste. In diesem Falle finden auch die Abfallstoffe (Treber, Schlempe) als Kraftfutter eine wertvolle Wiederverwendung. Aber auch die entgeistete Melasse und Ablauge wird noch durch Trocknung bzw. Eindickung verwertet.

Außer Kraft und Wärme ist in der Brauerei, aber auch bei der Hefeherstellung die Frage der Kältebeschaffung und auch die Klareiserzeugung von großer Bedeutung (s. diesbezüglich Kälteindustrie S. 209).

Bierbrauerei.

In der Bierbrauerei zerfällt der Brauvorgang in folgende Abschnitte: das Malzen (Darren), das Einmaischen, Würzekochen, Kühlen der Würze und die Gärung.

Unter Malzen versteht man die Umwandlung von Gerste in Malz. Zu diesem Zwecke wird die Gerste auf Trommelreinigern von Staub,

Gras und Bruchkörnern gesäubert, sodann auf geräumigen luftigen, übereinanderliegenden Böden gelagert. Innerhalb dieser wird durch eine im höchsten Teil angebrachte Förderschnecke, zu der durch alle Stockwerke durchführende Becheraufzüge gehen, und durch entsprechend verteilte Abfallrohre eine zweckmäßige Verbindung geschaffen, die die Grundbedingung für eine sachgemäße Lagerung ist. Die für diese Zwecke vielfach in Verwendung stehenden Luftförderanlagen haben einerseits einen größeren Kraftbedarf, andererseits schädigen sie das Korn in weit höherem Maße als andere Beförderungsmittel. Der Kraftaufwand für einen 4-Stockwerk-Lagerraum auf einer Grundfläche von etwa 240 m² kann mit 15 PS angesetzt werden, wobei in der Arbeitszeit von 8 Stunden mindestens 50 t Frucht ein- oder umgelagert werden können (d. s. etwa 2,4 PSst je t).

Die Gerste wird nun im Wasser geweicht, wodurch das Korn Quellreife erhält, und sodann auf der Tenne für den Keimvorgang vorbereitet, wobei ein Wenden des Gutes von Hand aus oder durch mechanische Tennenmalzwender erfolgt. Auch der Keimvorgang kann auf mechanischem Wege durchgeführt werden, wozu unter anderem die „thermopneumatische“ Keimtrommel dient, in die entsprechend gewärmte und befeuchtete Luft eingblasen wird, das Keimgut durchsetzt und durch den gelochten Mantel austritt. Die Trommel wird dabei durch eine Schnecke beständig in langsamer Umdrehung gehalten.

Das fertig geweichte Malz, das Grünmalz, muß, um lagerfähig zu werden, gedarrt werden, ein Vorgang, der besondere Sorgfalt erheischt. Die Güte des Malzes wird dadurch wesentlich beeinflusst.

Die Darren sind turmartige Gebäude mit zwei, selten drei übereinander befindlichen Siebböden (Horden), einer unten eingebauten Wärmequelle und einem oben aufgesetzten Abzugsschlot. Auf die Horden wird das Grünmalz aufgelegt und nun durchzieht der Wärmeträger (Luft oder Heizgase) das Darrgut, bringt das darinnen befindliche Wasser zur Verdunstung und geht zusammen mit dem Wasserdampf durch den Kamin ab. Die älteren Bauarten (Rauchgasdarrn) arbeiten mit Heizgasen, die auf den unten im Turm eingebauten Rost durch Verbrennung von oft recht minderwertigen Brennstoffen entstehen. Später wurden diese Gase durch Heizrohre, die von Luft umspült waren, geleitet (Luftdarrn). Die so erhitze Luft zog durch die Horden in den Kamin. Die neuesten Ausführungen verwenden Heißluftherzeuger, die mit Dampf beheizt werden. Außerdem wird durch Ventilatoren eine bessere Zugeinstellung ermöglicht. Schließlich wird durch mechanische Wender die Handarbeit verringert. Die Temperaturen, mit denen auf der Darre gearbeitet wird, liegen je nach dem Verfahren zwischen 70 und 100° C. Den Wärmeaufwand für das Darren gibt Dr. Leberle¹⁾

¹⁾ Die Bierbrauerei, I. Teil. Stuttgart: Verlag Enke.

bei direkt beheizten Zwei-Hordendarren mit 140000 bis 160000 WE je 100 kg geputzten Malzes an. Das Grünmalz wird mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 42 bis 44% aufgetragen, während das Darrmalz nur mehr etwa 5% Wasser enthält.

Eine Vereinfachung des Darrens bildet die Verwendung der Trommeldarren. Hier wird Heißluft mittels Exhaustoren durch das Grünmalz durchgezogen, während sich die Trommeln in langsamer Umdrehung befinden. Die Warmlufterzeugung geschieht mit Abdampf und kann dem jeweiligen Bedarf entsprechend mit Hilfe der Absperrventile genau geregelt werden. Dieser Betrieb stellt sich sehr billig; der Wärmeaufwand ist auch bei Frischdampfverwendung geringer als bei besten Hordendarren, da die abziehende Warmluft neuerdings dem Heizkörper zugeführt werden kann (Umluftbetrieb). Auch der Kraftbedarf für eine solche Darre ist geringer als der für Hordendarren mit mechanischen Wendern und Ventilatoren. Der Wärmeaufwand bei Verwendung von Trommeldarren kann für den ganzen Vorgang von der Gerste bis zum fertigen Malz mit etwa 50000 bis 60000 WE je 100 kg Malz angesetzt werden.

Das Einmaischen umfaßt den Arbeitsgang vom Schroten des Malzes bis zum Abläutern der Würze. Das Schroten geschieht auf Walzenstühlen mit 1 oder 2 geriffelten Hartgußwalzenpaaren und nachfolgender Sortierung, für welche Arbeit man je 100 kg Malz 0,5^{PS}st rechnen kann. Das geschrotete Malz wird mit der ungefähr 5fachen Menge Wasser versetzt, das je nach dem Verfahren kalt (10 bis 15°), warm (35°) oder heiß (62 bis 65°) in Verwendung kommt (Überschwänzen); für 100 kg Malz ist somit zunächst für das Einmaischen mit höchstens 30000 WE zu rechnen. Von der Maische werden nun bestimmte Mengen (Teilmaischen) gekocht und dem nicht gekochten Rest zugemischt. Dadurch wird ein weiterer Wärmeaufwand erforderlich. Die Würze wird sodann geklärt („geläutert“), wodurch sie von den unlöslichen Rückständen, den Trebern, befreit und hierauf mit Hopfen unmittelbar oder mit dem gesondert bereiteten Hopfensud verkocht wird.

Die Kochvorgänge sowohl der Maische, als auch der Würze geschehen in den Braupfannen, Gefäße von blasenförmiger Form mit Rührwerk, wenn sie zum Maischen, ohne Rührwerk, wenn sie zum Hopfen dienen.

Die Ausnützung des Brennstoffes in den unmittelbar beheizten Pfannen ist wegen der aus brautechnischen Rücksichten vorgeschriebenen Arbeitsweise, die kurze Kochzeiten und längere Rastzeiten vorschreibt, ungünstig und kann nur mit 45 bis 50% angesetzt werden.

Die Dampfbraupfannen arbeiten dagegen wesentlich wirtschaftlicher. Bei diesen sind entweder Doppelböden oder eingelegte Heizschlangen angeordnet. Da hier keine Gefahr des Anbrennens besteht, entfällt meist

auch das Rührwerk. Außerdem erleichtern die Dampfabsperrventile die für den Brauvorgang wichtige Einhaltung der vorgeschriebenen Temperaturen. Bei Benützung von Frischdampf ergibt sich je nach dem Wirkungsgrad der Kesselanlage eine bis zu 25% bessere Brennstoffausnützung als bei unmittelbarer Feuerung. Wenn also bei unmittelbarem Kochen je 100 kg Malz 22 kg Kohle von 5500 WE verheizt werden, so kann bei Dampfheizung mit etwa 17 kg das Auslangen gefunden werden. Zum Kochen wird aber vorteilhafterweise Abdampf oder Zwischendampf verwendet, besonders dann, wenn durch Dampfspeicherung zugleich eine Gleichmäßigkeit des Betriebes erreicht wird.

Im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts hat die Abdampfverwertung in ihren verschiedensten Arten in der Brauerei rasch eine große Verbreitung gefunden, und es ist wohl heute kaum mehr eine Brauerei zu finden, in welcher der in den dampfgeheizten Braupfannen verwendete Dampf nicht schon vorher zur Krafterzeugung ausgenützt worden wäre, so daß die Kosten der Dampfkochung ganz geringfügige werden. Um so größer wird der Kostenunterschied gegenüber dem Feuerkochen. Wenn dieses trotzdem heute durch die Dampfkochung nicht vollkommen verdrängt ist und sogar in einzelnen Betrieben neuerlich wieder eingeführt wird, sind hierfür nicht Rücksichten der Wärme- und Brennstoffersparnis maßgebend, sondern in erster Linie Beweggründe rein brautechnischer Natur (siehe diesbezüglich auch S. 32). Beim Feuerkochen ist dann auch der Bezug von Fremdstrom für Kraftzwecke naheliegend. Es findet sich auch in der Brauindustrie eine erhöhte Verwendung von Fremdstrom. Das Jahrbuch der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei, 1928 berichtet, daß Anschlüsse mit einem Verbrauch von 250000 bis 500000 kWst mehrfach neu eingerichtet wurden.

Die mit Hopfen gewürzte Flüssigkeit wird nach vollendetem Sudvorgang auf sogenannte Kühlschiffe gepumpt, auf denen durch entsprechende Luftbewegung einerseits ein Abkühlen, andererseits eine Luftaufnahme des Gebräues erfolgt. Sodann wird die Temperatur der Würze im Würzekühler noch weiter heruntergetrieben, worauf die Flüssigkeit in den Gärbottich kommt, wo sie, mit Hefe versetzt, zum Zwecke der Alkoholbildung der Gärung überlassen wird. Das Wesentlichste der Bierherstellung ist hiermit vollendet.

Die weitere Behandlung spielt sich im Lagerraum ab, von dem aus das Fässer- und Flaschenfüllen, das Schließen der Gefäße und Flaschen, Verpacken und Herrichten zum Versand besorgt wird. Hier sind noch einige wichtige kraft- und wärmeverbrauchende Abteilungen; die Reiniger für Holzgefäße und für Flaschen brauchen eine ziemliche Menge Warmwasser, der sogenannte Pichvorgang zur Erhaltung und Dichtung

der Holzbehälter wird im Großbetrieb vielfach mittels Heißlufteinrichtungen durchgeführt; zur Erhöhung der Haltbarkeit wird das abgefüllte Bier auf 50 bis 60° C erwärmt und auf dieser Temperatur durch eine bestimmte Zeit gehalten (Pasteurisieren).

Der Verlauf des Dampfbedarfes einer Brauerei zeigt Schwankungen, welche durch die Aufeinanderfolge der einzelnen Vorgänge hervorgerufen werden. Die Spitzen des Dampfbedarfes treten in der Regel während der einzelnen Kochungen (Sude) bei Dampfkochung auf und können gegebenenfalls verhältnismäßig groß sein, siehe Abb. 42 (aus Bd. I S. 6). Von wesentlichem Einfluß für die Verringerung der Schwankungen ist daher eine zweckentsprechende Aneinanderreihung der einzelnen Vorgänge; besonders muß womöglich das Überschneiden

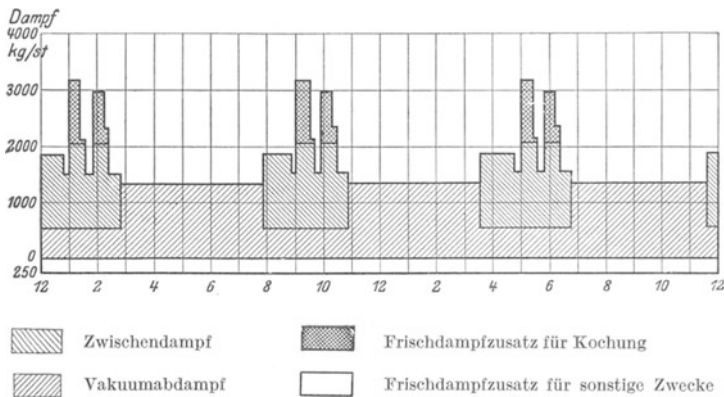


Abb. 42. Betriebsbild einer Brauerei.

einzelner Sude, welche eine Überlagerung von Verbrauchsspitzen zur Folge hätte, vermieden werden. Hier liegen die Voraussetzungen für die Vergleichmäßigung des Dampfverbrauches ähnlich wie in der Zellstoffindustrie (S. 119 u. ff.), bei welcher eben diese Frage eingehend behandelt wurde. Auch in den folgenden Ausführungen über Speicherung (S. 252 u. ff.) werden sich wichtige Anhaltspunkte finden, wie die im Kesselbetrieb der Brauereien oft empfindlichen Störungen durch Spitzenbedarf mit all ihren nachteiligen Folgen für die Wirtschaftlichkeit möglichst vermieden werden können.

Neben all diesen Fragen kommt im Rahmen der Energiewirtschaft einer Brauerei auch der Kälteanlage eine große Bedeutung zu, und zwar einerseits mit Rücksicht auf die Kühlvorgänge, die bei der Herstellung in Frage kommen und im vorstehenden schon z. T. erwähnt wurden, andererseits aber auch für die Lagerung des Bieres, d. h. also für die Kühlung der Lagerräume. Schließlich ist in vielen Brauereien auch noch eine besondere Eiszerlegungsanlage notwendig, um die Ab-

nehmer im Interesse der richtigen Erhaltung des Bieres mit Eis zu beliefern. Die richtige Durchführung der Kühlvorgänge im Zuge des

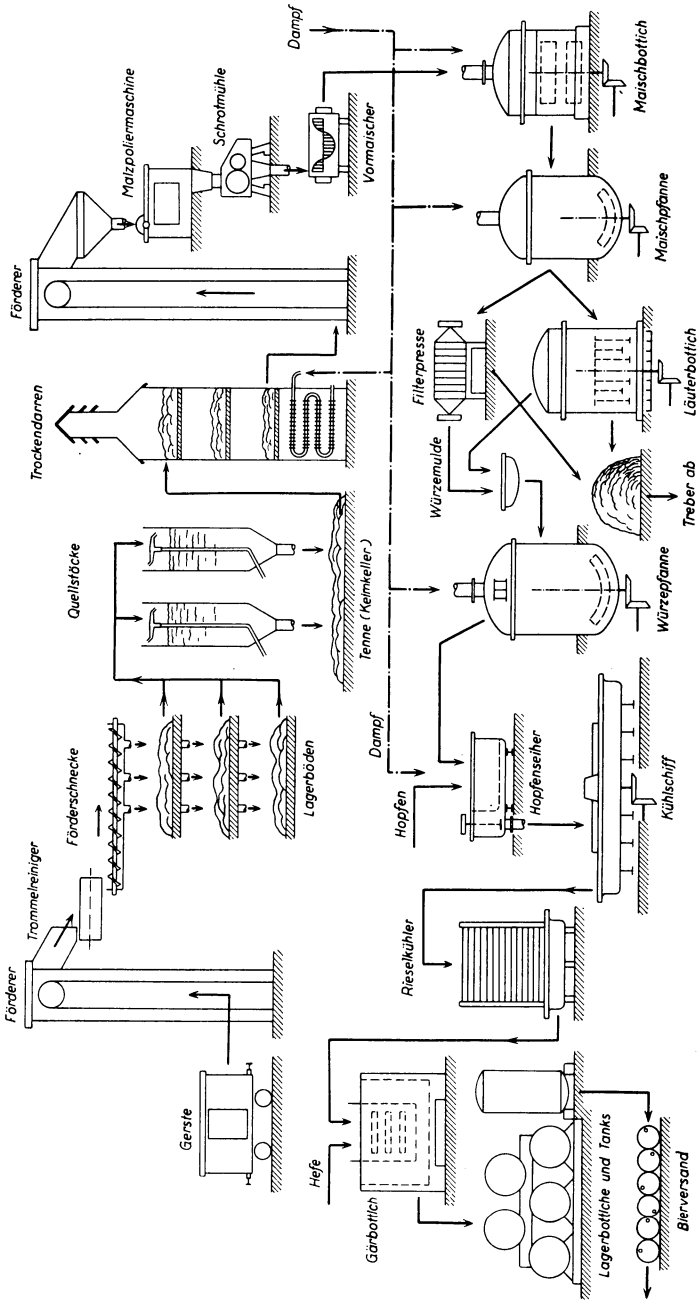


Abb. 43. Schematische Darstellung der Biererzeugung.

Brauprozesses ist für die Güte des Bieres von ausschlaggebender Bedeutung. Nicht nur die Temperatur, sondern auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Abkühlung erfolgt, ist hierbei von Wichtigkeit. Es ist sohin notwendig, die Kühlung in einzelnen Abschnitten der Fabrikation durch Sole mit einer Temperatur unter dem Gefrierpunkt, in anderen Abschnitten wieder durch Süßwasser von Temperatur höher als der Gefrierpunkt zu bewerkstelligen oder aber diese beiden Kühlarten nacheinander in Verwendung zu bringen.

Der Einfluß, den die Kältebeschaffung in der Brauerei auf ihre gesamte Energiewirtschaft ausübt, ist von ebensolcher Bedeutung, wie sie bereits ausführlich bei Besprechung über Molkereibetriebe (s. S. 157 u. ff.) dargelegt wurde. Es erfordert infolgedessen die Frage der günstigsten Deckung des Kältebedarfes auch in der Bierbrauerei Erwägungen, wie sie dort an Hand eines ziffernmäßigen Beispielen angestellt wurden, wobei auch hier die Kältespeicherung den gleichen Einfluß auf Wirtschaftlichkeit und sonstige Vorteile besitzt.

Zur leichteren Verfolgung des im vorigen besprochenen Erzeugungsganges ist in Abb. 43 das Schema einer Brauerei ohne Berücksichtigung der Kälteanlage dargestellt. Ein derartiges Schema ist für jede einzelne Anlage jedes Industriezweiges für viele Zwecke von großem Vorteil. Die größte Bedeutung hat es schon für die Festlegung der bautechnischen Grundlagen eines Neubaus, denn es gibt Fingerzeige für die zweckmäßigste Anordnung der einzelnen Betriebsräume zueinander. Für die Energiewirtschaft ist es deshalb wichtig, weil es die Möglichkeit gibt, die wärmeverbrauchenden Abteilungen mit Rücksicht auf wirtschaftliche Wärmeleitung richtig anzuordnen und dgl. mehr.

Abb. 44 zeigt das Schaltungsbild der Kessel- und Kraftzentrale einer Großbrauerei bei Verwendung eines Dampfspeichers¹⁾. Maßgebend für den Entwurf dieser Anlage war das Bestreben, die bei der Krafterzeugung anfallende Abwärme für Betriebszwecke möglichst vollkommen auszunützen. Als wärmewirtschaftlich günstigste Verhältnisse ergaben sich hier: Frischdampfdruck 25 atü, Überhitzung 400° C, Krafterzeugung in einer Kondensationsturbine mit Zwischendampfentnahme und ein Speicher geschaltet zwischen Hoch- und Niederdrucknetz. Der Entnahmedampf wird zur Deckung des Bedarfes der einzelnen Verbrauchsstellen (Sudhaus, Speisewasseraufbereitung, Raumheizung u. a. verwendet). Das aus dem Turbinenkondensator austretende Wasser wird zur Deckung des Heißwasserbedarfes herangezogen und dementsprechend in seiner Menge niedriger gehalten, um höhere Austrittstemperaturen zu bekommen. Der Speicher, vornehmlich zum Ausgleich der Dampfverbrauchsschwankungen im Sudhaus bestimmt, ist an diese Leitung angeschlossen, gleichzeitig aber auch mit der 25 atü-Leitung in Verbindung, um überschüssigen Hochdruckdampf aufnehmen zu können.

Auch Abb. 45 gibt das Schema einer Dampfverteilungsanlage in einer Brauerei wieder. Hier ist in eine bestehende Anlage zur wirtschaftlicheren Ausnützung nachträglich ein Speicher (zwischen 4 und 2,5 atü arbeitend) eingeschaltet, und

¹⁾ Bießmann, Dipl.-Ing.: Industriekraftwerke. Wärme 1928, Nr. 42.

zwar in das Niederdrucknetz, an welches die ungleichmäßigsten Dampfverbraucher angeschlossen sind. Die Verbindung des Speichers mit dem Frischdampfnetz ermöglicht auch seine Ladung durch Kesseldampf. Dadurch kann bei gleichmäßiger

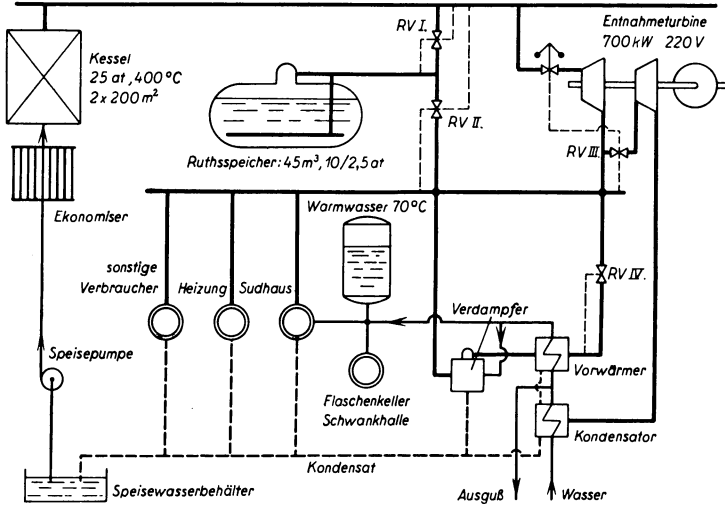


Abb. 44. Schaltungsbild der Dampf- und Kraftzentrale in einer Großbrauerei (Bießmann a. a. O.).

Kesselbelastung und ohne Vergrößerung der Kesselheizfläche den Verbrauchsstellen genügend Nutzdampf zur Verfügung gestellt werden. Die Kondensation der Entnahmetandemaschine arbeitet mit Ablaufwasser von höherer Temperatur

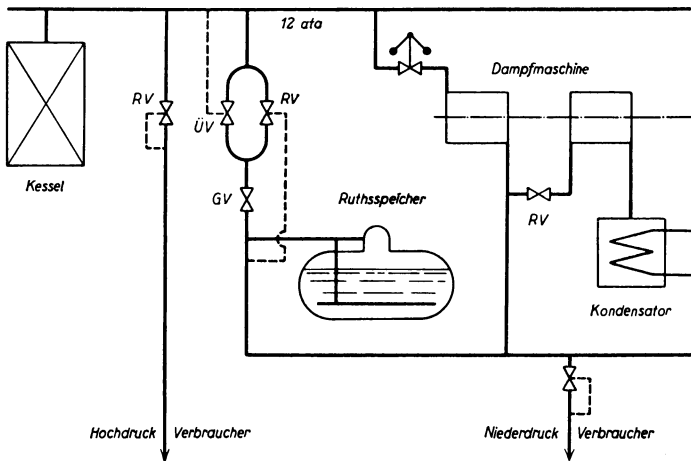


Abb. 45. Schema der Dampfverteilung in einer Brauerei (Bießmann a. a. O.).

aus demselben Grunde, wie schon bei der früheren Anlage ausgeführt. Das benötigte ölfreie Wasser (z. B. für Flaschenreinigung) muß in Gegenstromwärmern aus dem Abdampf erzeugt werden. Besonders bemerkenswert ist die Einfachheit, mit der das Speicherelement unter Zuhilfenahme einiger Ventile und einiger Rohrstränge in die bestehende alte Anlage eingefügt werden konnte.

Spiritus (Alkohol).

Bei der Spirituserzeugung aus Mais wird zunächst in stehenden Gefäßen (Henzedämpfern) von oben zylindrischer, nach unten im langen Konus auslaufender Form der trockene, vom Kolben abgelöste Mais eingebracht, mit warmem Wasser (150 bis 200 l je 100 kg Mais) geweicht und bei einem Druck von 5 atü einer Dämpfung unterzogen. Gleichzeitig wird die Gerste als Grünmalz (s. S. 164) zu Malzmilch verarbeitet, wobei das Malz auf gegeneinander umlaufenden, geriffelten Walzen (Quetschen) oder Schneckenmühlen (Rolandmühlen) zerdrückt bzw. zerschnitten und dann in Rührwerktrummeln reichlich mit Wasser durchgemischt wird. Der gedämpfte Mais und die Malzmilch kommen nun in einen stehenden Behälter mit Rührwerk (Verzuckerer oder Vermaischer) in dem einerseits eine Kühleinrichtung für Wasserkühlung (überdies fallweise auch Luftkühler), andererseits Vorrichtungen zum Einführen von Dampf vorgesehen sind. Von hier wird die Maische durch Kühler in die Gärbottiche gepumpt, in denen zu diesem Zwecke besonders zubereitete („angestellte“) Hefe zugesetzt wird.

Die zum Anstellen dieser Hefe verwendeten Hefeansatzkocher sind im Wesen dem Vormaischbottich ähnlich und ebenfalls mit Rührwerk und eingebauter Rohrschlange, die für Dampf und Kühlwasser Verwendung findet, versehen. Die hier durch Verzuckern von Gerste, Hafermalz oder geschrotetem Roggen hergestellte Hefemaische wird in kleinen Bottichen gesäuert. Dieser Vorgang erfordert eine Flüssigkeitstemperatur von über 50° C. Die Hefekammer, in der die Bottiche zu diesem Zwecke aufgestellt werden, muß durch geeignete Heizkörper entsprechend heiß gehalten werden. Die gesäuerte Hefemaische muß dann nochmals für kurze Zeit auf etwa 75° C aufgewärmt und schließlich auf die Gärungstemperatur heruntergekühlt werden. Erwärmung und Kühlung erfolgt meist durch Eintauchkühler (das sind an geeigneten Hubwerken befestigte Kupferrohrschlangen, die in den Bottich eintauchen), durch die zunächst Dampf und dann Kühlwasser durchgeleitet wird. Nach Zusatz dieser Anstellhefe zur Hauptmaische erfolgt der eigentliche Gärungsvorgang; er verläuft ohne zusätzliche Wärmemenge, dahingegen müssen die Gärlokale mitunter mittels Ventilatoren durchlüftet werden.

Die Maisbrennerei ist in Europa vornehmlich in den Donauländern verbreitet, während Deutschland und Österreich, die Mais zu diesem Zwecke einführen müßten, in erster Linie die Kartoffel zur Spirituserzeugung verwenden. Infolgedessen findet man auch in der deutschen Literatur meist nur für das zweite Verfahren genauere Angaben über den Kraft- und Wärmehaufwand.

In Abb. 46 ist das Schema einer Kartoffelbrennerei dargestellt, das bis auf die Kartoffelwäscherei im Wesen auch für das Maisverfahren

gilt. Die Kartoffeln werden, nachdem sie auf mechanischem Wege in

Waschtrommeln oder Waschmaschinen gereinigt worden sind, in den Henzedämpfer eingebracht, in dem die Dämpfung bei einem Druck von etwa 4 atü vor sich geht. Alle weiteren Arbeitsgänge decken sich annähernd mit jenen des Maisverfahrens. Auch die Kraft- und Wärmeverbraucher sind denen des ersteren Verfahrens im weiteren Verlaufe des Vorganges im wesentlichen gleich.

Die süße Maische kann schließlich auch aus Melasse erzeugt werden, was jedoch vor allem im Großbetrieb besondere zusätzliche Einrichtungen erfordert. Zunächst muß für das Anwärmen der Melasse in den Wintermonaten vorgesorgt werden, und zwar sowohl beim Entladen der Eisenbahnwagen, als auch beim Abpumpen der Vorratsbehälter, die wegen ihrer Größe meist im Freien stehen. Hierfür ist mit 10 bis 15 kg Dampf je 100 kg Melasse zu rechnen. Für die Melassebewegung sind Pumpen nötig, besonders für das Auffüllen der meist im obersten Stockwerk der Anlage untergebrachten Tagesbehälter. Werden Dampfpumpen benützt, so kann der Abdampf zum Anwärmen herangezogen werden.

Das Herstellen der süßen Maische geschieht hier durch kaltes Mischen von Melasse

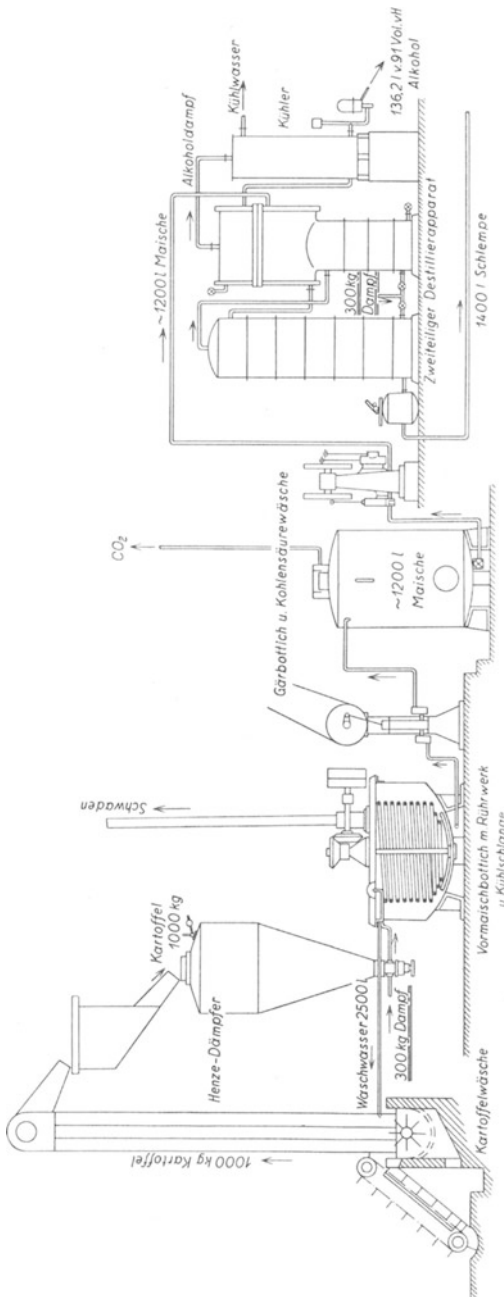


Abb. 46. Schema einer Kartoffelbrennerei.

und Wasser in der Mischmulde, während für die Hefebereitung Absatzgefäße und -bottiche Verwendung finden, die mit Dampf- bzw. Kühlschlangen und Belüftungseinrichtungen versehen sind. Die Durchlüftung der Hefe beim Absetzen geschieht mittels Kolbenluftverdichter oder neuerlich auch durch elektrisch angetriebene Kreiselgebläse. Im übrigen gibt es hier keine nennenswerten Kraftverbraucher. Von großer Wichtigkeit sind bei diesem, wie auch bei den früher beschriebenen Verfahren Dampfanschlüsse an sämtlichen Leitungen, die Hefe und Melasse führen, um durch kräftiges Ausdämpfen Verunreinigungen (Infektion) zu vermeiden, so wie denn überhaupt die Sauberkeit in der Gärungsindustrie von großer Bedeutung ist.

Das Abbrennen der vergorenen, alkoholhaltigen Maische geschieht nun je nach der Einrichtung entweder in mit Unterbrechung oder in ununterbrochen arbeitenden Einrichtungen. Zu ihrer Auffüllung dienen Pumpen, wobei, wenn Dampfpumpen verwendet werden, der Abdampf zum Abbrennen herangezogen wird.

Die Gewinnung von Spiritus aus der Maische erfolgt in der Weise, daß man das Gemisch aufkocht und die sich entwickelnden Dämpfe verflüssigt, wodurch eine alkoholreichere Flüssigkeit entsteht. — Diesen Vorgang wiederholt man so lange, bis einerseits der gewünschte Grad der Alkoholhätigkeit erreicht und andererseits die Maische möglichst vollständig entgeistet, also die Schlempe möglichst alkoholfrei geworden ist. Natürlich läßt sich durch oftmaliges und entsprechend langes Aufkochen die Alkoholfreiheit der Schlempe unter allen Umständen erzielen. Das Bestreben, möglichst guten Effekt mit dem geringsten Aufwand an Zeit und Wärme zu erreichen, führte aber von den ursprünglich verwendeten „Blasenapparaten“ zu den ununterbrochen arbeitenden „Kolonnenapparaten“.

Beim Arbeiten mit dem Blasenapparat, der aus 2 übereinander angeordneten Kammern besteht, wird die Maische in die obere Kammer eingefüllt und durch aus der unteren Kammer eingeleiteten Dampf gekocht und entgeistet. Nach einer bestimmten Kochzeit wird die Maische in die untere Kammer abgelassen und hier noch der letzte Alkoholrest ausgekocht, während in der oberen Kammer wieder frische Maische mit den Dämpfen der unteren Kammer durchgekocht wird. Jedes Herunterlassen der Maische, Nachfüllen der oberen Kammer und das Ablassen der Schlempe bedingt einen großen Zeitverlust, da es sich je nach der Größe der Blase jeweils um Mengen von 2000 bis 3000 l handelt. Die Maische kommt mit nur etwa 25° C in den Apparat. Ein wirtschaftliches Vorwärmen durch die abgelassene Schlempe von etwa 102° C ist mit Rücksicht auf das Auseinanderliegen der Ab- und Nachfüllzeiten nicht gut möglich. Infolgedessen ergibt sich neben dem

Zeit- auch noch ein recht bedeutender Wärmeverlust und eine ganz ungleichmäßige Inanspruchnahme der Dampferzeuger.

Diese Mängel weist der ununterbrochen arbeitende Kolonnenapparat nicht auf. Hier sind mehrere übereinander liegende Kammern (Kesselböden) zu einer Säule (Kolonne) vereinigt, s. S. 48 u. f. Die Maische fließt von oben durch die Säule durch, während von unten Dampf in diese eintritt. Bei neuzeitlichen Einrichtungen rechnet man mit ca. 18 bis 20 kg Dampf für die Destillation von 100 kg Maische, wobei mit einem Dampfdruck von etwa 1 atü gearbeitet wird. Aus der untersten Kammer fließt die alkoholfreie Schlempe ab, während oben die alkoholhaltigen Dämpfe aufsteigen, die neuerdings, durch Abkühlen in den flüssigen Zustand gebracht, zurückfließen, um nochmals aufgekocht zu werden. Die Dämpfe verlassen schließlich nach Kondensation im sogenannten Deflegmator und nach Abkühlung in einem Kühler die Einrichtung als Spiritus von bestimmter Grädigkeit. Das Abkühlen der abziehenden Dämpfe von etwa 80° Temperatur wird in den letzten Stufen einerseits durch eintretende Frischmaische, die dadurch eine Temperatur von etwa 70° C erhält, andererseits durch Kühlwasser, das sodann als Warmwasser im Betrieb Verwendung finden kann, erzielt.

Diese Art der Destillation beeinflusst nicht nur die Leistungsziffer, sondern auch die Wärmeverbrauchszahl in günstigster Weise, während bei Verwendung von Blasenapparaten nur dann ein gleichmäßiger Dampfverbrauch und damit eine günstigere Wärmeverbrauchszahl möglich ist, wenn die Anzahl der Blasen entsprechend groß ist und dadurch eine günstige und gleichmäßige Aufeinanderfolge ermöglicht wird.

Aus der Destillation fällt der Spiritus mit 91 bis 95 Volumprozenten Alkohol an. Um Feinsprit mit 96 bis 97% zu erzeugen, wird der Rohspiritus in Rektifizierapparaten ähnlich den Blasenapparaten weiter verarbeitet. Hierbei wird aber nicht durch unmittelbares Einführen von Dampf, sondern mittelbar mit Hilfe von Heizschlangen geheizt und das Kondensat zur Kesselspeisung verwendet. In einheitlichen Anlagen werden die Rektifikationsapparate unmittelbar an die Destillationskolonnen angebaut, so daß das Abbrennen bis zur Feinspritzerzeugung in einem Zuge stattfindet, was eine bedeutende Zeit- aber auch Wärmersparnis gegenüber den getrennten Arbeiten darstellt.

Als Kraftverbraucher kommen im wesentlichen nur Pumpen für die Maischeauffüllung der Einrichtungen und für die Spiritusbewegung in den Magazinen in Betracht; und zwar verwendet man bei den Brennapparaten vielfach Dampfpumpen, deren Abdampf für das Destillieren ausgenützt wird; der Kraftaufwand ist nicht von Bedeutung. Auch die Magazinpumpen erfordern im allgemeinen keinen hohen Kraftbedarf; in kleineren Werken genügen sogar mitunter Handpumpen für diesen Zweck.

Über den Kraftverbrauch findet man in der Literatur über die Spiritusindustrie sehr verschiedenartige Werte. Er läßt sich für die Gesamtheit der Industrie auch nur zwischen breiten Grenzen angeben, weil er von verschiedenen Umständen, so insbesondere von der Größe, Leistungsfähigkeit und Beanspruchung der einzelnen Betriebsmittel, dann auch vom Grad der Maischenzusammensetzung und dgl. abhängt. Überdies ist auch die Art, in welcher der Kraftverbrauch in verschiedenen Handbüchern angegeben ist, unübersichtlich und unklar (z. B. findet sich der Kraftverbrauch, angegeben in PS_1 -Leistungsfähigkeit der Dampfmaschine je hl Rohspiritus, bezogen auf 100 Grad Alkoholhaltigkeit und ähnliche Bezeichnungen mehr; siehe hierüber auch S. 45). Für den gesamten Vorgang der Spirituserzeugung vom Rohstoff bis zum Fertigerzeugnis, und zwar bezogen auf 100^o Alkohol, wie es in dieser Industrie üblich ist, beträgt der Kraftbedarf zur Erzeugung von 1 hl Spiritus 10 bis 20 PSst. Die kleinere Ziffer gilt für größere Anlagen oder aber auch für solche Anlagen, bei denen weniger mechanische Einrichtungen in Verwendung stehen, während die größere Ziffer sowohl für kleinere Anlagen als auch für solche große Anlagen gilt, bei denen alle neuzeitlichen maschinellen Hilfsmittel herangezogen werden.

Für das Maisverfahren erhöhen sich die Zahlen um etwa 20%, während sie für Melasseverarbeitung, vor allem durch das Entfallen des Dämpfvorganges erheblich niedriger sind. Bei diesen Zahlen ist Voraussetzung, daß keine größeren Nebenbetriebe vorhanden sind und daß für die Brennereizwecke der Abdampf der Kraftmaschinen herangezogen wird.

Die Erzeugung von Alkohol aus Karbid hat sich nach anscheinend guten Anfängen bisher als Großbetrieb nicht durchgesetzt. Der Hauptgrund ist wirtschaftlicher Natur.

Für die Herstellung von 1000 kg Karbid werden benötigt: 650 kg Koks, 900 kg gebrannter Kalk, 4000 kWst. Zur Herstellung von 900 kg gebranntem Kalk sind rund 1800 kg Kalkstein und 225 kg Steinkohle erforderlich. Das aus Karbid gewonnene Azetylgas (C_2H_2) wird mit Wasser und Wasserstoff behandelt, wodurch Sprit gewonnen wird, der dann destilliert und rektifiziert wird. Nach G. Foth¹⁾ werden für 1 hl Alkohol 200 kg Karbid und 60 m³ Wasserstoff benötigt. Der Aufwand an elektrischer Energie beträgt je kg Karbid etwa 4 kWst, für 1 m³ Wasserstoff etwa 5 kWst (s. S. 10), so daß für 1 hl Alkohol der Kraftaufwand allein 1100 bis 1200 kWst beträgt. Erzeugt man statt dessen Düngemittel, so kann hiermit ein Kartoffelertrag von rund 20000 kg erzielt werden, d. i. das ungefähr Zwanzigfache dessen, was zur Erzeugung von 1 hl Kartoffelspiritus gebraucht wird.

Preßhefe.

Die Preßhefefabrikation wurde früher fast ausschließlich im Rahmen von Brauereien oder Alkoholbrennereien betrieben, hat sich

¹⁾ G. Foth, Handbuch der Spiritusfabrikation 1929. Berlin: Verlag Parey.

jedoch in den letzten Jahren zu einer ganz selbständigen Industrie entwickelt, wobei die Alkoholerzeugung hier nur einen Nebenbetrieb bildet. Der Herstellungsvorgang für Getreidehefe ist in den ersten Stufen den bei der Brauerei und Spirituserzeugung beschriebenen Vorgängen ähnlich, so das Dämpfen von Mais in Henzedämpfern, dann das Vormaischen und Verzuckern im Vormaischbottich, das Säuern, Nachwärmen der Maische, das Läutern, das Kühlen und das Ablassen in die Gärbottiche. Diese sind mit einer Einrichtung ausgestattet, die es ermöglicht, die darin befindliche Flüssigkeit reichlich mit Luft zu durchsetzen (durchlüften), um durch vermehrte Sauerstoffzufuhr und ständige Bewegung der Würze die Hefebildung zu steigern. Hierzu kommen Luftverdichter oder Kreiselgebläse in Anwendung, die je nachdem, ob tiefe oder seichte Gärbottiche verwendet werden, eine Luftpressung von 0,3 bis 0,5 atü erzeugen. Bei der Getreidehefeerzeugung wird vielfach ein Dampfkompressor verwendet, dessen Abdampf Betriebszwecken zugeführt wird.

Zur Ausscheidung der Hefe aus der vergorenen Würze werden Separatoren verwendet, die verhältnismäßig viel Kraft und gute Wartung brauchen. Der aus den Separatoren gewonnene Hefebrei wird in Filterpressen entwässert, während die abfließende hefefreie Würze in Destillierapparaten zur Gewinnung des Alkoholes abgebrannt wird.

Die entwässerte Hefe wird nach vorheriger Durchknetung auf Knetmaschinen in Schneckenpressen auf verkaufsfertige Hefeziegel verarbeitet. Für große Leistungen werden, um die Handarbeit zu verringern, selbsttätig arbeitende Hefeinpackmaschinen verwendet.

Auch bei Verarbeitung von Melasse als Ausgangsstoff der Hefeerzeugung sind die ersten Erzeugungsstufen jenen der Spiritusgewinnung aus Melasse ähnlich. Die Melasse wird verdünnt und geklärt, sodann durch Aufkochen und Beigabe von Nährsalzen zu einer für die Hefezucht geeigneten Nährflüssigkeit verarbeitet, worauf die gesondert erzeugte Anstellhefe zugesetzt wird. Sie wächst dann und pflanzt sich ebenso fort, wie dies bei Verwendung von Getreidewürzen der Fall ist. Gegenüber dem Getreideverfahren kommt hier der ganze Aufwand für Kraft und Wärme, der für die Herstellung des Malzes und die Bereitung der süßen Maische notwendig ist, in Fortfall. Die Wärmemenge, die für die Kochung der Melasse benötigt wird, ist gering und kann zum Teil auch durch Warmwasser zugeführt werden. Im Gärbottich erfolgt die auch beim Getreideverfahren notwendige Durchlüftung, und auch die weiteren Arbeitsgänge decken sich mit denen des früher genannten Verfahrens.

Der Umstand, daß hier zwischen der Höhe des Kraft- und Wärmeverbrauches keine geeignete Beziehung für wirtschaftliche Abwärmeverwertung im Dampfmaschinenbetrieb besteht, fördert die Verwendung

anderer Kraftquellen, insbesondere Dieselmotoren für Hefefabrikation aus Melasse. Statt Dampfkompressoren werden vorteilhafterweise Kreiselgebläse, vornehmlich elektrisch angetrieben, benützt. Der Kraftaufwand ist wegen der großen Luftmenge und dem höheren Druck (meist 0,5 atü) ziemlich bedeutend. Die heißen Abgase der Dieselmotoren werden zur Warmwasserbereitung herangezogen. Diese Anordnung gilt natürlich nur dann, wenn auf die Gewinnung des Alkoholes aus der von den Separatoren anfallenden hefefreien Würze verzichtet wird, also in Kleinanlagen, bei denen sich die Würzedestillation nicht verlohnt. Ist jedoch der Hefefabrik eine Brennerei angeschlossen, dann sind die notwendigen Wärmemengen wohl am wirtschaftlichsten als Abdampf von Dampfmaschinen zu erhalten.

Abfallstoffe der Gärungsindustrie.

Wie schon einleitend erwähnt, geben die Abfallstoffe in der Gärungsindustrie, dort wo mit Getreide bzw. Mais und Kartoffeln gearbeitet wird, ein sehr wertvolles Futtermittel (Trebern, Schlempe), was dazu geführt hat, daß den Brennereien und Hefefabriken oft große Viehmästereien angeschlossen sind, in denen die Trebern und die Schlempe sofort zur Verfütterung kommen können. Die aus den Brennapparaten abfließende trebern- und schlempehaltige Maische wird in Kesseln (Montejus) gesammelt und aus diesen mit Dampf oder Preßluft an die Verbrauchsstellen gedrückt. Die Verwendung von Preßluft statt Dampf für diese Zwecke bürgert sich immer mehr ein, da der Dampfbedarf ziemlich groß ist, während die Kraft im Gegendruckbetrieb billiger erzeugt werden kann. Bei Fabriken mit Kampagnebetrieb muß das Futter für das Lagern geeignet gemacht und zu diesem Zwecke getrocknet werden. Die Trockenanlagen arbeiten nach den verschiedensten Verfahren. Das Naßgut wird in Wannen eingedickt, in denen um eine Hohlwelle angeordnete Kupfer- oder Bronzetaschen, die mit Dampf beheizt werden, kreisen. Das Dickgut wird auf dampfgeheizte Trockenzylinder gebracht, die es, gegeneinander gepreßt, auch mechanisch etwas entwässern sollen, worauf es dann in beheizten Förderwannen mit Rührwerk durchgearbeitet wird, bis der gewünschte Trockengrad erreicht ist. Diese Einrichtungen haben wegen der unwirtschaftlichen Arbeitsweise nur dort eine Berechtigung, wo genügende Mengen billigen Abdampfes zur Verfügung stehen. Als Vorteil wird ihnen nachgerühmt, daß das Trockengut sämtliche in der Schlempe enthaltenen Nährstoffe beibehält.

Auch hier ist bald die Erkenntnis durchgedrungen, daß die wirtschaftliche Trocknung nach vorhergegangenem möglichst ausgiebigem mechanischen Wasserentzug stattfindet (s. auch S. 30). Zu diesem Zwecke werden Pressen, welche die festen Stoffe zu Kuchen verarbeiten,

verwendet; diese werden dann in Trocknern, die ebenfalls mit Dampf vielfach aber auch durch Rauchgase der Kesselfeuerung beheizt werden, getrocknet. Der bei den Pressen abfließende Preßsaft kommt, da er ja noch Nährstoffe enthält, zur direkten Verfütterung, so daß auch nach dieser Richtung hin keine Verluste entstehen. Für die Trocknung mit Dampf werden Röhrentrockner verwendet, das sind Rohrbündel, die in einer ebenfalls mit Dampf beheizten gußeisernen Wanne umlaufen und zur Durchmischung, Verteilung und Weiterbeförderung des Trockengutes mit Schaufeln versehen sind. Die Wanne ist abgeschlossen und besitzt oben einen Dunstschlauch, durch welchen die Schwaden abziehen. Das Trockengut wird sodann sortiert und gelagert.

Bei den Rauchgastrocknern werden die Abgase der Kesselanlage in unmittelbare Berührung mit dem Trockengut gebracht. In einem geschlossenen Gehäuse dreht sich eine gelochte Blechtrommel, an deren Umfang entsprechend geformte Schaufeln angebracht sind. Die Rauchgase werden durch einen an der Schlempeintrittsseite des Gehäuses angeordneten Ventilator durch den Apparat hindurchgesaugt, wobei sie zuerst längsachsig eintreten und durch die Lochung des Trommelmantels durchziehen müssen, wodurch eine möglichst innige Berührung zwischen Rauchgasen und Schlempe bewirkt wird. Die Rauchgase reichern sich mit den entstehenden Schwaden an und werden durch den Ventilator ins Freie gedrückt, müssen aber vorher noch einen Abscheider (Zyklon) durchstreichen, wo die mitgerissenen festen Teile des Trockengutes zur Abscheidung gelangen.

Diese Art der Trocknung ist dort vorteilhaft, wo die Rauchgase der Kessel noch genügend heiß sind und die Kesselanlage nicht zu weit von der Trockenanlage entfernt ist, da sonst die Führung des Rauchkanals große Kosten verursacht, die Wärmeverluste beträchtlich werden und schließlich der Kraftverbrauch des Ventilators die Wirtschaftlichkeit sehr stark verringert. Außerdem ist bei dieser Trocknungsart zu berücksichtigen, daß durch die Berührung mit den Abgasen (besonders bei unvollkommener Verbrennung der Kohle, dann bei Verwendung besonders schwefelreicher Kohlen) eine Verschlechterung der Schlempe eintritt, was sich schon aus dem Aussehen des Trockengutes (dunklere Farbe) und durch unangenehmen Geruch bemerkbar macht.

Für eine Maisschlempetrocknerei nach diesem Verfahren werden zur Erzeugung von stündlich 300 kg lufttrockener Schlempe (12% Wassergehalt) 4400 kg Naßschlempe mit 6% Trockengehalt benötigt. Diese wird zunächst auf Kuchen von 30% Trockengehalt abgepreßt, was einen Wasserentzug von 3520 kg je Stunde entspricht, während für den Trockner noch 580 kg/st zur Verdampfung übrigbleiben. Rechnet man mit einer Rauchgaseintrittstemperatur von etwa 250° C und einer

Austrittstemperatur von etwa 70° C, so können aus 1 kg Abgas 45 WE gewonnen werden. Benötigt werden mindestens 450000 WE je Stunde. Um die hierzu notwendige Abgasmenge zu erhalten, müssen also stündlich mindestens 1000 kg gute Kohle verheizt werden.

Für den dampfbeheizten Röhrenbündeltrockner gibt Hirsch¹⁾ für 1 m² Heizfläche eine Verdampfungsleistung von etwa 5 kg bei einem Dampfdruck zwischen 2,5 und 3 atü an. Der Dampfverbrauch soll nicht viel mehr als 1 kg für 1 kg Wasserverdampfung betragen.

Der Kraftaufwand von Schlemmetrockenanlagen setzt sich zusammen aus dem Bedarf für die Ventilatoren (dieser ist weitaus der größte), für die Preßpumpen, für die Trockentrommeln, dann für die Sortierung und Beförderung des Trockengutes (meist wird es geblasen) und schließlich dort, wo mit Filztuchpressen gearbeitet wird, für die Waschtrommeln zum Waschen der Preßtücher.

Die Melasseschlempe eignet sich infolge ihres hohen Salzgehaltes nur in geringfügigen Mengen zur Verfütterung; auch ihre Ableitung in Flüsse ist behördlicherseits nur selten gestattet. Sie wird oft mit Rücksicht auf ihren Gehalt an Bodennährstoffen als Düngemittel verwendet, und zwar entweder ohne vorherige Verarbeitung oder nach erfolgter Eindickung in Mehrkörper-(Vacuum)-Apparaten. Eine andere Verwertung findet sie durch Verbrennung zu Kohle. Die Schlempekohle die aus 100 kg Melasse gewonnen wird, enthält 6 kg Pottasche, 2 kg Kaliumsulfat, 1 kg Kaliumchlorid und 1 kg Soda, also rund 10 kg gewonnene feste Bestandteile und hat gewöhnlich 12% Feuchtigkeit. Der Wert dieser Stoffe ist aber verhältnismäßig gering, so daß sich nur in den seltensten Fällen die Kosten der Einrichtung (Porion-, Grammerofen u. dgl.) lohnen.

VII. Keramische, Zement- und Kalk-Industrie.

Die wirtschaftliche Bedeutung der hier behandelten Industrien geht nicht nur aus der großen Zahl der beschäftigten Arbeiter hervor, sondern zeigt sich auch in der Höhe des Kohlenverbrauches: er betrug in Deutschland in der Vorkriegszeit in der Keramik 2 bis 3 Mill. t jährlich. Die Zahl der beschäftigten Personen beträgt in der Grobkeramik etwa 450000, in der Feinkeramik etwa 100000. Von letzterem entfallen allein 60000 auf die Porzellanbetriebe. Auch der Wert der Erzeugnisse ist ein recht bedeutender; so z. B. beträgt der Jahreswert der deutschen Porzellanerzeugnisse 160 bis 170 Millionen RM. Diese wenigen Ziffern zeigen schon, daß die keramische Industrie an der Wirtschaft des Landes einen ganz beträchtlichen Anteil hat.

¹⁾ Hirsch, M.: Die Trockentechnik. Berlin: Julius Springer 1927.

Keramische Industrie.

Wegen des hohen Gesamtkohlenverbrauches im allgemeinen, aber auch wegen des großen Anteiles der Kohle an den Gesteungskosten im besonderen, besitzt die Frage der Wärmewirtschaft in der keramischen Industrie große Bedeutung. Diese wird aber hier noch besonders dadurch gesteigert, daß die Wärme und ihre Verwendung aufs engste verknüpft ist mit der eigentlichen Warenerzeugung. Insbesondere ist die Art der Wärmezuführung zur Ware im Brennofen ausschlaggebend für Gleichmäßigkeit, Güte und Marktwert der gebrannten Ware. Der Großteil des gesamten Kohlenbedarfes in den keramischen Betrieben ist für die eigentlichen Brennvorgänge aufzuwenden. Infolgedessen fällt in den keramischen Werken Abwärme aus den Fabrikationseinrichtungen in außerordentlich großem Umfang und noch mit sehr hohen Temperaturen an. In der Keramik bestehen daher technisch und wirtschaftlich mehr Möglichkeiten der Abwärme- oder besser Abhitzeverwertung als in vielen anderen Industrien.

Die gesamte keramische Industrie wird üblicherweise in folgende Hauptgruppen eingeteilt:

1. die Grobkeramik, zu der hauptsächlich die Ziegeleien und Töpfereien, die Fabriken für feuerfeste Erzeugnisse (Schamotte, Silika, Magnesit usw.) sowie die meisten Betriebe der Steinzeugindustrie gerechnet werden.

2. die Feinkeramik, die unterteilt wird in die Porzellanindustrie (für Gebrauchsporzellan und Elektroporzellan), die Steingutindustrie und die Plattenindustrie (Kacheln, Fußboden-, Wand- und Mosaikplatten).

Für sämtliche Gruppen sind im wesentlichen die Vorgänge bei der Erzeugung und beim Brand die gleichen. Sie unterscheiden sich nur nach den Rohstoffen, der Formgebung, den Bedingungen für die Brenn- und Abkühlvorgänge und den Veredlungsverfahren nach dem Brand.

Die Erzeugung umfaßt folgende Einzelvorgänge:

- a) Aufbereitung der Rohstoffe und Herstellung der zu formenden und zu brennenden Arbeitsmassen,
- b) Formung,
- c) Trocknung vor dem Brand,
- d) Brand und Abkühlung,
- e) Nachbearbeitung der gebrannten Ware.

Im allgemeinen wird die Gewinnung der Rohstoffe selbst nicht zur eigentlichen Erzeugung gerechnet und ist für die Kraft- und Wärmewirtschaft von geringer Bedeutung; das gleiche gilt für die Nachbearbeitung der fertig gebrannten Ware in den meisten keramischen Werken.

Neben der Herstellung des eigentlichen Brenngutes läuft gleichzeitig bei der Feinkeramik und einigen anderen Betrieben die Herstellung und

der Brand der sogenannten Brennhilfsmittel. Die sogenannten „Kapseln“, in denen das eigentliche Brenngut in den Öfen, gegen die unmittelbare Flammenberührung geschützt, eingesetzt wird, erfordern in gleicher Weise Aufbereitung und Formung der Massen und Trocknung; das Brennen der Brennhilfsmittel erfolgt im allgemeinen gemeinsam mit dem Brande des eigentlichen Erzeugnisses durch gleichzeitiges Einsetzen der rohen Kapseln u. a. in den Brennofen.

Aufbereitung und Formung der Arbeitsmasse erfordern ausschließlich Kraft, während Trocknung und Brand fast nur Wärme und zwar die Trocknung Wärme von geringer, der Brand jedoch von sehr hoher Temperatur benötigen.

Das Ziel einer geordneten Wärmewirtschaft der keramischen Betriebe muß daher in erster Linie dahin gerichtet sein, den Kohlenaufwand für die Brenn- und Trockenvorgänge so gering wie möglich zu halten, wobei gleichzeitig hochwertiger und gleichmäßiger Ausfall des Brenngutes, möglichst kurze Brenn- und Trockenzeiten und weitgehende Verwertung der Abhitze, sei es für die Vorwärmung der Brennöfen selbst, sei es für die Trocken- und Raumheizung oder endlich für die Gewinnung von Abhitzedampf zur Krafterzeugung, angestrebt werden muß. Bei der Durchbildung der Abhitzeverwertung ist stets wirtschaftlich abzuwägen, ob die Abhitze aus den brennenden oder abkühlenden Brennöfen oder der Abdampf der Dampfmaschinen die geringsten Anlage- und Betriebskosten ergeben.

Als Rohstoffe der keramischen Industrien werden in der Hauptsache Ton, Kaolin, Quarz, Feldspat und gebrannte Schamotte benutzt, wobei je nach der Art des Erzeugnisses mehr oder weniger von den hochwertigeren Rohstoffen Anwendung finden. Beispielsweise verarbeitet die Ziegelindustrie, die das geringwertigste Erzeugnis herstellt, gewöhnliche Tone, während z. B. die Porzellanindustrie, die die hochwertigste Ware erzeugt, nur ganz reinen Kaolin, Quarz und Feldspat verwenden kann.

Die Aufbereitung dieser Rohstoffe besteht in der Hauptsache im Zerkleinern, Mahlen und Mischen. Hierzu dienen Walzwerke, Kollergänge und Mühlen. Die gemischten Rohstoffe werden dann in der Grobkeramik unmittelbar der Formung zugeführt, während sie in der Feinkeramik je nach dem Grad der Naßaufbereitung noch in Pressen entwässert und zur Vergleichmäßigung der Masse in besonderen Knetmaschinen weiterbearbeitet werden.

Die Formung erfolgt in den grobkeramischen, insbesondere in Ziegeleibetrieben, am einfachsten in Strangpressen, durch die die Masse zu einem endlosen Strang zusammengepreßt und in den für die Ziegelform erforderlichen Abständen abgeschnitten wird. Ähnlich erfolgt die Formgebung in Werken der Röhren-, Platten- und Elektroporzellan-

fabriken maschinell durch Pressen oder Stanzen. Im übrigen, insbesondere aber in der Feinkeramik, erfolgt die Formung unter verhältnismäßig geringer Inanspruchnahme maschineller Einrichtungen, wie Drehscheiben, überwiegend durch Handarbeit oder durch Gießen. Infolgedessen ist der Kraftbedarf in den grobkeramischen Fabriken und in den Werken, die gepreßte und gestanzte Ware herstellen, etwas größer als z. B. in Geschirrfabriken der Porzellan- und Steingutindustrie.

Der Gesamtkraftbedarf der keramischen Werke, dessen Hauptanteil in der Aufbereitung und in den Fördereinrichtungen liegt, ist im Verhältnis zur Zahl der beschäftigten Arbeiter verhältnismäßig gering. Diese Industrie ist in bezug auf die Größe der Unkosten eine sogenannte „lohnorientierte“ Industrie, d. h. die Löhne für die Handarbeit überwiegen. Der Kraftbedarf für die größten Werke der feuerfesten Industrie in Deutschland bewegt sich in der Größenordnung zwischen 500 und höchstens 1000 PS, während die Überzahl der grob- und feinkeramischen Industrien einen Kraftbedarf in der Größenordnung zwischen 200 und 500 PS, die meisten kleineren Werke einen Kraftbedarf in der Größenordnung von etwa 100 PS aufweisen.

Die Trocknung erfolgt bei sämtlichen keramischen Erzeugnissen vor dem Einsetzen in den Brennofen, damit nach beendigter Formung ein möglichst großer Teil der mechanisch beigemischten Feuchtigkeit entfernt wird und bei zu schnellem Erwärmen im Ofen keine Brandrisse entstehen. Da viele keramische Erzeugnisse infolge geringer Porosität und erheblicher Wandstärke das Entweichen des Wassers aus dem Innern bei der Trocknung nur sehr langsam gestatten, erfordert die Trocknung verhältnismäßig lange Zeit und große Trockenräume. Da die Aufstapelung des Trockengutes beispielsweise für große Gefäße der Steinzeugindustrie oft mehrere Wochen bedingt, ist die wärmewirtschaftliche Aufgabe der Abkürzung der Trockenzeiten von großer Bedeutung für den Kapitaldienst.

Zum Zwecke der Trocknung wird heute noch überwiegend das Trockengut in Räumen aufgestellt, die, wie beispielsweise in der Porzellanindustrie, gleichzeitig noch anderen Arbeitsvorgängen dienen. Die Beheizung der Gestelle für das Trockengut erfolgt in verhältnismäßig einfacher Weise durch Dampfheizflächen oder Rauchgaskanäle am Boden der betreffenden Räume mit unregelmäßiger Luftbewegung oder es werden, was auch oft geschieht, die Gestelle möglichst über den Öfen angeordnet, so daß die Strahlungswärme der Öfen zur Trocknung mit herangezogen wird. Auch die Zuführung von Warmluft, abgesaugt aus den in Abkühlung stehenden Öfen, ist anzutreffen, wenn sie auch noch wenig verbreitet ist. Eine wirksame Regelung von Luftmenge, Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur zur Beschleunigung und Vergleichmäßigung der

Trocknung ist im allgemeinen bei den vorhandenen Einrichtungen nicht möglich. Wo Arbeits- und Raumverhältnisse es gestatten, insbesondere in der Ziegelindustrie, sind Kanaltrockner eingeführt.

Für große und starkwandige Formstücke kommt, allerdings noch vereinzelt, „Feuchtigkeitstrocknung“ zur Anwendung, deren Wesen und Vorteile kurz in folgendem bestehen:

Die starkwandigen Stücke dürfen auch außerhalb des Ofens nur ganz langsam vorgetrocknet werden, da sonst das Äußere rasch fest wird, während sich im Innern noch Feuchtigkeit befindet. Die Feuchtigkeitstrocknung wendet nun den Kunstgriff an, die Luft um das Trockengut zunächst durch Dampfzuführung vollständig mit Wasserdampf zu sättigen, so daß auch bei Erwärmung zunächst aus dem Gut kein Wasserdampf entweichen kann. So wird es möglich, das zu trocknende Stück ohne Wasserabgabe bis in die innersten Stellen durchzuheizen und dann durch eine langsame Herabsetzung der Feuchtigkeit der umgebenden Trocknungsluft ein verhältnismäßig schnelles rissefreies Trocknen anschließend durchzuführen. Die Trocknungsgeschwindigkeit läßt sich auf das Maß steigern, wie es der Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserdampfes aus dem Innern des Stückes entspricht. Die wochenlangen Trockenzeiten werden dadurch auf wenige Tage abgekürzt, und damit sowohl der Platzbedarf als insbesondere das im Trockengut festliegende Kapital wesentlich verringert.

Im allgemeinen gilt für die gesamte keramische Industrie, daß Feuchtigkeit von etwa 15 bis 30% des Gewichtes der ungetrockneten Ware vor dem Ofeneinsatz zu entfernen ist, wozu, falls die Trocknung ausschließlich durch Dampfwärme erfolgt, je kg Ware etwa 0,3 bis 0,5 kg Heizdampf erforderlich wären. Dies würde bei ausschließlicher Dampftrocknung sehr hohe Dampf- und Kohlenmengen bedingen. Nahezu in jedem keramischen Betrieb kann aber die Trocknung überwiegend mit Abwärme bestritten werden, und zwar sowohl mit der Abwärme der Dampfmaschinen bei entsprechender Anpassung der verlegten Heizflächen und der Strahlungswärme der Öfen, als vor allem mit der in sehr großer Menge zur Verfügung stehenden Abwärme, die durch Durchsaugen von Luft durch die in Abkühlung stehenden Öfen gewonnen wird. Die Aufwendung besonderer Brennstoffmengen für die Trockenvorgänge ist daher im allgemeinen vermeidbar. Die Trocknung außerhalb des Ofens kann jedoch nie bis zum vollständigen Entfernen des mechanisch gebundenen Wassers ausreichen. Die Entfernung dieser Wassermenge muß vielmehr beim unterbrochenen Ofenbrand im sogenannten Vorfeuer des eigentlichen Brandes oder, wie bei den auf Seite 186 erwähnten ununterbrochen arbeitenden Ofenbauarten (Ring-, Kammer- und Tunnelöfen) zum Teil innerhalb des Ofens unter Ausnutzung der Abgaswärme erfolgen.

Der Brennvorgang erfolgt teils in einem einzigen Brande, bei glasiertem und dekoriertem Porzellan und Steingut auch in 2 bis 3 Teilbränden. Der Brennvorgang für die verschiedenen keramischen Erzeugnisse unterscheidet sich hauptsächlich durch die Schnelligkeit der Temperatursteigerung in den einzelnen Brennzeitabschnitten, durch die Brenndauer, durch die Höhe der Endtemperatur und durch die Anforderung an die Zusammensetzung der Rauchgase, die zeitweise mit Luftüberschuß (oxydierend), zeitweise mit Luftmangel (reduzierend) einzuhalten ist.

Die diesen Anforderungen des Brennvorganges genügenden Öfen lassen sich hinsichtlich der Bauarten in 3 Hauptgruppen teilen: Einzelöfen, Kammer- bzw. Ringöfen und Kanal- oder Tunnelöfen. Die Einzelöfen werden unterbrochen, die anderen Ofenbauarten ununterbrochen betrieben.

Die meisten keramischen Werke arbeiten heute noch mit Einzelöfen mit Ausnahme der Ziegelindustrie, bei der sich der wesentlich wirtschaftlichere Ringofen fast restlos eingeführt hat. Die Einzelöfen besitzen einen von Feuergasen erfüllten Brennraum mit quadratischem, rechteckigem, ovalem oder in der Feinkeramik immer kreisrunden Querschnitt. Bei den Einzelöfen durchströmen die Heizgase das Ofeninnere und ziehen entweder durch die Decke oder in den häufigeren Fällen nach dem sogenannten „Überschlagen“ der Flamme durch ein in der Ofensohle angeordnetes Kanalsystem ab. Die Heizgase berühren dabei bei minder wertvoller Ware unmittelbar das Brenngut, bei hochwertigen Erzeugnissen umstreichen sie die Stöße der Kapseln, in die das Brenngut eingesetzt ist. Bei den Rundöfen, wie sie vorzugsweise die Porzellan- und Steingutindustrie anwendet, die kreisförmigen Querschnitt besitzen, sind 6 bis 12 gleich gebaute Feuerungen im Ofenmantel gleichmäßig über den Umfang verteilt. Bei den rechteckigen Öfen, die in der feuerfesten und Steingutindustrie überwiegen, befinden sich die Feuerungen gewöhnlich an einer Schmalseite, bei langgebauten rechteckigen Öfen an beiden Längsseiten des Ofens.

Sämtliche Einzelöfen haben den Übelstand, daß sich jeweils zwischen dem äußeren und inneren, sowie dem oberen und unteren Teil des Ofens erhebliche Temperaturunterschiede beim Höherheizen einstellen¹⁾. Um Brennfehler zu vermeiden, ist in der Führung des Brandes besondere Vorsicht nötig.

Vielfach wird mit unverbrannten Gasen zur Bildung langer Flammen zwecks Beseitigung der Temperaturunterschiede gearbeitet. Auch

¹⁾ Die Ausführungen und Abbildungen über Brennöfen, Brandführung, Idealcurven und Verbrauchsziffern wurden in eingehender Weise von Dr. Reutlinger, Köln, in den Berichten der deutschen keramischen Gesellschaft, Jahrgang 1921—1925 veröffentlicht und sind diesen zum Teil entnommen.

diese Arbeitsweise erfordert Sorgfalt, da schlechte Führung das Entweichen von zuviel unverbrannten Gasen und dadurch hohen Brennstoffverbrauch zur Folge hat. Dies ist auch aus dem Grunde wichtig, weil naturgemäß die Brennstoffausnützung an sich in den Einzelöfen nur eine sehr geringe sein kann, da die Abgase mit einer Temperatur entweichen müssen, die über der dem Einsatzgut mitzuteilenden Temperatur liegt, beispielsweise in den letzten Brennstunden der Porzellanöfen über 1400° C. In der Tat werden beispielsweise in dem Porzellanrundofen nur etwa 4% der zugeführten Wärme für die Vorgänge im eigentlichen Brenngut verbraucht und etwa 10% für Brenngut und Brennhilfsmittel zusammen.

Während die Rundöfen vorzugsweise in Steingut-, Wandplatten- und Porzellanfabriken anzutreffen sind, verwenden die Steinzeugfabriken meist viereckige langgestreckte Einkammeröfen mit überschlagender Flamme. Kleinere Ziegelbetriebe und Töpfereien benutzen vielfach noch den alten sogenannten Kasseler oder deutschen Ofen, der von einer Schmalseite her beheizt mit überschlagender Flamme nach dem anderen Ende zu arbeitet.

Die Rundöfen der Porzellanindustrie haben meist über dem eigentlichen Brennraum noch einen zweiten bzw. einen dritten von den Rauchgasen durchstrichenen Raum, von denen der untere als sogenannter Glühraum zum Vorbrand, der obere zu Trockenzwecken dient. Auch in der Steingutindustrie sind derartige Etagenöfen für Trockenzwecke anzutreffen. Die Rundöfen der Porzellanindustrie haben stets Einzelschornsteine, die auf der Ofenkuppel aufgesetzt sind, während die übrigen Einzelöfen, auch die der Steingutindustrie, im allgemeinen zentrale Schornsteine für mehrere Öfen besitzen.

Werden die Abgase eines brennenden Ofens durch einen entsprechenden Kanal zur Vorwärmung des Einsatzgutes in einen anderen Einzelofen eingeleitet, so entstehen die Gruppenöfen oder gekuppelten Öfen, die gegenüber den Einzelöfen mit einer erheblichen Brennstoffersparnis arbeiten und einen Übergang von den unterbrochen betriebenen Einzelöfen zu den ununterbrochen arbeitenden Öfen bilden. Die Feuerung des zweiten Ofens braucht erst in Betrieb gesetzt zu werden, wenn die Abhitze des ersten Ofens zur weiteren Temperatursteigerung nicht mehr ausreicht. Durch die Abhitzeausnutzung wird im allgemeinen eine Brennstoffersparnis bis zu $\frac{1}{5}$ der für die Beheizung des zweiten Ofens benötigten Menge erzielt. Im allgemeinen hat eine Kupplung indes erst bei einer Anzahl von mindestens 4 Brennöfen wirtschaftlichen Wert.

Die ununterbrochen arbeitenden Öfen können unterschieden werden in solche mit wandernder Brennzone und mit feststehender Brennzone. Zu der ersten Gruppe gehören die Kammer- und Ringöfen. Die Kam-

meröfen bestehen aus einer im gemeinsamen Block eingemauerten Reihe von Einzelöfen, die heute meist mit Gas beheizt werden. Der wärmewirtschaftliche Vorzug des Kammerofens gegenüber dem Einzelofen besteht in der weitgehenden Vorwärmung des Einsatzgutes und der Verbrennungsluft durch Abgaswärme bzw. Wärme des abkühlenden Einsatzgutes. Dies wird dadurch erreicht, daß im allgemeinen nur wenige Kammern unmittelbar mit Brennstoffaufwand befeuert werden, während durch die bereits fertig gebrannten und in Abkühlung befindlichen Kammern die Verbrennungsluft strömt, wobei sie sich erwärmt, und andererseits die aus den im Vollbrand stehenden Kammern entweichenden Abgase den Einsatz der noch nicht zum Brand gelangten Kammern vorwärmen.

Der Ringofen arbeitet in der gleichen Weise wie der Kammerofen, jedoch mit dem Unterschied, daß die einzelnen Brennkammern nicht durch feste Trennmauern unterteilt sind. Die erforderliche Abtrennung der Kammern gegen Falschlufte u. dgl. erfolgt nur durch eingesetzte Schieber aus Holz oder Papier, die beim Brand zerstört werden. Im übrigen ist die Ausnutzung der Rauchgas- und Abkühlwärme genau die gleiche wie beim Kammerofen.

Zur Vermeidung von Niederschlagwasser aus den abgekühlten Rauchgasen auf der kalten Einsatzware werden sogenannte „Schmauchvorrichtungen“ verwendet, bei denen die Vorwärmung des kalten Einsatzgutes auf etwas über 100° zunächst durch Heißluft aus den abkühlenden Kammern bewirkt wird, bevor die Abgase mit der Ware in Berührung kommen.

Die Ringöfen haben im Gegensatz zum Einzelofen einen verhältnismäßig hohen Grad der Wärmeausnutzung aufzuweisen, zumal hier im Gegensatz zu den Einzelöfen auch mechanische Kohlenbeschickung durch sogenannte Schüreinrichtungen anzutreffen ist.

Während bei den Ring- und Kammeröfen die Brennzone durch den Ofen wandert, und die Ware nicht bewegt wird, ist bei den Tunnelöfen das umgekehrte Prinzip angewandt. Der Tunnel- oder Kanalofen besteht, wie der Name sagt, aus einem Kanal von meist sehr erheblicher Länge (beispielsweise bei den Öfen der feinkeramischen Industrie 80 bis 120 m). Etwa in der Mitte des Ofens befindet sich die Brennzone, deren Befuerung heute meist mit Gas erfolgt, und in der der eigentliche Scharfbrand der Ware vor sich geht. Durch entsprechende Einstellung der Gasbrenner oder der Schichthöhe der Feuerungen wird außer der in der Brennzone erforderlichen Endtemperatur auch der oxydierende oder reduzierende Charakter der Rauchgasatmosphäre bewirkt. Die Ware wird, entsprechend vorgetrocknet, auf Wagen in die Einfahrseite des Ofens eingeführt und in Zeitabständen, die sich aus der gesamten Ofenlänge und dem erforderlichen zeitlichen Verlauf der Temperatur-

erhöhung ergeben, um je eine Wagenlänge durch den Ofen befördert. Sie bewegt sich zunächst durch die Vorwärmzone, die von den abziehenden Rauchgasen der Brennzone durchstrichen wird. Sodann nach Durchfahrt durch die verhältnismäßig kurze eigentliche Brennzone gelangt die fertiggebrannte Ware in die Abkühlzone des Ofens und gibt hier ihre Wärme an die entgegenströmende Kühltluft ab, die als Verbrennungsluft der Feuerung zugeführt wird. Verschiedene Einrichtungen ermöglichen eine genaue Anpassung entsprechend den Anforderungen der Ware. Die Länge der Abkühlzone ist dadurch bedingt, daß die die Ausfahrtseite des Ofens verlassenden Wagen soweit abgekühlt sind, daß Ribbildung nicht mehr erfolgt.

Außer den wärmewirtschaftlichen Vorteilen der Tunnelöfen, die infolge der weitgehenden Ausnutzung der Rauchgas- und Abkühlwärme etwa den dreifachen

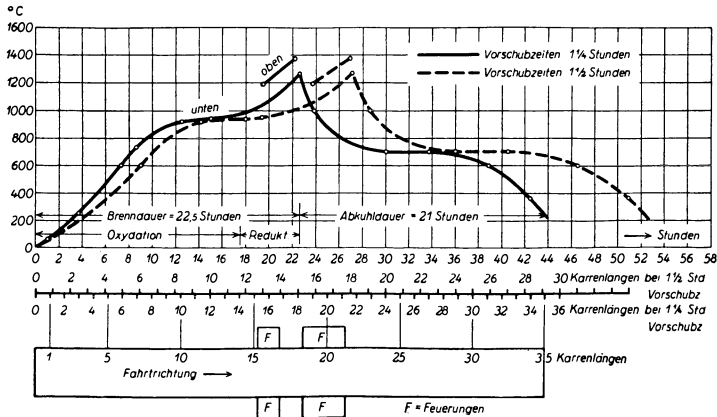


Abb. 47. Temperaturverlauf bei 1 1/4 und 1 1/2 Stunden Vorschubzeit im Tunnelofen für Porzellanbrand.

Wirkungsgrad besitzen wie die Einzelöfen, weist der Tunnelofen auch eine Reihe fabrikatorischer Vorzüge auf, z. B. die Verwendung leichterer und billigerer Kapseln mit höherer Lebensdauer (beim Einzelofen erreichen die Kapselstöße eine Höhe von 3 bis 5 m, so daß die unteren Kapseln erhebliche Gewichte zu tragen haben, während beim Tunnelofen die Höhe des Kapselstoßes 1 bis 2 m beträgt) sowie die erleichterte und verbilligte Ein- und Aussetzarbeit. Dagegen verlangt der Tunnelofen, der ja die Grundsätze des laufenden Bandes verwendet, eine gleichmäßige Herstellung von recht erheblicher Menge. Diese Ofenart ist also nur für den Großbetrieb mit regelmäßiger Beschäftigung geeignet. Er kann sich den Schwankungen der Marktlage nicht anpassen, da er, einmal in Betrieb, laufend gleichmäßige Beschickung mit Ware erfordert. Für mittlere Betriebsverhältnisse hat sich für die Porzellanindustrie in Deutschland der Betrieb mit 6 Einzelöfen von etwa 60 bis 80 m³ im allgemeinen als am zweckmäßigsten erwiesen, da hierbei täglich ein Ofen gebrannt und geleert werden und die gesamten Vorbereitungs- und Förderarbeiten bei der räumlichen Ausdehnung des Betriebes ohne kostspielige maschinelle Einrichtungen in wirtschaftlicher Weise erfolgen können. Die Abb. 47 zeigt den Temperaturverlauf, die Brenndauer und Abkühldauer in einem älteren Porzellan-Tunnelofen bei verschiedener Vorschubzeit.

Eine besondere Abart des Tunnelofens sind die aus Amerika stammenden Dreßler-Öfen, bei denen die Ware in vollständig geschlossenen Muffeln, die von außen durch die Rauchgase umstrichen werden, eingefahren wird. (Derartige kleinere Muffeln sind in der Porzellanindustrie auch für das Aufbrennen der farbigen Verzierungen nach dem Glasurbrand gebräuchlich.)

Eine eigentliche Abhitzeverwertung ist im Tunnelofen selbst in nennenswertem Maße kaum möglich. Dagegen können aus den Kanälen des Ofenmauerwerks sehr erhebliche Warmluftmengen abgesaugt werden, die zur Kühlung der Brennzonen dienen und die genügen, um den größten Teil des Trocknungs- und Heizbedarfs bei Einblasen in die Betriebsräume zu decken.

Die Brandführung ist für die verschiedenen keramischen Erzeugnisse verschieden; die Brennvorgänge unterscheiden sich — wie schon angedeutet — durch den zeitlichen Verlauf der Temperaturen beim Brennen und Abkühlen, durch die Höhe der Endtemperatur des Brandes und durch die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung der Rauchgase in den verschiedenen Teilen des Brandes. Die Endtemperaturen beim Garbrand haben laut Zahlentafel 28 verschiedene Höhen:

Zahlentafel 28.

für Mauerziegel	900—1080°
„ Klinker	1000—1250°
„ Dachziegel	900—1280°
„ Steinzeug	1120—1350°
„ Schamottewaren	1200—1400°
„ Silika und ähnliche feuerfeste Produkte	1300—1500°.

Die bisher genannten keramischen Waren werden, da sie nicht glasiert sind, in einem einzigen Brennvorgang gargebrannt. Bei glasiertem Steinzeug werden gegen Ende des Brandes die die Glasur bewirkenden Salze in den Brennraum eingeführt. Dagegen müssen für die glasierten feinkeramischen Waren, Steingut und Porzellan, zwei getrennte Brände, also zweimaliges Einsetzen und Aussetzen der Ware und verschiedene Temperaturen für die beiden Brände vorgesehen werden. Bei Steingut erfordert der sogenannte Rohbrand zum Fertigbrennen der nicht glasierten Ware eine Endtemperatur von 1140 bis 1300°, der sogenannte Glattbrand der mit Glasur versehenen Rohware 900 bis 1200° C. Beim Porzellan wird der Vorbrand (sogenannter Schrühbrand) auf 900 bis 1000° getrieben, wobei im Gegensatz zu Steingut mit getrennten Öfen für den Roh- und Glattbrand das Schrühen des Porzellans in der zweiten Etage des Glattofens, also durch Abgase des Fertigbrandes, erfolgt. Der Glattbrand des Porzellans wird auf 1300 bis 1450° getrieben.

Die Beobachtung des Temperaturverlaufs und Temperaturausgleiches im Brennraum ist noch verhältnismäßig wenig eingeführt.

Der Brandverlauf wird meist an Hand der sog. Segerkegel beobachtet, die in den Brennraum mit eingesetzt werden und bei bestimmten Temperaturgrenzen schmelzen. Die Schmelzpunkte der Segerkegel sind dabei auch von der Dauer der Erhitzung abhängig. Die für die Segerkegel angegebenen Schmelztemperaturen decken sich im allgemeinen nicht genau mit der bei der Messung ermittelten wirklichen Temperatur des Brennraumes. Die Überwachung mit Segerkegeln hat sich aber für das Brennerpersonal als ausreichend erwiesen.

Während die Endtemperaturen für den Garbrand für dieselbe Ware im allgemeinen praktisch die gleichen sind, unterscheidet sich der zeitliche Verlauf des Temperaturanstieges auch für die gleiche Ware in der Praxis um sehr beträchtliche Beträge. Dies hängt in erster Linie mit dem schon besprochenen Nachhinken einzelner Ofenteile zusammen. Durch richtige Querschnittsverbesserung der Öfen und durch die erst in Entwicklung begriffene Einführung von Meßinstrumenten kann die Brandführung für die verschiedenen Waren und damit Brenndauer und Warenausfall auch bei stark abweichender Ofengröße wesentlich vergleichmäßigt werden. Gerade die Durchleuchtung der Brennvorgänge bildet die Hauptaufgabe der Wärmewirtschaft im Brennofenbetrieb. Insbesondere ist die Beseitigung oder Abminderung der Temperaturunterschiede im Ofen eine der wichtigsten Aufgaben zur Verbilligung und Beschleunigung des Brennens und zur Vergleichmäßigung des Warenausfalls bei gleichzeitiger Verminderung des Kohlenverbrauches. Es ist auch durch zahlreiche vergleichende Branduntersuchungen¹⁾ zunächst für Porzellan und Steingut der ideale zeitliche Verlauf der Temperatur während des Brandes und der Abkühlung, ebenso die erforderliche Zusammensetzung der Rauchgase festgestellt worden. Es hat sich hierbei gezeigt, daß durch entsprechende Verbesserung des Ofenbetriebes in bezug auf Querschnitte und Schürweise eine Annäherung des Brennvorganges an diese Idealkurven beim Porzellanbrand unabhängig von der Ofengröße weitgehend möglich war, während bei Steingut sich dies nur bei kleineren Öfen bisher praktisch erreichen ließ, die größeren Öfen indes längere Brenndauern, als der Idealkurve entspricht, erfordern. Dies hängt auch damit zusammen, daß die in der Praxis angewandte Ofengröße beim Porzellanbrand sich im allgemeinen nur zwischen 30 und 80 m³ bewegt, während beim Steingut ein Ofeninhalt bis zu 200 m³ anzutreffen ist. Der fehlerfreie Betrieb von Tunnelöfen, insbesondere für Porzellan, wurde durch die Festlegung des zweckmäßigsten Temperaturverlaufes für Brand und Abkühlung und der in den einzelnen Zonen einzuhaltenden Rauchgasatmosphäre ermöglicht²⁾.

¹⁾ Reutlinger (a. a. O.).

²⁾ Berichte der Deutschen Keram. Ges. H. 3 und 4. 1922.

Die Verbesserung des Porzellanbrennbetriebes im Sinne der Annäherung an die Idealkurven hat im allgemeinen einen Rückgang der Brenndauer von der nicht selten anzutreffenden Zeit von 35 bis 45 Stunden einheitlich auf eine Brenndauer von etwa 20 bis 24 Stunden ermöglicht (bei kleineren Elektroporzellanöfen sogar bis auf 18 Stunden), bei einem gleichzeitigen Rückgang des Kohlenverbrauches um 10 bis 15%, einer weitgehenden Verminderung der Ausschußware und Vergleichmäßigung des ganzen Warenausfalls. Die Abb. 48 zeigt den als ideal anzustrebenden und in Wirklichkeit auch erreichten Verlauf der mittleren Temperaturkurve und der Rauchgasatmosphäre, gegenüber den früheren Verhältnissen im praktischen Betrieb. Die Darstellung der Rauchgasatmosphäre zeigt die Verminderung des Luftüberschusses (Sauerstoffgehalt in Vor- und Mittelbrandzeiten) und des zur Bildung langer Flammen angewandten bzw. notwendigen

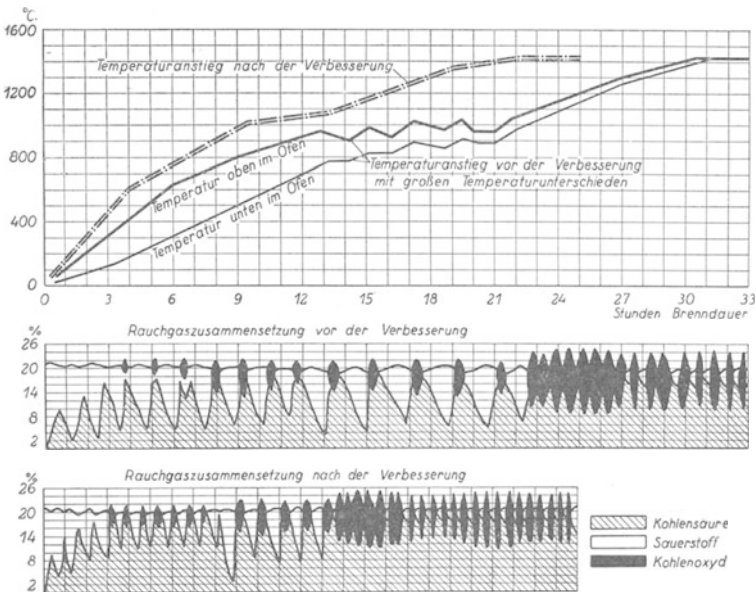


Abb. 48. Verbesserung des Brandverlaufes eines Porzellanrundofens. (Nach Reutlinger.)

Kohlenoxydgehalten in der Scharfbrandzeit. Die unverbrannten Gase (CO usw.) brennen erst auf dem Wege durch den Ofen aus, um die unteren und mittleren Teile des Einsatzes nachzuheizen, werden jedoch üblicherweise in zu großem Maße entwickelt und bedingen den Hauptverlust durch Abgase. Die Abb. 49 enthält für Steingutrohöfen die Reutlingersche Idealkurve für die Temperatursteigerung in starkem Linienzug und die wirklichen Temperaturkurven bei Industrieöfen verschiedener Größe. Während beim kleinsten untersuchten Ofen von 45 m³ die als vorbildlich abgeleitete Schnelligkeit der Temperatursteigerung entsprechend einer Brenndauer von etwa 9 Stunden bereits wirklich erreicht ist, wächst die Brenndauer der größeren Öfen bei gleicher Endtemperatur fast genau im Verhältnis zu der Größe des Ofenraumes. Die Abb. 50 und 51 zeigen die Brenndauer und den Kohlenverbrauch für Roh- und Glattöfen in Abhängigkeit von der Ofengröße.

Die vorstehend besprochene Klärung der Brennbedingungen für Porzellan und Steingut zeigt, wie Wärmewirtschaft und Herstellung

eng miteinander verknüpft sind, um sowohl wirtschaftliche Schäden durch unnötig hohen Kohlenverbrauch, unnötig lange Brenndauer, also hohe Löhne, geringere Erzeugung und unnötig lang festliegendes Kapital, vor allem aber nicht vollwertige Ware durch mehr oder weniger großen Anfall an Ausschuß und überhaupt unregelmäßigen Warenausfall zu vermeiden. Außerdem zeigen sich die Vorteile der meßtechnischen Einrichtungen und des Ausbaues nach wärmewirtschaftlichen Gesichtspunkten. Besonders die durch die Wärmewirtschaft gebrachten klaren Erkenntnisse haben bereits weitgehend mit dem früheren Zustand aufgeräumt, wobei einzelne Öfen von nur an diesen geschulten Brennern bedient werden können u. a. m.

Einfacher als im Porzellan- und hochwertigem Steingutbetrieb liegt die Frage der zweckmäßigsten Brandführung bei den übrigen keramischen Erzeugnissen. Grundsätzlich ist für alle Erzeugnisse mit Ausnahme der Steinzeugröhren eine möglichst gleichmäßige oxydierende Ofenatmosphäre zweckmäßig. Lediglich für Steinzeug muß mit Rücksicht darauf, daß der Handel eine ganz bestimmte dunkelbraune Farbe wünscht, die nur bei reduzierender Flamme erreichbar ist, in den letzten Teilen des Brandes mit erheblichem Überschuß an unverbrannten Gasen gearbeitet werden. Diese den

Kohlenverbrauch steigernde Maßnahme ist also nur durch eine ganz äußerliche Anforderung an das Aussehen der Ware bedingt. Im übrigen sind bei den sog. keramischen Erzeugnissen drei Hauptteile des Brandes zu unterscheiden; das Vorfeuer, das Scharffeuer und das Halten auf Endtemperatur. Das Vorfeuer muß je nach der Größe des Ofens und nach der Feuchtigkeit des Einsatzgutes und der Dichte der Setzweise

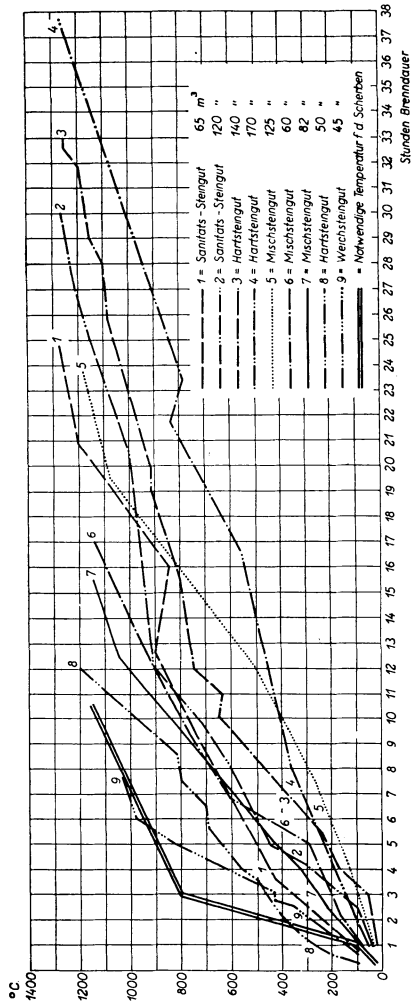


Abb. 49. Idealer und wirklicher Temperaturverlauf in Steingut-Rohöfen verschiedener Größe.

mehr oder weniger langsam, d. h. mit geringer Steigerung der Temperatur und der Zeiteinheit, geführt werden, wodurch sich bei den für den Scharfbrand bemessenen Rostflächen ein sehr erheblicher Luftüberschuß, d. h. eine geringe Brennstoffausnutzung im Vorfeuer, ergibt. Zu einem Zeitpunkt, wo das chemisch gebundene Wasser, Hydratwasser (s. auch S. 182), entwichen ist, und der gesamte Ofeninhalt gleichmäßig auf die

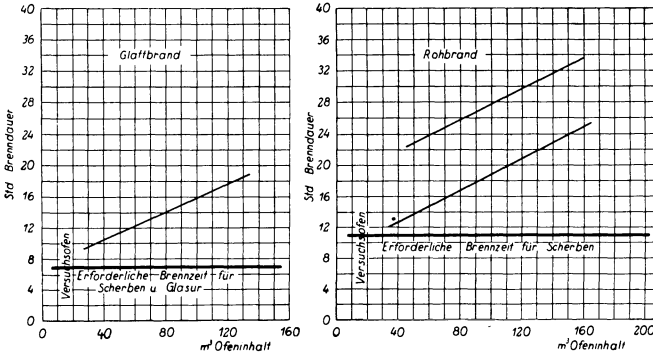


Abb. 50. Brenndauer des Roh- und Glattbrandes in Steingutöfen verschiedener Größe.

hierfür kritische Temperatur gebracht ist, kann dann das eigentliche Scharffeuer mit erheblich schnellerer Temperatursteigerung einsetzen. Der Grad der Temperatursteigerung ist lediglich von der Schnelligkeit des Temperatenausgleichs über dem gesamten Ofenraum abhängig. Nach

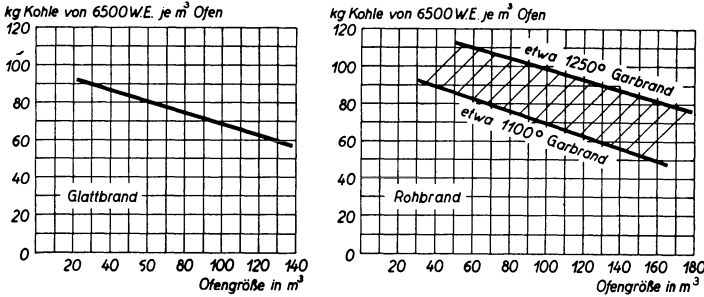


Abb. 51. Kohlenverbrauch des Roh- und Glattbrandes in Steingutöfen verschiedener Größe.

Erreichung der Garbrandtemperatur wird der gesamte Ofeninhalt zur Vergleichmäßigung des Warenausfalls längere Zeit auf der Endtemperatur gehalten. Beispielsweise beträgt bei Fußbodenplatten in Einzelöfen der üblichen Größe die gesamte Brenndauer ohne die Abkühlzeit 5 bis 8 Tage, wovon etwa 2 bis 3 Tage auf das Vorfeuer, etwa 2 bis 4 Tage auf den eigentlichen Scharfbrand und 1 bis 2 Tage auf das Halten des Ofens auf Endtemperatur entfallen. Die Abkühlzeit erfordert in derartigen Öfen 2 bis 3 Tage. Es handelt sich also um recht

beträchtliche Brenndauern, deren Abkürzung im Sinne der vorstehenden Ausführungen große wirtschaftliche Bedeutung besitzt.

Die Abb. 52 zeigt die Verhältnisse ebenfalls für Fußbodenplatten in einem Gaskammerofen. Die Temperaturkurve verteilt sich hier auf verschiedene Kammern, statt, wie beim Einzelofen, in einem einzigen Brennraum herbeigeführt zu werden. Die gesammte Brenndauer und der Charakter der Hochheiz- und Abkühlkurve ist im wesentlichen die gleiche wie beim Einzelofen. Die Garbranddauer einer Kammer ist dabei ungefähr reichlich 24 Stunden, so daß beim Kammerofen jeden Tag ein Teil der Fertigware entnommen werden kann, während beim Einzelofen die volle Brenn- und Abkühlzeit von 7 bis 10 Tagen zwischen Einsetzen und Ausnehmen der Ware abgewartet werden muß.

In dieser Beziehung noch vorteilhafter ist der Tunnelofen, bei dem ununterbrochen Fertigware ausgenommen und Einsatzware eingefüllt

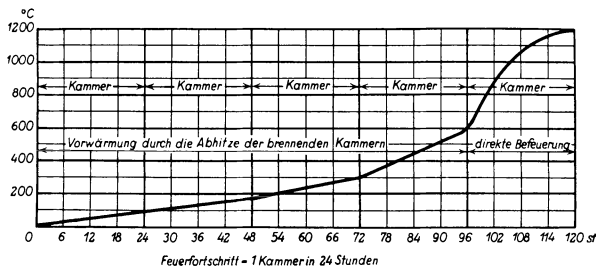


Abb. 52. Temperaturverlauf in einem Gaskammerofen für Fußbodenplatten.

wird. Beim Tunnelofen kann außerdem die gesamte Brenn- und Abkühlzeit wegen des viel geringeren Ofenquerschnittes auch wesentlich abgekürzt werden.

Ähnlich beurteilen sich die Verhältnisse bei den übrigen keramischen Erzeugnissen.

Der Kohlenverbrauch je Tonne eines keramischen Erzeugnisses ist einmal von der Größe und der Art der Öfen abhängig, andererseits von der Notwendigkeit der Verwendung von Kapseln und anderen Brennhilfsmitteln, wobei gleiche Güte der Brandführung vorausgesetzt ist, und schließlich von der prozentuellen Ausbringemenge an fertiggebrannter Ware von vollem Verkaufwert — also von der Ausschußziffer.

Was den Einfluß der Ofenbauart anbelangt, so kann für Durchschnittsverhältnisse als grober Maßstab das Verhältnis des Kohlenverbrauches im Tunnelofen, Gaskammerofen und Rundofen ohne Abhitzeverwertung roh mit etwa 1 : 2 : 3 eingeschätzt werden, d. h. der Rundofen verbraucht die dreifache, der Kammerofen die zweifache Kohlenmenge wie der Tunnelofen. Der Kohlenverbrauch wird bei

gleicher Bauart des Ofens von verschiedenen Umständen wesentlich beeinflußt: wie der Höhe des Luftüberschusses und der Menge unverbrannter Gase über dem Rost, von der Brenndauer, vor allem aber von der mehr oder weniger engen Einsetzweise der Ware im Ofen und — bei gleicher Setzweise — von der Ausnutzung des verfügbaren Kapselraumes durch die darin eingefüllte Ware. Wenn man vom Einfluß der Schürweise absieht, so ergibt sich das klarste Bild über die Güte des Ofens selbst, wenn man den Kohlenverbrauch je m³ Ofenraum zugrunde legt. Einen Maßstab für die Größe der Brandraumausnutzung gibt der Kohlenverbrauch je kg Gesamteinsatzgewicht, also für das Gewicht an Kapseln und Ware. Die für den Praktiker wichtigste Zahl, der Kohlenverbrauch je kg gebrannte Ware, enthält alle Einflüsse von Ofenbauart, Schürweise, Ausnutzung des Brennraumes und von Gewichtsverhältnissen der eingesetzten Kapseln zur eingesetzten Ware. Das letztere Verhältnis ist neben der Ausschußziffer meist von ausschlaggebendem Einfluß für den Nettokohlenverbrauch je kg Ware. Für normales Gebrauchsgeschirr bewegt sich dieses Verhältnis von Kapsel zu Ware zwischen 8 : 1 und 2 : 1. Die günstigen kleineren Ziffern werden im allgemeinen nur bei Elektroporzellan und bei geringwertigerem Steingut erreicht. Ebenso fällt der Kohlenkostenanteil je kg Verkaufsware mit der Ausschußziffer. Die Kohlenverbrauchsziffern bei mittelgroßen Öfen für die verschiedenen keramischen Erzeugnisse sind nachstehend zusammengestellt. Dabei werden alle Verbrauchsziffern auf eine mittelmilde Steinkohle von 6500 WE umgerechnet. Selbstredend ist der Kohlenverbrauch auch von der Eignung und Güte des Brennstoffes, von den Eigenschaften der Öfen, der Güte der Brandführung abhängig und in weiten Grenzen veränderlich. Die angeführten Zahlen beziehen sich auf mittelmilde Steinkohle (etwa 6500 WE) und normale Betriebsverhältnisse.

Für Porzellan beträgt bei mittelgroßen mit Verlühraum ausgestatteten Öfen (60 bis 80 m³ Glattbrandraum) der Brennstoffverbrauch je m³ Ofenraum zwischen 150 und 220 kg, wobei mit steigender Ofengröße im allgemeinen der Verbrauch je m³ etwas zurückgeht. Der Kohlenverbrauch je kg Porzellan beträgt bei dünnwandigen Gebrauchsgeschirr bei der üblichen nicht allzu vollkommenen Brandführung 2,8 bis 3,5 kg, bei Elektroporzellan 1,5 bis 2,5 kg. Bei unvollkommener Brandführung steigen die Ziffern, ebenso bei besonders feiner Ware, die ein relativ hohes Kapselgewicht erfordert, bis auf 5 kg für Gebrauchsporzellan, bzw. 3 kg für Elektroporzellan. Die Porzellanindustrie gehört zu den Industrien mit dem spezifisch höchsten Kohlenverbrauch, da etwa das dreifache Kohlengewicht für das Gewicht des Erzeugnisses verbraucht wird, und hat alle Ursache, der Steigerung der Ofenwirkungsgrade ihre Aufmerksamkeit zu schenken. Die ungefähre Wärmever-

bei Elektroporzellan, ein mittlerer Kohlenverbrauch für Hotelgeschirr und Gebrauchsgeschirr und der höchste Kohlenverbrauch für Luxusgeschirr vorliegt. Die Abb. 54 zeigt die bemerkenswerte Tatsache, daß der Kohlenverbrauch je m^3 Ofenraum bei gleicher Setzdichte bei der in der deutschen Porzellanindustrie üblichen Ofengröße zwischen 60 und 80 m^3 nahezu gleichbleibt, während er bei kleineren Öfen ansteigt. Abb. 55 zeigt, daß der Kohlenverbrauch je m^3 Ofenraum langsamer ansteigt als der Gesamteinsatz an Kapseln und Ware.

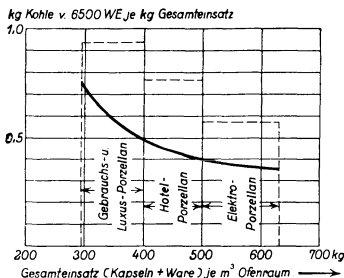
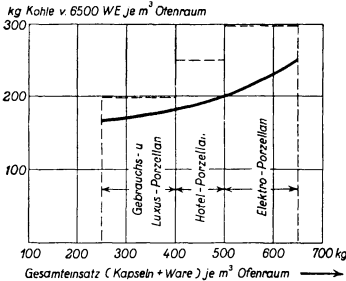


Abb. 55 u. 56. Kohlenverbrauch bei Porzellanröden in Abhängigkeit von der Setzdichte je m^3 Ofenraum (oben) und je kg Gesamteinsatz (unten).

Dabei sinkt der Kohlenverbrauch je kg Gesamteinsatz mit steigender Setzdichte anfangs schnell, dann langsamer (Abb. 56).

Öfen für Steingut verbrauchen für den Rohbrand etwa 0,75 bis 2,0 kg, für den Glattbrand rd. 0,9 bis 3 kg, insgesamt also 1,75 bis 5 kg für 1 kg Fertigware. Das ungünstigere Verhältnis des Glattbrandes ist durch das größere Kapselgewicht, die verschiedene Größe des Verbrauches durch die mehr oder weniger hohe Endtemperatur und die abweichende Ofengröße bedingt: Die Abb. 51 zeigt die Abnahme des Kohlenverbrauches mit der Ofengröße, und zwar in kg je m^3 Ofenraum. Der Kohlenverbrauch nimmt bei gleicher Endtemperatur etwa entsprechend der steigenden Ofengröße für den Roh- und für den Glattbrand ab, während die Brennzeit mit der Größe des Ofens wächst.

In Einzelöfen beträgt der Durchschnittsverbrauch je kg Ware bei Mosaikplatten 0,35 bis 0,7 kg, bei Steinzeug 0,20 bis 0,40 kg, bei Steinzeugröhren

0,70 bis 0,80 kg. Hier ist der höhere Verbrauch sowohl durch die hohe Endtemperatur als auch durch die verhältnismäßig geringe Raumausnutzung im Ofen bedingt.

Die vorstehenden Verbrauchsziffern beziehen sich durchweg auf Einzelöfen ohne Abhitzeverwertung. Durch besonders sorgfältige Brandführung lassen sich die Ziffern im allgemeinen um 10 bis 20% verringern, insbesondere nach Verbesserung der Querschnittsverhältnisse der Öfen.

In den Ringöfen für Ziegel ergeben sich für Dachziegel Verbrauchsziffern von etwa 0,06 kg je kg Ware (keinerlei Brennhilfsmittel) im Einzelofen 0,25 kg. Für gewöhnliche Ziegel beträgt der Kohlen-

verbrauch im Ringofen etwa 5% des gebrannten Steingewichtes. Bei Einzelöfen für Schamottesteine bewegt sich je nach Höhe der Endtemperatur im guten Einzelofen der Brennstoffverbrauch zwischen 15 und 20% des Einsatzgewichtes. In der Grobkeramik beträgt also der Kohlenverbrauch nur einen Bruchteil des Einsatzgewichtes, während in der Feinkeramik der Kohlenverbrauch auf das zwei-, drei- und mehrfache des Einsatzgewichtes steigt.

Es wurde bereits erwähnt, daß der Kohlenverbrauch wie er in den heute gebräuchlichen Einzelöfen vorliegt, durch Verbesserung des Ofenquerschnittes, durch Belehrung und Überwachung des Brennerpersonals und durch genaue Setzweise und Ausnutzung des Kapselraumes, um Beträge von 15 bis 20% der im vorstehenden als heute durchschnittlich gekennzeichneten Verbrauchsziffern herabgedrückt werden kann.

Eine weitere erhebliche Einschränkung des Gesamtkohlenverbrauchs ist durch Nutzbarmachung der Ofenabwärme erzielbar¹⁾. In erster Linie kommen sowohl für die Werke, deren Öfen Einzelschornsteine besitzen (Porzellanindustrie), wie für die Fabriken, bei denen die Öfen in größeren Gruppen an einen gemeinsamen Schornstein angeschlossen sind (Steingut und Grobkeramik), die noch viel zu wenig verbreitete Ausnutzung der nach Brandende im Einsatzgut und Ofenmauerwerk aufgespeicherte Wärme zu Heiz- und Trockenzwecken in Frage. Derartige Luftheizanlagen müssen allerdings sachgemäß durchgerechnet und entworfen werden, um an den richtigen Stellen die benötigte Heizwirkung mit geringstem Kraftbedarf und geringsten Anlagekosten zu sichern. Beispielsweise beträgt der Gewinn durch die Warmluftabsaugung aus einem in Abkühlung stehenden 100 m³ Steingutofen bei 24stündiger Abkühldauer rd. 3,5 t Kohle von 6500 WE für jeden Brand. Dieser Gewinn entspricht einer Verringerung des Kohlenverbrauches für den Steingutbrand um rd. 30%, falls statt der Verwendung von Abhitze ein 24stündiger Dampfheizbetrieb nötig wäre. Bei nur 8stündigem Dampfheizbetrieb verringert sich die Ersparnis auf 10%.

Richtig ausgeführte Abhitzeanlagen können im allgemeinen die gesamte für Raumheizung und Trocknung benötigte Heizdampfmenge und die dafür unter dem Dampfkessel zu verfeuernde Kohlenmenge in Wegfall bringen, falls mindestens 6 Öfen wöchentlich in Abkühlung stehen, denen die Warmluft entzogen werden kann. In Anlagen mit Dampfmaschinen ist bei Entwurf der Abhitzeanlage abzuwägen, welcher Teil des Werkes mit Warmluft und welcher mit Abdampf beheizt wird. Ausschlaggebend hierfür ist der Vergleich der Anlage- und Betriebskosten für Warmluftverteilungsnetz und Abdampfnetz.

¹⁾ Reutlinger: Berichte der Deutschen Keram. Ges. H. 1 von April 1923.

Weniger einfach, aber in vielen Betrieben der Steingutindustrie und Grobkeramik, seltener in Porzellanbetrieben durchführbar, ist die Ausnutzung der Abhitze der brennenden Öfen. Der Porzellanofen hat eine teilweise Ausnutzung bereits für den Glühraum, während bei den übrigen Ofenbauarten die Abgase mit der Brenntemperatur und einem oft ziemlich hohen Gehalt an unverbrannten Gasen in den Abgaskanal entweichen. Bei Öfen mit Einzelschornsteinen wird mit Rücksicht auf die kurzen Brennzeiten im allgemeinen eine Verzinsung der hinter jedem Ofen einzubauenden Abhitzeanlage und der erforderlichen Zugverstärkung nicht befriedigend erreicht werden können. Fahrbare Anlagen, die abwechselnd an die einzelnen Schornsteine angeschlossen werden können, haben sich wegen betriebstechnischer Schwierigkeiten bisher nicht einführen können. Für die Abhitzeausnutzung der brennenden Öfen kommen daher überwiegend nur Ofengruppen in Frage, die an einen gemeinsamen Schornstein angeschlossen oder wenigstens durch eine gemeinsame Kanalanordnung in Verbindung gesetzt werden können. Hier ergeben sich dann zwei grundsätzliche Lösungen: die Kupplung der Öfen oder der Einbau von Lufterhitzern oder Abhitzedampfkesseln in den gemeinsamen Abgaskanal.

Die Kupplung, die meist erhebliche Umbauarbeiten bedingt (Ofensohlen, Fundamente, Rauchgaskanäle), ergibt bisweilen eine Brennstoffersparnis von 15 bis 20% des Kohlenverbrauches ohne Vorwärmung. Die Kupplung ist auch für Öfen mit Einzelschornsteinen durchführbar, wenn für genügenden Zug gesorgt wird.

Die Wirtschaftlichkeit der Ausnutzung der Abgaswärme zur Dampf- oder Warmlufterzeugung in Lufterhitzern oder Dampfkesseln ist durch die Platzverhältnisse, durch die Zugfrage und durch die Anzahl der gleichzeitig in Brand stehenden Öfen beeinflusst. Die Anlagekosten sind gewöhnlich geringer als bei Kupplung der Öfen. Für größere Betriebe ergibt sich eine recht befriedigende Wirtschaftlichkeit, bisweilen sogar Stilllegung der mit Kohle beheizten Hochdruckkessel und damit Ersparnisse des hierfür erforderlichen Kohlenbedarfes. In Bd. I S. 22 Abb. 6 ist das Beispiel einer Abhitzeverwertung durchgeführt. Der aus der Abhitze gewonnene Hochdruckdampf ermöglichte hier sowohl den Betrieb der Dampfmaschine, als auch gleichzeitig der Trocknung und die Stilllegung der kohlebeheizten Kessel. Trotzdem ist durch gründliche wärmewirtschaftliche Untersuchung stets zu erwägen, ob nach der Durchführung der Abwärmeausnutzung der abkühlenden Öfen und nach dem geeigneten Ausbau der Abdampfverwertung der Betriebsmaschinen noch genügend Wärme und Trockenbedarf verbleibt, um die Wirtschaftlichkeit der Anlage für die Ausnutzung der brennenden Öfen zu rechtfertigen. Immer aber kann der Gesamtkohlenverbrauch der keramischen Industrien für Kraft,

Brennvorgänge, Trocknung und Heizung durch Ausnutzung der Abwärmquellen in Abdampf, Abluft und Abgasen der Öfen um außerordentlich fühlbare Beträge herabgedrückt werden. Die Abb. 57¹⁾ zeigt beispielsweise die in einem Steingutbetrieb mit 6 Rohöfen von 150 m³ entstehende Abwärmemenge aus den brennenden und abkühlenden Öfen, soweit sie mit Temperaturen von über 400⁰ bei den brennenden und über 200⁰ abkühlenden Öfen zur Verfügung steht. Durchschnittlich wirtschaftlich nutzbar sind rd. 4,7 Millionen WE/st, d. h. eine Wärmemenge, gleichwertig der Nutzleistung einer Tonne Kohle, die stündlich unter den Dampfkesseln verheizt wird.

Die Abkürzung der Brenndauer, wie sie für die größeren Öfen durch richtige Querschnittsausbildung und scharfe Brandüberwachung anzustreben und erreichbar ist, ist vielfach von noch größerer wirtschaftlicher Bedeutung als die erreichbare Verminderung des Kohlenverbrauches. Sie bedeutet in erster Linie eine erhebliche Vermehrung der Erzeugungsmöglichkeit ohne Kapitalaufwand für Ofenneubauten, wie sie sonst für eine gleiche Erzeugungssteigerung erforderlich würde. Unterstützt kann diese Steigerung noch werden durch die Herabsetzung der Abkühldauer bei Errichtung von Abhitzeanlagen für die abzukühlenden Öfen. Bei einer Abkürzung der Brenndauer und der Abkühlzeit können die vorhandenen Öfen entsprechend häufiger zum Brand bereitgestellt werden, so daß sich eine wesentliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Verbilligung des Betriebes ergibt.

Bei einem 6-Ofenbetrieb der Steingutindustrie z. B., der 6 Öfen je Woche in zwei Gruppen zu 3 Öfen brennt (Aussetzen und Einsetzen 2½ Tage, Brenndauer 1½ Tag, Abkühldauer 2 Tage), läßt sich bei Abkürzung der Brenn- und Abkühldauer auf je 24 Stunden und bei Arbeiten mit 3 Gruppen zu 2 Öfen die Brandzahl auf 9 Öfen je Woche erhöhen; dies entspricht einer 50 proz. Steigerung der Erzeugung, die sich bei der bisher üblichen Brenndauer und Abkühlzeit nur durch den Neubau von 3 Öfen und der dazugehörigen Baulichkeiten ermöglichen ließe.

Aus diesem, praktischen Betriebszahlen entnommenen Beispiel geht hervor, welch hohe wirtschaftliche Bedeutung richtig angewandte

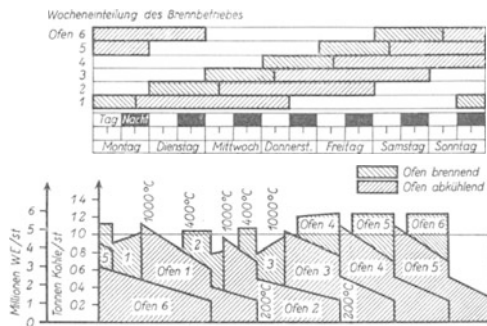


Abb. 57. Nutzbare Abhitzeleistungen aus den brennenden und abkühlenden 6 Rohöfen von 150 m³ eines Steingutwerkes.

Ausnutzbare Abwärme aus Rauchgasen von 400—1000° C und aus Kühlluft von 100—200° C; durchschnittlich ständig verfügbar 4,7 Mill. WE/st gleichwertig der Nutzleistung von 1 t/st unter einem Kessel verheizter Kohle.

¹⁾ Reutlinger, Gesundheitsing. H. 40, S. 498. 1925.

wärmewirtschaftliche Arbeit auch neben der Verminderung des Kohlenverbrauches für die keramische Industrie besitzt.

Zementindustrie.

Die Zementindustrie ist eine jener Industrien, welche im letzten Jahrzehnt ihre Erzeugungsziffern gewaltig erhöht haben, was wohl damit im Zusammenhang steht, daß die Eisenbetonbauweisen immer mehr Anwendung finden. Die Erzeugungssteigerung ist aus Tafel 29 nach Veröffentlichungen des amerikanischen Handelsamtes deutlich zu ersehen.

Zahlentafel 29.

Zement-Jahres-Erzeugung	1913	1927
	in Millionen Tonnen	
Vereinigte Staaten	15,500	29,300
Übriges Nordamerika	1,741	1,983
Europa	20,500	30,200
davon Deutschland	7,32	7,15
Asien	1,100	4,0
davon Japan	0,63	2,55
Südamerika	0,036	0,570
Afrika	0,155	0,452
Australien	0,168	0,895
Insgesamt	<u>39,200</u>	<u>67,500</u>

Es hat sich demnach gegenüber der Vorkriegszeit fast eine Verdopplung der Zementerzeugung ergeben. Die Leistungsfähigkeit der gesamten Zementindustrie der Welt wird auf etwa 92 Millionen Tonnen geschätzt. Sie erscheint somit zu etwa $\frac{3}{4}$ ausgenutzt.

Die hauptsächlichsten Ausgangsstoffe für die Herstellung von Zement sind Kalk, Ton (Mergel und Schiefer) und ein entsprechender Brennstoff. Aus etwa 2000 kg dieser Rohstoffe wird 1 Tonne Zement gewonnen. Da die Brennstoffkosten in der Zementindustrie mehr als die Hälfte der Gesteungskosten betragen, ist der Brennstofffrage bei Errichtung und Betrieb von Zementfabriken größtes Augenmerk zu widmen.

Für die Kraft- und Wärmebedarfsverhältnisse der Zementindustrie sind mit Rücksicht auf die Verschiedenheiten in bezug auf die Rohstoffe, die Öfen und sonstigen Anlagen, Durchschnittsziffern nur schwer anzugeben. Bei den Öfen treten Brennstoffbedarfsziffern von 0,2, aber auch solche von 0,4 Tonnen je Tonne Zement auf, bei den Kraftanlagen Verbrauchsziffern von 75 bis 140 kWst je Tonne Zement (je nach Mahlfeinheit, Rohstoffbehandlung u. a. m.).

Bei der Zementerzeugung werden zunächst die Rohstoffe zerkleinert und feingemahlen, sodann zum „Klinker“ gebrannt. Durch

nochmaliges Mahlen des Klinkers ergibt sich der Zement. Die Anlagen der Zementfabriken bestehen somit im wesentlichen aus Brech- und Mahlanlagen, dem Brennofen und verschiedenen Fördervorrichtungen, schließlich aus den Einrichtungen für die Verpackung des Zementes in Fässer oder Säcke.

Je nach der Behandlung der Rohstoffe bei der Zementerzeugung unterscheidet man das nasse und das trockene Verfahren. Bei dem erstgenannten wird der Rohstoff unter Zusatz von Wasser zerkleinert. Es wird häufig angewendet, wenn es sich um die Behandlung von Kreide und Tonmergel handelt, die in Waschmühlen zu einer Paste verarbeitet werden. (Auch für harte Stoffe wird dieses Verfahren verwendet.) Der Kraftbedarf für das Zerkleinern und Mahlen beim Naßverfahren schwankt in weiten Grenzen. Bei weichen Stoffen kommen Ziffern von 6 kWst je Tonne Zement, bei harten Stoffen solche von 55 kWst vor. Das Naßverfahren hat den großen Vorteil, Veränderungen in der Zusammensetzung der Rohmischung vor Einbringen in den Ofen leicht zuzulassen. Ein weiterer Vorteil ist die Reinlichkeit des Verfahrens, das sich insbesondere in der vollständigen oder teilweisen Staubfreiheit der Öfen zeigt. Auch braucht das Naßverfahren zum Vermahlen im allgemeinen weniger Kraft als der trockene Mahlvorgang. Der Nachteil des Naßverfahrens besteht in dem etwas höheren Brennstoffverbrauch der Öfen, da die erwähnte Paste 35 bis 45% Wasser und darüber enthält, das verdampft werden muß. Dieser Mehrverbrauch an Brennstoff wird aber durch den geringeren Kraftaufwand beim Vermahlen zum Teil oder auch ganz ausgeglichen.

Beim Trockenverfahren werden die Rohstoffe trocken zu Pulver vermahlen. Die Erfahrung hierbei hat gezeigt, daß sich bei der Mischung der pulverförmigen Rohstoffe Schwierigkeiten ergeben können. Ferner sind Nachteile durch den Staubverlust im Ofen und durch den größeren Kraftaufwand beim Vermahlen gegeben. Der Vorteil des Trockenverfahrens liegt im allgemeinen in geringerem Brennstoffaufwand für das Brennen.

Der Kraftbedarf beläuft sich bei Brechanlagen üblicher Größe auf etwa 500 bis 600 PS. Die Größe der Mühlen hat sich im Laufe der Zeit entsprechend einer Kraftbedarfserhöhung von 100 PS auf 600 bis 700 je Einheit gesteigert. Die größten bekannt gewordenen Einheiten erfordern etwa 1200 PS im Beharrungszustand und 2000 PS für das Anlaufen.

Zur Austreibung der Feuchtigkeit wird die nasse Rohstoffmischung getrocknet. Die hierzu verwendeten Öfen teilen sich in zwei Hauptgruppen, die feststehenden Öfen und die Drehöfen. Die erstgenannte Hauptgruppe unterteilt sich wieder in Öfen mit unterbrochenem Betrieb (Kammerofen, Kanalschachtofen von Johnson u. a.) und solche mit

ununterbrochenem Betrieb (Dietzcher Etagenofen, Aalbergofen u. a.). Der Drehofen ist im wesentlichen durch eine schräg gelagerte umlaufende Trommel gekennzeichnet, in der das Feuchtgut im Gegenstrom zu den Abgasen unter ständiger Umwälzung fortbewegt wird. Diese Ofenbauart ist häufig mit Kohlenstaubfeuerung versehen, und als erste verbreitete Anwendungsart der Kohlenstaubfeuerung bemerkenswert.

Der Vorgang des Brennens kann, unabhängig von der Ofenbauart, in folgende Einzelvorgänge gegliedert werden¹⁾:

1. Austreiben der im Brenngut vorhandenen Feuchtigkeit.
2. Anwärmen des Brenngutes auf die Temperatur, bei welcher die Trennung des kohlen-sauren Kalkes von der Rohmasse einsetzt.
3. Austreiben der Kohlensäure aus dem kohlen-sauren Kalk.
4. Weiteres Erhitzen des Brenngutes zum Austreiben des letzten Restes an Kohlensäure und darüber hinaus auf die Sinterungstemperatur, bei welcher sich diejenigen chemischen Vorgänge abspielen, deren Endergebnis der Klinker ist.

Der theoretische Wärmehaufwand für diese Vorgänge wird mit rd. 900 WE je kg Klinker angegeben. In der Wirklichkeit wird dieser Wert jedoch vielfach überschritten und hängt ganz wesentlich mit der Ofenbauart zusammen.

Schachtofen geben vom Standpunkte der Wärmeausnützung das günstigste Ergebnis (1040 WE/kg bis 1100 WE/kg), während die Drehöfen mit 1300 WE/kg bis 1600 WE/kg an letzter Stelle stehen. Dies ist u. a. in der unmittelbaren Berührung eines Teiles der kalten Verbrennungsluft mit dem zu kühlenden Klinker, hauptsächlich aber in der innigen Berührung der abziehenden Gase mit dem vorzuwärmenden Brenngute im Schachtofen begründet. Im Drehofen fehlt diese innige unmittelbare Berührung. Im Ringofen und Schachtofen ist auch der Brennstoff selbst in unmittelbarer Berührung mit dem Brenngut, wogegen beim Drehofen die aus dem Brennstoff entwickelte Wärme durch Gase und Ofenfutter auf das Brenngut übertragen werden muß. Die geringere Wirtschaftlichkeit des Drehofens, vom Standpunkt der Wärmeausnützung im Ofen selbst, drückt sich in seiner höheren Abgastemperatur aus.

Morch²⁾ gibt bei Schachtofen verschiedener Bauart mit einem Ausbringen von 10 bis 15 Tonnen je Tag einen Brennstoffverbrauch von 15 bis 20% in bezug auf den erbrannten Klinker an. Es werden aber ununterbrochen im Aufbau der Schachtofen auch weiterhin Verbesserungen versucht, welche den Brennstoffverbrauch noch weiter ver-

¹⁾ Bruyn: Aus der Wärmewirtschaft in der Zementindustrie. Sparwirtschaft 1924, H. 11/12.

²⁾ The Fuel Question in the Cement Industry (Bericht vom dänischen Nationalkomitee bei der Brennstofftagung der Weltkraftkonferenz London 1928).

ringern. Insbesondere wird die Selbsttätigkeit des Betriebes durch ununterbrochen mechanische Entleerung und selbsttätige Zuführung von Brennstoff und Brenngut angestrebt. Diese Maßnahmen dienen der Vereinfachung der Betriebsführung und der Verringerung des Brennstoffverbrauches ohne Rücksichtnahme auf äußere Abhitzeverwertung.

Für Drehöfen wird der Brennstoffverbrauch zu 35 bis 40% auf den erbrannten Klinker bezogen, angegeben. Durch Maßnahmen zur Verringerung dieses im Verhältnis zu den Schachtofen hohen Hundertsatzes ist wohl kaum mehr viel zu erreichen. Infolgedessen mußte sich die Entwicklung der Drehöfen hauptsächlich der Weiterverwendung der heißen Abgase zuwenden. Die im Sinne dieser Bestrebungen ausgeführten Abhitzeverwertungsanlagen haben unleugbar wärmetechnische Vorteile gebracht. Zur Beurteilung ihrer Wirtschaftlichkeit sind jedoch auch die Anschaffungskosten und der große Raumbedarf in Berücksichtigung zu ziehen, welches letzteres insbesondere bei der nachträglichen Anordnung derartiger Anlagen in bestehenden Werken Schwierigkeiten bereitet.

Marguerre¹⁾ schlägt eine Lösung zur Verringerung des Raumbedarfes vor, dadurch, daß in den Abgaskanal nur ein Ekonomiser und ein Überhitzer eingeschaltet wird. Der Ekonomiser wird mittels einer Hochdruckpumpe unter höherem Druck gehalten als der erwünschten Dampfspannung entspricht, während der eigentliche Verdampfer, der außerhalb des Rauchgaskanals angeordnet wird, nur als Entspannungsgefäß dient. Der entspannte Dampf wird in dem im Rauchkanal angeordneten Überhitzer auf die gewünschte Temperatur gebracht. Durch die Trennung der Abhitzeanlage in einen Hochdruckvorwärmer und in eine Verdampferanlage soll die Verbilligung und die Möglichkeit der besseren Anpassung an örtliche Verhältnisse erzielt werden. In einer nach diesen Vorschlägen durchgeführten Anlage²⁾ wurden die Abgase eines naß arbeitenden Drehofens in einer Menge von 37000 m³/st bei 495° C einen Rauchgasvorwärmer von 2100 m², einem Speisewasservorwärmer von 700 m² und einem Überhitzer von 180 m² zugeführt. Bei einem Tagesdurchsatz des Ofens von 203 t und einem Kohlenverbrauch von 34,8% des Klinkergewichtes wurden in der Abhitzeanlage 6150 kg/st Dampf von 12,5 atü und 370° C erzeugt, die eine Turbinenleistung von 760 kWst ermöglichten.

Trotzdem also der Drehofen nur bei Abwärmeverwertung wirtschaftlich arbeitet, ohne diese aber einen ungünstigen Brennstoffverbrauch ergibt, besitzt er durch seine guten Eigenschaften in anderer Hinsicht eine große Wichtigkeit für die Zementindustrie. Er gestattet, mit wenig Arbeitskräften auszukommen; auch zeichnet sich der im Drehofen erbrannte Zement durch höhere Festigkeit aus u. dgl. m.

Die Abhitzeverwertung in Drehöfen kann eine Ersparnis von etwa 25% des Gesamtkohlenverbrauches bringen. Drehofenanlagen ohne Abhitzeverwertung, bei denen die benötigte Kraft in Dampfmaschinen

¹⁾ Arch. f. W. u. D. 1928, S. 396.

²⁾ Beschrieben von Eck: Zement 1928, S. 1611.

erzeugt wird, deren Betriebsdampf in besonderen mit Kohlen geheizten Kesseln zur Erzeugung gelangt, haben nach Morch (a. a. O.) einen durchschnittlichen Verbrauch von 430 kg Kohle von 7000 WE je Tonne Zement, während neuzeitliche Anlagen mit Drehöfen, deren Abhitze zur Kesselheizung verwendet wird, einen Verbrauch von nur etwa 300 kg Kohle je Tonne Zement aufweisen. Die erzielbare Ersparnis ist bei naß arbeitenden Drehöfen etwas geringer als bei trocken arbeitenden. Auf den Durchschnitt der Welterzeugung gerechnet, beträgt der Kohlenverbrauch der Portland-Zementindustrie ungefähr 400 kg je Tonne Zement. Hierbei wird etwa 50% in Drehöfen mit dem Trockenverfahren, 40% in Drehöfen mit dem Naßverfahren und der Rest in Anlagen mit feststehenden Öfen erzeugt. Die durchgehende Einführung der Abhitzeverwertung würde den Kohlenverbrauch im Durchschnitt um mindestens 20% heruntersetzen können, woraus sich die große Bedeutung der Abhitzeverwertung in der Zementindustrie ergibt. Ihr Einfluß zeigt sich in der immer zunehmenden Zahl und Größe von Anlagen mit Abhitzeverwertung, über welche in der Literatur¹⁾ berichtet wird.

In Japan, dessen Zementindustrie nach Kasai²⁾ eine jährliche Leistungsfähigkeit von 4 Millionen Tonnen aufweist, wobei für die eigentliche Zementerzeugung im Durchschnitt 109 kWst je Tonne verbraucht werden, haben die Abhitzeverwertungsanlagen einen bedeutenden Stand erreicht. Ende 1927 besaßen 18 Werke Abhitzekraftanlagen von insgesamt 43 Kesseln mit 32544 m² Heizfläche und 29 Turbogeneratoren von 54410 kW Normalleistung. Für die nächste Zeit kündigt Kasai eine Vermehrung der Abhitzeanlagen auf 53 Kesseln mit 40841 m² Heizfläche und 34 Turbogeneratoren mit 72110 kW Normalleistung an. Die jährliche Ersparnis an Kohle erreicht schon gegenwärtig mindestens ½ Million Tonnen im Werte von 5 Millionen Yen. Dieser Ersparnis stehen Anlagekosten von etwa 12½ Million Yen gegenüber, die durch den angekündigten Leistungsausbau auf 17 Millionen Yen steigen sollen. Hiernach erscheinen für diese Verhältnisse die Anlagekosten sehr wirtschaftlich verzinst.

Kalkindustrie.

Die Wärmewirtschaft in der Kalkindustrie ist in vielem derjenigen in der Zementindustrie ähnlich. Ein grundsätzlicher Unterschied besteht bezüglich des Kraftbedarfes bzw. seines Verhältnisses zum Wärmebedarf. In der Kalkindustrie ist der Kraftbedarf durch den

¹⁾ Siehe u. a. Power Pl. Engg. v. 5. Juli 1927, S. 37 u. v. 7. August 1928, S. 220. — Naske: Z. V. d. I. 1930, Nr. 1, Neuerungen an Zementbrennöfen.

²⁾ Die Abhitzeverwertung in der japanischen Zementindustrie (Bericht bei der Brennstofftagung der Weltkraftkonferenz, London 1928).

Wegfall der in der Zementindustrie vorkommenden Zerkleinerungsvorgänge ein geringerer, so daß die Wärmewirtschaft des Brennvorganges noch mehr im Vordergrund steht.

Der Rohstoff der Kalkindustrie ist der Kalkstein, der in der Hauptsache aus Kalziumoxyd und Kohlensäure besteht und je nach der Fundstelle Verunreinigungen in größerer oder kleinerer Menge besitzt. Aus dem Kalkstein wird die Kohlensäure durch Erhitzung entfernt. Das Resterzeugnis heißt dann Ätzkalk, der bereits in dieser Form für Bauzwecke, in der Landwirtschaft, in der Metallurgie, in der Zuckerindustrie und in verschiedenen chemischen Industrien Verwendung findet.

Sehr maßgebend für den Brennvorgang sind die Temperatur- und Druckverhältnisse, die eingehalten werden müssen. Nach Untersuchungen von Le Chatelier beginnt die Kohlensäure unter normalem Druck bei 812° C zu entweichen. Die Zerlegungstemperatur ändert sich aber. Wenn der Druck (gemeint ist natürlich immer der Teildruck der Kohlensäure) geringer ist, ist auch die Zerlegungstemperatur geringer. Ist der Druck höher, so steigt auch die Zerlegungstemperatur; sie beträgt bei einem Überdruck von 1 at etwa 865° C. Beim Austreiben der Kohlensäure durch die Gesteinsporen sind Widerstände zu überwinden, nach deren Größe (abhängig von der Dichte des Gesteingefüges und von der Größe der zu brennenden Steine) sich die Höhe der praktischen Brenntemperatur richtet. So braucht z. B. sehr dichter, kristallinischer Kalkstein Brenntemperaturen von 1300 bis 1500° C.¹⁾

Zur Zerlegung des Kalksteins, d. h. zur Abspaltung der Kohlensäure, werden nach Thomsen für 100 kg vollkommen reinen Kalkstein 42520 WE verbraucht. Aus den erwähnten Zusammenhängen zwischen Zerlegungstemperatur und Zerlegungsdruck geht hervor, daß bei geringerem Teildruck der Kohlensäure mit niedrigeren Brenntemperaturen das Auslangen gefunden werden kann. Im wirklichen Ofenbetrieb wirkt sich dies bei entsprechender Einstellung der Zugverhältnisse (stärkerer Zug entspricht höherem Luftüberschuß) durch ein schnelleres Entsäuern der zu brennenden Steine aus. Je weniger rein der zu brennende Kalkstein ist, um so weniger Wärme ist zum Brennen eines kg erforderlich, da die beigemengten fremden Gesteine nur zu ihrer Erwärmung Hitze benötigen. Die Beimengung fremder Gesteine bringt allerdings auch häufig Unannehmlichkeiten, da diese in Verbindung mit Kalk mitunter einen niedrigen Schmelzpunkt haben, wodurch eine glasurartige Schicht entsteht, die sich beim Löschen des Kalkes schädlich bemerkbar macht. Der Kalk ist dann „totgebrannt“ und entwertet. Am widerstandsfähigsten gegen das Totbrennen ist ein vollkommen reiner Kalkstein, dessen Sinterungspunkt erst bei fast 2000° liegt.

¹⁾ Moritz, Ing.: Kalkbrennöfen. Verlag d. V. d. Kalkwerke. Berlin 1924.

Das Kalkbrennen ist sehr lange bekannt. Die ursprünglich verwendeten Feuerungseinrichtungen haben im Laufe der Entwicklung ganz beträchtliche Veränderungen erfahren. Die einfachsten Formen des Kalkbrennens in Meilern, Feldöfen usw. fallen wohl außerhalb des Bereiches einer Kalkindustrie im heutigen Sinne. Unter den vielen Formen der in bestehenden Kalkindustriebetrieben verwendeten Brenneinrichtungen lassen sich gewisse Hauptgruppen unterscheiden, von denen die der Schacht- und Ringöfen im Vordergrund stehen. Der in der Zementindustrie so viel angewendete Drehrohrofen hat sich — abgesehen von Amerika — in der Kalkindustrie nicht recht einbürgern können. Er wird gelegentlich zum Brennen kleinstückigen Kalkes verwendet.

Die Ausführungsformen der Öfen sind auch innerhalb einzelner Ofenbauarten, je nach Art und Weise der Brennstoffverwendung und den Anforderungen des Brennvorganges verschieden. Mit Rücksicht auf die Verwendungsart der Brennstoffe kommen Ofenausführungen mit Rostfeuerungen (Seitenfeuerung, Halbgasfeuerung), mit „Mischfeuerung“ für feste Brennstoffe, schließlich verschiedene Formen der Gasfeuerung, Ölfeuerung und Staubfeuerung in Frage.

Die insbesondere zum Brennen von großstückigem Kalk verwendeten Ringöfen wurden von der Ziegelindustrie übernommen (Hoffmannsche Ringöfen). Das Gut wird bei den Ringöfen in die einzelnen Kammern eingesetzt, d. h. lose, aber planmäßig unter Aussparung gewisser Kanäle, aufeinander geschichtet, ähnlich dem Einsetzen der Ziegel in Ziegelringöfen. Der feste Brennstoff wird in bestimmter Art und Weise zwischen den Rohstoff geschüttet (Mischfeuerung). Ringöfen mit Gasfeuerung sind nur versuchsweise gebaut worden.

Beim Ringofen ist der Brennbetrieb einfach und übersichtlich und in seiner Stärke leicht zu beeinflussen. Die Abgastemperatur ist niedrig. In wärmewirtschaftlicher Hinsicht ist die große Masse des Ofenkörpers die erwärmt werden muß, sowie der meist sehr erhebliche Luftüberschuß von Nachteil. Schäfer¹⁾ gibt für Ringöfen mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von 150 bis 180 Tonnen Wirkungsgrade von 50 bis 60% an, wobei ein Rohgestein mit 98 bis 99% Kalziumkarbonat zugrunde gelegt ist.

Auch bei Schachtofen ist die Mischfeuerung, bei der Rohkalk und Brennstoff gemeinsam aufgegeben werden, weit verbreitet. Als Brennstoff wird zweckmäßig Koks verwendet, der langsam verbrennt, so daß die entwickelte Wärme in der im Gegenstrom zu den Abgasen abwärts gleitenden Begichtungssäule verhältnismäßig gut ausgenützt wird. Die Verwendung von gashaltigen Brennstoffen ist ungünstiger, weil ihre

¹⁾ „Das Kalkbrennen“. Leipzig: Voigt 1927.

raschere Verbrennung eine verhältnismäßig hohe Lage der Brennzone und damit eine geringere Ausnützung der Abgaswärme bedingt. Die neueren Bauarten von Schachtofen für Mischfeuerung sind meist mit selbsttätiger Beschickung und Entleerung ausgerüstet, wodurch sich auch in wärmewirtschaftlicher Hinsicht durch Gleichmäßigkeit des Brennbetriebes Vorteile ergeben. Ein Nachteil des Mischfeuerofens besteht in der Verunreinigung des Brenngutes durch Brennstoffschlacke. Diesen Nachteil vermeiden die Schachtofen mit Außenfeuerungen. Von diesen bestehen Ausführungen mit Rost bzw. Halbgasfeuerungen sowie mit Gasfeuerungen.

Schneider¹⁾ kennzeichnet die neuzeitliche Entwicklung der Kalkbrennöfen dahin, daß insbesondere die Notwendigkeit vieler Bedienungskräfte beim Ringofen neuerdings dem Schachtofen wieder mehr Anhänger zugeführt haben. Insbesondere der Schachtofen mit Mischfeuerung hat durch die erwähnte selbsttätige Beschickung und Entleerung an Bedeutung gewonnen. Der Schachtofen mit Gasfeuerung wird dann häufig angewendet, wenn ganz besondere Ansprüche bezüglich Güte und Reinheit des gebrannten Kalkes gestellt werden, wie beispielsweise bei seiner Verwendung für chemische Zwecke.

Je nach den Eigenschaften des Rohstoffes und der Führung des Brennvorganges ist auch der Wärmeverbrauch des Kalkbrennens sehr verschieden. Für Schachtofen werden bei Mischfeuerung tatsächliche Verbrauchswerte für 100 kg gebrannten Kalkes von 18 bis 25 kg Magerkohle oder Koks angegeben, hochwertiges Steinmaterial vorausgesetzt²⁾. Bei Öfen mit Außenfeuerungen kann im allgemeinen mit höherem Brennstoffaufwand (bis zu 50% mehr) gerechnet werden. Bei Öfen mit Generatorgasfeuerung sind nach Hermann³⁾ Verbrauchsziffern von 25% bei Verwendung von Braunkohlenbriketts erreicht worden. Für Ringöfen kommen Verbrauchsziffern von 17 bis 23 kg Steinkohle je 100 kg gebrannten Kalkes bei Verarbeitung hochwertiger Rohstoffe vor. Kalkstein mit geringerem Gehalt an Kalziumkarbonat braucht im allgemeinen weniger Brennmaterial als hochwertiger Kalk.

Für Gasschachtofen hat Schack⁴⁾ eingehende Berechnungen grundsätzlicher Art über den Wirkungsgrad durchgeführt. Diesen Berechnungen liegen allerdings verschiedene Annahmen zugrunde. Die Ergebnisse bringen u. a. eine Entscheidung in der Frage des Luftüberschusses. Durch den Umstand, daß ein geringerer Teildruck der Kohlen-säure, wie früher ausgeführt, ihre Austreibung beschleunigt, entsteht die Frage, ob ein Luftüberschuß vorteilhaft ist oder nicht. Diese Frage

¹⁾ Tonind. Zg., Jubiläumsausgabe 1926, S. 61.

²⁾ Fischer: Taschenbuch für Feuerungstechniker. Leipzig: Kröner 1925.

³⁾ Arch. Wärmewirtsch. 1922, S. 127.

⁴⁾ Arch. Wärmewirtsch. 1926, H. 3.

ist durchaus von Bedeutung, da beispielsweise bei neueren Erzröstverfahren (nach Apold-Fleißner, siehe S. 78) die Erniedrigung des Kohlensäureteildruckes durch Vergrößerung des Luftüberschusses mit Erfolg ausgenutzt wurde. Bei Kalkbrennöfen ist jedoch, wie Schack nachweist, vom Standpunkt der Wärmewirtschaft jeder unnötige Luftüberschuß zu vermeiden. Der Wirkungsgrad ist um so günstiger, je geringer der Luftüberschuß ist, wobei Vermeidung unvollkommener Verbrennung selbstverständlich gefordert werden muß. Kalköfen sind daher unter Erfüllung dieser Forderung mit höchstmöglichem Kohlensäuregehalt der Abgase zu betreiben, der selbstverständlich zum Unterschied von reinen Kohlenfeuerungen durch die Abspaltung der Kohlensäure aus dem Kalk ein grundsätzlich höherer ist.

In rein thermischer Beziehung ist der Wirkungsgrad des Brennvorganges in Kalkschachtöfen dadurch begrenzt, daß schon bei etwa 800° Gleichgewicht eintritt zwischen dem Teildruck der Kohlensäure im Gas und an der Kalksteinoberfläche. Von dieser Temperatur abwärts ist die Ausnützung der Heizgase im Bereich des Kalkofens durch den Wärmebedarf zur Vorwärmung der Beschickungssäule von selbst gegeben. Bei Kalkschachtöfen stellt ein Wirkungsgrad von etwa 70% den erreichbaren Höchstwert dar, wenn der Kalkstein sich im Gegenstrom zu den Heizgasen bewegt und die fühlbare Wärme des gebrannten Kalkes zur Vorwärmung der Verbrennungsluft verwendet wird. Diese Schackschen Berechnungen beziehen sich auf vollkommenes Garbrennen von reinem Kalziumkarbonat. In der Natur enthält der Kalkspat jedoch fremde Bestandteile, was berücksichtigt werden muß.

Auch für Mischfeuerschachtöfen sind die vorerwähnten Überlegungen anwendbar, nur ist zu berücksichtigen, daß ein gewisser Teil der Abgaswärme auch zur Vorwärmung des Kokes herangezogen wird. Unter diesen Umständen ist auch bei Schachtöfen mit Mischfeuerung ein Wirkungsgrad von 70% erreichbar.

Eine planmäßige Vergleichsuntersuchung mehrerer Kalköfenbauarten in bezug auf Wärmeausnützung hat das amerikanische Bureau of Standards in Washington veröffentlicht. Hierzu wurden 6 grundsätzlich verschiedene Anlagen, die allerdings amerikanischen Verhältnissen entsprechen, in 48stündiger Untersuchung geprüft und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Untersucht wurden:

1. Eine Drehofenanlage mit Gasfeuerung und Abhitzeessel,
2. eine Schachtofenanlage nach dem Eldred-Verfahren (Rostfeuerung mit Rückführung von Abgasen unter dem Rost),
3. eine Schachtofenanlage nach dem Schmatolla-Verfahren (Gasfeuerung mit besonderer Anordnung der Verbrennungsluftzuführung),
4. eine Schachtofenanlage mit Rostfeuerung, Saugzug und Dampfstrahlunterwind,
5. eine Schachtofenanlage mit natürlichem Zug,
6. eine Schachtofenanlage mit Generatorgasfeuerung.

Als Rohmaterial wurde hochprozentiger Kalkstein von etwa 97 bis 99% $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ verwendet.

Es ergab sich bei der Anlage 3 der beste Wirkungsgrad, was wohl hauptsächlich durch die verwendete Gasfeuerungsart hervorgerufen wurde. Anlage 1 zeigte den wesentlichen Einfluß der Abhitzeverwertung in der Wärmeschlußrechnung; bei Anlage 6 lagen offensichtlich Fehler in der Vergasung vor. Die hier aufgetretenen großen Schlackenverluste hatten ihren Grund in der Überanstrengung. Die Anlagen 2 und 4 standen auf ähnlicher Stufe. Am ungünstigsten war die Anlage 5, die insbesondere für die Erzeugung des natürlichen Zuges viel Wärme verbrauchte.

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe scheint für die Anwendung der Gasfeuerung zu sprechen, wobei jedoch keineswegs gewisse Verschiedenheiten in den Voraussetzungen, auch durch die Beschaffenheit der Anlagen in den Einzelheiten übersehen werden dürfen.

Der Großteil der bisherigen Arbeiten auf dem Gebiete der Wärmewirtschaft der Kalkindustrie bezieht sich auf die Verbesserung des Brennbetriebes selbst, wobei die Fragen der Wärmewirtschaft und der technologischen Anforderungen in engem Zusammenhang stehen. Die Bestrebungen zur Abhitzeverwertung haben noch keine großen Ausmaße zu verzeichnen, da häufig der Bedarf hierzu nicht gegeben ist. Ist dieser vorhanden, wie in erster Linie bei Drehöfen mit hoher Abgastemperatur, so bietet die Abhitzeverwertung die bekannten Vorteile.

VIII. Industrie der Kälteerzeugung.

Zwischen Kälte und Wärme besteht im Wesen kein Unterschied; beide werden auch durch die gleiche Einheit (kcal) gemessen. (Die fallweise eingeführte Bezeichnung von „Frigorien“, das sind gleichsam negative Wärmeeinheiten, hat sich nicht allgemein eingebürgert.) Kälte ist also kein absoluter Begriff der physikalischen Wissenschaft, sondern ein relativer Mangel an Wärme. Kälteerzeugung ist also nichts anderes als Wärmeentzug zum Zwecke der Verringerung der Temperaturen meist unter jene der Umgebung.

Kältebedarf bestand schon seit den ältesten Zeiten, und zwar zunächst vornehmlich zur Aufbewahrung und Erhaltung verschiedener dem Verderben leicht ausgesetzter Lebensmittel und anderer Erzeugnisse. Die Deckung dieses Bedarfes erfolgte durch Aufspeicherung von Natureis, das aus Teichen und Flüssen in genügenden Mengen im Winter gewonnen und in Speichern (Eiskeller), die, unter- oder oberirdisch angelegt, mit Wärmeschutzmassen (Sägespäne, Trockenlaub u. a.) gut umkleidet waren, eingeworfen und für den Sommer aufbewahrt wurde.

Diese Speicher wurden anfangs nur von Eigenverbrauchern errichtet und waren so bemessen, daß mit dem Inhalt zwischen zwei Kälte-

zeiten das Auslangen gefunden werden konnte. Waren die örtlichen Verhältnisse der Natureisbildung nicht günstig (reißender Flußlauf, Wassermangel u. a.) wurden Teiche angelegt, auf denen die Eisbildung dann leicht möglich war. Wo auch dieses Mittel undurchführbar wurde, half man sich mit sogenannten Eisstöcken, roh gezimmerten, oft stockwerk hohen Holzgerüsten, die rund um ein Wasserrohr aufgestellt sind, welches Wasser über diese Gerüste spritzen, daran herunterrieseln und zu mächtigen Zapfen gefrieren läßt, die abgeschlagen und gespeichert werden.

Der größere Eisbedarf in der Nähe großer Siedlungen führte zur Anlage von besonderen Eiswerken, die das Natureis im großen sammeln und verkauften. Hier wurden schon maschinelle Einrichtungen, Hubwerke und andere Fördereinrichtungen, dann Vorrichtungen für das spätere Zerteilen und Abbauen der Eismassen verwendet. Einer derartigen Kälteindustrie haften naturgemäß große Mängel an: Folgte auf einen warmen Winter ein heißer Sommer, konnte meist der Bedarf nicht gedeckt werden und im umgekehrten Fall gab es wieder Eisüberschuß, so daß die Kosten der Aufbringung nicht hereingebracht wurden. Weiter bildete die unmittelbare Verwendung von Natureis durch den Gehalt an Krankheits- und Fäulnisregern eine große Gefahr, ein Umstand, der um so schwerwiegender ist, als ja der Kältebedarf gerade in der Lebensmittelindustrie besonders groß ist. Dazu kam noch, daß das Anwendungsgebiet durch die Entwicklung verschiedener Industriezweige zur Großindustrie immer mehr und mehr wuchs und damit auch der Bedarf immer größeren Umfang annahm. Brauereien, Molkeereien, Hefe-, Margarine- und Konservenfabriken, Schlachthöfe, Markthallen und andere Großbetriebe der Lebensmittelindustrie, dann aber auch Krankenhäuser, Großgasthöfe, die verschiedensten Arten von Beförderungsmittel, wie Schiffe und Eisenbahnwagen benötigten für die Deckung des Kältebedarfes umfangreiche Einrichtungen. Es war daher naheliegend, daß Wissenschaft und Technik dieses Gebiet aufgriffen und der Durchbildung und Vervollkommnung von Kälteerzeugern ein besonderes Augenmerk zuwandten.

Das Kühlen eines Körpers, der wärmer als seine Umgebung ist, geht ohne weiteres vor sich, da die Wärme vom wärmeren Körper zum kälteren von selbst überströmt, ohne daß irgend etwas hinzugetan werden müßte, und die Wärmetechnik beschäftigt sich in einem besonderen Wissensgebiet (Isoliertechnik) eben mit der Frage, diesen Wärmeübergang dort wo er unerwünscht ist, wo also nicht gekühlt, sondern die Temperatur des warmen Körpers möglichst unverändert aufrecht erhalten werden soll, zu verhüten.

In der Kältetechnik ist aber in der Regel ein Körper unter die Temperatur seiner Umgebung abzukühlen. Nun sagt aber der 2. Haupt-

satz der Wärmelehre auf Grund der aus der Natur beobachteten Erfahrungen, daß die Wärme niemals von selbst aus einem Gebiet niedrigerer Temperatur, in ein solches höherer Temperatur überströmt; es muß zu diesem Zwecke vielmehr Energie aufgewendet werden: es muß gleichsam die Wärme vom kälteren Körper auf die wärmere Umgebung hinaufgepumpt werden, was Energie erfordert.

Der Kältevorgang stellt in seiner einfachsten Form die Umkehrung des Vorgangs der Krafterzeugung aus Wärme dar. Bei letzterem fließt die Wärme von hoher Temperaturstufe einer niedrigeren zu, wobei sie in einer Maschine zum Teil in nutzbare Arbeit verwandelt wird; beim Kältevorgang wird die Wärme in dem Gebiete der niederen Temperaturstufe entnommen und mittels einer Maschine, also unter Arbeitsaufwand auf eine so hohe Temperaturstufe gehoben, daß sie von dort von selbst an die Umgebung abströmt. Die einfachste Übertragung dieser Erkenntnis in die Praxis erfolgt durch Verdampfen und Verflüssigen eines geeigneten Wärmeträgers (Kältemittel). Beim Verdampfen einer Flüssigkeit wird Wärme gebunden, die beim Verflüssigen wieder frei wird.

Als Kältemittel kommen vor allem solche Flüssigkeiten in Betracht, deren Siedepunkt verhältnismäßig tief liegt. Es werden hierzu vornehmlich Ammoniak (NH_3), Kohlensäure (CO_2), schwefelige Säure (SO_2) und in geringem Maße auch Methylchlorid (CH_3Cl) verwendet. Die Siedepunkte dieser Kältemittel sind bei einem Druck von 1 at.

für SO_2 bei etwa -10°C	für NH_3 bei etwa -34°C
CH_3Cl „ „ -24°C	CO_2 „ „ -79°C

Der Vorgang der Kälteerzeugung spielt sich z. B. mit Ammoniak als Kältemittel, wie folgt, ab:

In einem Verdichter wird Ammoniak auf beispielsweise 10 at verdichtet, wobei gleichzeitig die Temperatur stark ansteigt. Dieses verdichtete Ammoniak wird nun in einem Kühler durch Kühlwasser abgekühlt, wobei es sich verflüssigt. Das flüssige und noch unter dem ursprünglichen Verdichterdruck stehende Ammoniak wird nunmehr durch ein Drossel-(Regulier-)Ventil in ganz kleinen Mengen dem sogenannten Verdampfer zugeführt. Durch den Drosselvorgang bzw. die damit zusammenhängende Ausdehnung unter teilweiser Verdampfung kühlt sich die Flüssigkeit auf eine sehr niedere Temperatur ab und gelangt mit dieser Temperatur in den Verdampfer, in welchem auf diesem Temperaturniveau so lange Wärme aufgenommen werden kann, bis die ganze restliche Flüssigkeitsmenge wieder verdampft ist. Das Kältemittel wird dann dem Verdichter wieder zugeführt und der Kreislauf beginnt von neuem. In Abb. 58 ist dieser Kreislauf und die dazugehörige Apparatur schematisch dargestellt. In dem Verdampfer sind kupferne Rohrschlangen angeordnet, durch welche die entspannten, wärmeaufnahmefähigen Dämpfe von einem Kompressor hindurch und angesaugt werden. Der Verdampfer muß dem jeweiligen Erfordernis angepaßt sein und ist daher in der Ausführung sehr verschieden. Je nachdem, ob unmittelbare oder mittelbare Kälteübertragung erforderlich ist, werden diese Röhren entweder mit dem zu kühlenden Stoff unmittelbar umgeben (Luft, Wasser u. a.)

oder es wird eine schwer gefrierbare Flüssigkeit (Sole) zur Kältefortleitung herangezogen. Es kommt dann eben nur diese mit den Röhren in Berührung und gibt so die Wärme ab. Die Sole wird mittels Pumpen in die eigentlichen Kühlräume geleitet, oder es werden zur Kristalleiserzeugung wassergefüllte Eisformen eingetaucht. In dem Verdichter werden die angesaugten Dämpfe zusammengepreßt, dabei auf eine höhere Temperaturstufe gehoben und sodann in den Kühler (Kondensator) hinausgeschoben. Die Kompressorbauart ist verschieden. Vorwiegend werden Kolbenverdichter verwendet, Ein- und Zweizylinderausführung, stehend oder liegend, für Riemen- oder unmittelbaren Antrieb durch Elektromotor oder in Ver-

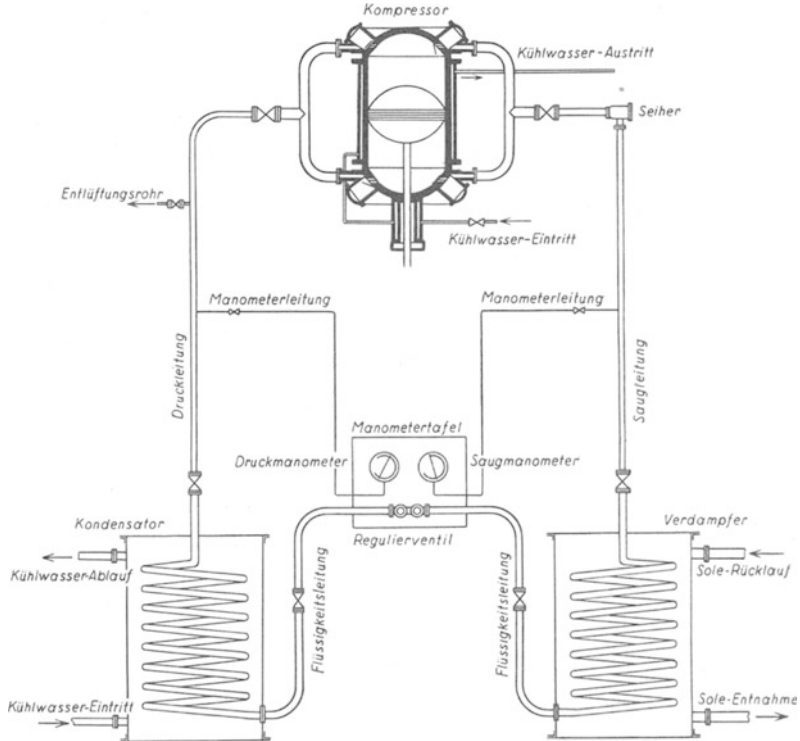


Abb. 58. Schema einer Verdichter-Kälteanlage.

bindung mit einer Dampfmaschine. Es sind Anlagen mit einem Kraftverbrauch von 1000 PS und noch mehr im Betrieb. Turbo- oder Kreiselverdichter, die ebenfalls verwendet werden, dürften auf Grund der bisherigen Ergebnisse nur für ganz große Leistungen bis 3000 PS¹⁾ in Frage kommen. Ein wichtiger Bestandteil der Verdichteranlage ist der Ölabscheider zur Absonderung des Öles aus den Dämpfen²⁾, da durch den Ölbelag die Wärmeleitung ungünstig beeinflusst wird.

Die verdichteten Dämpfe werden im Kondensator bei gleichem Druck durch Kühlung in den flüssigen Zustand überführt. Auch für diese Einrichtungen gibt

¹⁾ Z. V. d. I. 13. VIII. 1927, S. 1152.

²⁾ Beim SO₂-Verfahren kommt er nicht in Frage, da die Eigenart des Arbeitsstoffes eine Öl schmierung überflüssig macht.

es die verschiedenartigsten Ausführungsarten. Die älteren Tauchverflüssiger werden immer mehr und mehr durch die Doppelrohr-Gegenstromverflüssiger verdrängt, die dort, wo geringe Kühlwassermengen zur Verfügung stehen, als Rieselfverflüssiger ausgebildet werden. Nach Verlassen des Verflüssigers wird das Kältemittel über das Regulierventil dem Verdampfer zugeführt. Zweck dieses Reglers ist, die Flüssigkeit beim Übergang von der Druckseite auf die Saugseite des Verdichters so abzudrosseln, daß durch die Druckverminderung die Verdampfung ermöglicht wird.

Die vorbezeichneten Kältemittel weisen außer der verschiedenen Siedetemperatur natürlich auch andere Verschiedenheiten auf, die sie für die Kälteerzeugung je nach dem besonderen Fall mehr oder weniger geeignet erscheinen lassen. Dementsprechend ergeben sich auch in der Ausführung der Anlagen Abweichungen. Auch hinsichtlich des Kraftaufwandes sind Verschiedenheiten, da ja für jedes der Kältemittel die nur ihm eigenen Arbeitsverhältnisse in Betracht kommen.

Im praktischen Betrieb rechnet man beispielsweise für Ammoniakanlagen im Durchschnitt mit 2500 kcal je PS_e. Bei kleinen Anlagen ist diese Leistungszahl wesentlich tiefer, während sie bei Großanlagen höher liegt. Die Kohlensäureanlagen stellen sich sowohl hinsichtlich der Kosten als auch der Leistung ungünstiger, da sie entsprechend dem höheren Arbeitsdruck viel stärker ausgebildet sein müssen. Allerdings gibt es Anwendungsgebiete, bei denen mit Rücksicht auf die notwendige tiefe Temperatur (— 40° C usw.) nur dieses Verfahren in Frage kommt.

Eine andere Arbeitsweise in der Kälteerzeugung weisen die Anlagen auf, die nach dem sogenannten Aufsauge-(Absorptions-)Verfahren arbeiten (Abb. 59).

Hier wird das Kältemittel (für dieses Verfahren kommt bloß Ammoniak oder schwefelige Säure in Frage) in wässriger Lösung verwendet und die Verdichtung, die im Verdichtungsverfahren durch den mechanisch arbeitenden Verdichter erzielt wird, geschieht hier durch Erhitzung mittels einer Heizschlangenordnung, durch die Dampf strömt. Es besorgt also dieser Teil der Einrichtung (Austreiber) die Drucktätigkeit des Verdichters. Die durch die Wärmezufuhr ausgetriebenen und entsprechend hochgespannten Dämpfe des Kältemittels werden dann genau so wie bei dem vorbeschriebenen Verfahren in einem Kühler gekühlt und verflüssigt, gehen dann ebenfalls durch ein Drossel-(Regulier-)Ventil zum Verdampfer, der ebenso beschaffen ist wie beim anderen Verfahren. Vom Verdampfer, aus dem die Dämpfe beim Verdichtungsverfahren durch den Verdichter abgesaugt werden, führt hier die Kältemittelleitung zum Aufsauger, in dem sich kaltes Wasser befindet. Da dieses die Eigenschaft hat, die Dämpfe von Ammoniak oder schwefeliger Säure gierig aufzusaugen und sich mit diesen anzureichern, besorgt dieser Teil die Saugtätigkeit des Verdichters. Aus diesem Gefäß wird dann die wässrige Kältemittellösung in den Austreiber gepumpt, von welchem aus der Kreislauf wieder weiter geht. Um auch das Lösungswasser vollkommen in den Kreislauf einzubeziehen und die in ihm enthaltene Wärme sowie die in ihm enthaltenen Reste von Kältemittel auszunützen, wird das Wasser aus dem Austreiber in den Aufsauger geleitet, wobei mittels eines Wärmeaustauschers die

aus dem Aufsauger zum Austreiber wandernde wässrige Lösung erwärmt wird. Um das Wasser im Aufsauger möglichst aufnahmefähig zu machen (die Aufnahmefähigkeit von Wasser ist für Ammoniak oder schwefeligen Dampf um so größer, je kälter es ist), wird es im Aufsauger noch durch eine Kühlschlange gekühlt.

Der mechanische Arbeitsverbrauch ist bei diesem Verfahren klein und nur für den Betrieb der Lösungspumpe und die etwas größere Wasserhaltung notwendig. Hingegen ist der Wärme- bzw. Dampfverbrauch ziemlich hoch. Man rechnet unter normalen Verhältnissen mit etwa 1 kg Dampf von 0,6 atü je 200 kcal Kälteleistung. Die Anlage wird dort besonders wirtschaftlich, wo überschüssiger

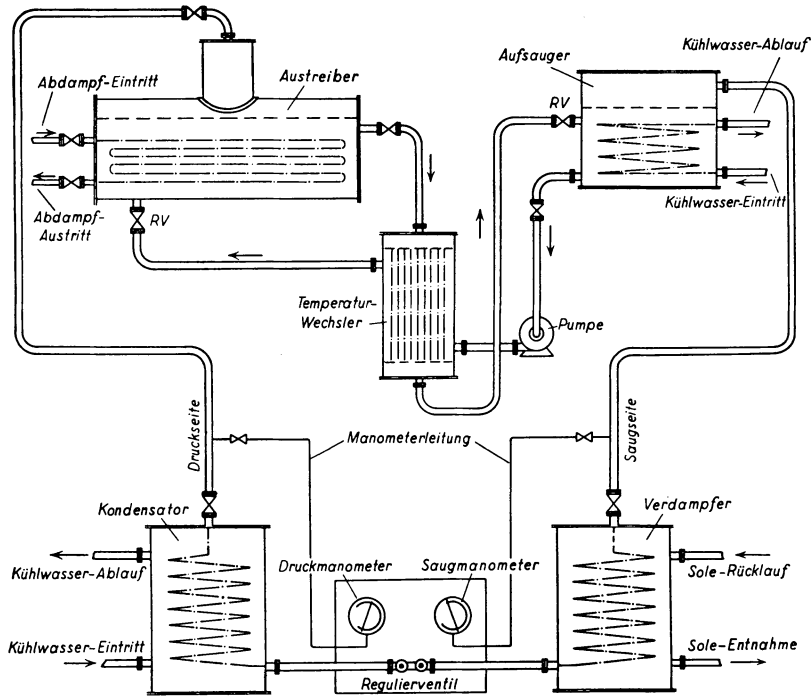


Abb. 59. Schema einer Aufsaug-(Absorptions-)Kälteanlage.

Abdampf in genügender Menge vorhanden ist. Dabei darf nicht übersehen werden, daß bei der Verdichteranlage kostspielige Fundamente nötig sind, die die Anlagekosten ziemlich hinaufsetzen. Der Wasserbedarf zu Kühlzwecken ist allerdings beim Aufsaugerverfahren etwas höher, da ja neben dem Verflüssiger auch noch der Aufsauger eine Kühlung besitzt.

Im Abschnitte Lebensmittelindustrie wurde ein eingehender Vergleich über die Wirtschaftlichkeit der vorbeschriebenen Verfahren durchgeführt. In gleicher Weise muß er auch für andere Zweige aufgestellt werden, wenn ein richtiges Bild gewonnen werden soll. In Abb. 60 ist nach Voorhees¹⁾ der Dampfverbrauch je 1000 kcal Kälteleistung

¹⁾ Aus Hirsch, M.: Die Kältemaschine. Berlin: Julius Springer 1924.

dargestellt, für den Fall, daß mittels Ammoniak die Kälte mit einem von einer Kondensationsmaschine, als wirtschaftlichsten Dampfumformer, angetriebenen Verdichteranlage, das andere Mal mit einer Aufsaugeranlage erzeugt wird. Der auf der Abszisse aufgetragene Verdampfungsdruck ist ein Maßstab für die benötigte Kühltemperatur, da ja geringen Drücken sehr niedere Kühltemperaturen zugehören. Das Schaubild berücksichtigt ferner 3 Verflüssigungsdrücke, wobei die höheren dann eintreten, wenn nur warmes Kühlwasser zur Verfügung steht.

Man ersieht aus der Darstellung, daß somit bei niederen Kühltemperaturen die Aufsaugeranlage weniger Dampf braucht als die Verdichteranlage. Der größte Vorteil des Aufsaugerverfahrens liegt jedoch in der Möglichkeit zur Kupplung von Kraft-, Wärme- und Kältewirtschaft (siehe S. 158). Von besonderer Wichtigkeit für diese Kupplung ist die leichte und verhältnismäßig billige Aufspeicherungsmöglichkeit der Kälte; ein großer Behälter für Sole von niederer Temperatur oder ein Süßwasserbehälter, in dem Soleleitungen und Kühlrohre verlegt sind, an welchen sich Eisansatz bildet, ermöglicht die Aufspeicherung großer Kältemengen und macht damit die Kälteerzeugung selbst von den Schwankungen im Kälteverbrauch unabhängig. Ein m³.

Kältespeicher bzw. 1 m³ Sole vermag je Grad Temperaturunterschied 800 bis 1000 Kalorien zu speichern. Ein kg Eisansatz im Süßwasserspeicher entspricht etwa 80 Kalorien.

Im vorstehenden wurden vorwiegend die Lebensmittelindustrie als für die Kälteerzeugung von Wichtigkeit genannt. Bei manchen ist der Kältebedarf so groß, daß hierfür dem betreffenden Betrieb eine eigene Abteilung angegliedert wird. Neben diesen Industriezweigen hat sich die Kälteerzeugung aber auch Arbeitsgebiete erobert, die einen wesentlich abweichenden Verwendungszweck haben. So wird im Bergbau nach dem sogenannten Poetschschen Gefrierverfahren beim Abteufen der Schächte der unangenehme, lockere Schwimmsand durch Kälte hart und abbaufähig gemacht. In der Gaschemie haben sich durch

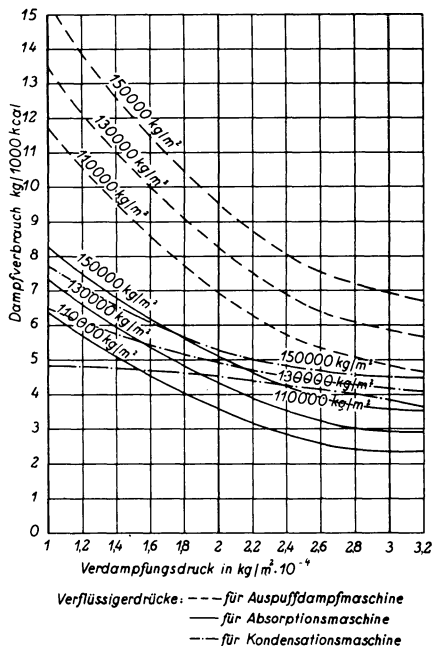


Abb. 60. Dampfverbrauch der Ammoniak-Verdichter und Aufsauger-Anlage (Voorhees).

Heranziehung der Tieftemperaturtechnik erfolgversprechende Verwendungsgebiete eröffnet; z. B. werden Sauerstoff und Stickstoff durch die mittels großer Kälte erfolgende Verflüssigung gereinigt; die Verfahren zur Zerlegung von Koksofengas zur Wasserstoffgewinnung werden ständig ausgebaut und vervollständigt. In jüngster Zeit werden in einigen Gasanstalten Anlagen erprobt, in denen mit Hilfe von Kälte das giftige Leuchtgas von dem gefährlichen Kohlenoxyd (CO) befreit wird, eine Errungenschaft, deren Wert vom menschlichen Standpunkt allein große Bedeutung besitzt. In der Färberei werden sogenannte Eisfarben verwendet, wobei die Farbflüssigkeiten auf bestimmten niederen Temperaturen gehalten werden u. dgl. m.

In den letzten Jahren sind an vielen Orten Kunsteisbahnen errichtet worden.

Die größte Freiluft-Kunsteisbahn der Welt, die des Wiener Eislaufvereines besitzt ein Ausmaß von 9500 m²; die in der Gefrierplatte eingebetteten Rohre haben eine Gesamtlänge von etwa 80 km und werden von Sole mit -4° bis -8° C durchflossen. Die Kälteerzeuger, 2 Ammoniakverdichter, arbeiten mit einem Druck von 9 at. und werden von 2 Motoren mit zusammen 480 PS angetrieben. Bei einer Kälteleistung von rund 1000000 kcal/st sind sie imstande, auch bei einer Lufttemperatur von $+12^{\circ}$ C die Platte lauffähig zu halten.

Bei all diesen Verwendungszwecken werden in unseren Gegenden vornehmlich Verdichtungs-Kälteanlagen benützt. Das Aufsaugeverfahren ist bei uns sehr wenig eingeführt, während es in Amerika eine sehr große Verbreitung fand. Die Möglichkeit, Kälte aus Abdampf zu erzeugen, eröffnet jedoch weitgehende Ausblicke auch nach der Richtung hin, daß der Abdampf von Kraftmaschinen, der im Winter zu Heizzwecken benützt wird, im Sommer in Aufsauganlagen zu Kühlzwecken verwendet werden kann, wie es in dem für die Milchindustrie weiter ausgeführtem Beispiel (s. S. 158) schon zur Durchführung gekommen ist.

Ebenso können Kälteanlagen selbst im Sommer und Winter, allerdings zu verschiedenen Zwecken, benützt werden, wodurch der Grad ihrer Ausnützung und damit die Wirtschaftlichkeit beträchtlich steigt.

Die gleiche maschinelle Einrichtung kann beispielsweise im Winter eine Kunsteisbahn versorgen, während sie im Sommer zur Eiszerzeugung (Klareisblöcke) Verwendung findet. Es ist also die Kälteerzeugung schon für sich allein ein wichtiger Zweig der Technik, sie gliedert sich aber auch in die Gesamtheit der Kraft- und Wärmewirtschaft als eine die gesamte Wirtschaftlichkeit wesentlich beeinflussende Abteilung ein, wodurch die Möglichkeiten gegenseitiger Ergänzung beträchtlich vermehrt werden.

Vierter Abschnitt.

Gekuppelte Kraft- und Wärmewirtschaft im einzelnen Industriebetrieb.**I. Einfluß der Abdampfverwertung auf den Dampfverbrauch.**

Solange unsere Naturgesetze gelten, kann in der Welt, in der wir leben, auch durch eine verlustlose ideale Maschine eine bestimmte Wärmemenge nicht in die ihr gleichwertige Arbeitsmenge umgesetzt werden, ohne daß gleichzeitig darüber hinaus eine weitere Wärmemenge von höherem auf tieferes Temperaturniveau fällt, also entwertet wird. Dieses Grundgesetz ist unumstößlich und besagt, daß überall, wo Kraft aus Wärme erzeugt wird, Abwärme vorhanden sein muß.

Wenn beispielsweise 1 kg Dampf von 25 ata und 350° C sich unter Arbeitsleistung bis auf eine Spannung von 1 ata ausdehnt, ohne daß irgendwelche Verluste, wie sie in der Dampfmaschine normalerweise auftreten, berücksichtigt werden (adiabatische Expansion), so hat der Dampf am Ende dieser Zustandsänderung beim Druck von 1 ata und der Temperatur von 100° einen Feuchtigkeitsgehalt von 8%. Der Wärmehalt eines Kilogramm derartig nassen Dampfes beträgt 593 WE, während der Wärmehalt des Dampfes von 25 ata und 350° C 746 WE beträgt. Die Differenz von 151 WE ist in dieser verlustlosen idealen Maschine vollwertig in Arbeit umgesetzt worden. Nachdem das Wärmeäquivalent einer PSst¹⁾ 632 WE beträgt, sind zur Erzeugung einer PSst 632:151 = rund 4,1 kg Dampf erforderlich, d. h. eine theoretische Dampfmaschine, die vollkommen verlustlos mit Dampf von 25 ata und 350° Temperatur im Auspuffbetrieb arbeitet, hätte einen Dampfverbrauch von 4,1 kg, und der die Maschine verlassende Dampf atmosphärischer Spannung enthält noch eine Abwärmemenge von 593 WE je kg²⁾.

Der Dampfverbrauch der verlustlosen theoretischen Dampfmaschine beträgt also schon ein Vielfaches der Dampfmenge, die der in der Maschine erzeugten Leistung gleichwertig ist; der größte Teil der im zugeführten Dampf enthaltenen Wärme findet sich als Abwärme im Abdampf wieder. Es bleibt aber die Möglichkeit, diese Abwärme irgendwelchem nutzbringenden Zwecke weiter zuzuführen. Die Wärme-

¹⁾ S. Fußnote Bd. 1, S. 183.

²⁾ Man spricht von einem „Wärmegefälle“ bei der Ausdehnung des Dampfes von einem Anfangszustand zu einem Endzustand. In dem vorangeführten Beispiele beträgt das Wärmegefälle 151 WE. Zahlentafel 36 auf S. 187, Bd. 1, enthält in der 5. und 8. Kolonne Angaben über Wärmegefälle bei anderen Spannungs- und Temperaturverhältnissen. Aus den Mollierschen Dampftabellen kann für jeden beliebigen Anfangszustand bei Ausdehnung auf jede beliebige Endspannung dies Wärmegefälle entnommen werden.

Zahlentafel 30. Nutzenergie und Abfallenergie im Betrieb der verlustlosen Dampfmaschine. Admissionsdampf-Spannung 25 ata; Temperatur 350° C; Wärmeinhalt 746,15 WE/kg.

Maschinenart	Betriebsverhältnisse (Vakuum, Gegendruck)	Dampfverbrauch in kg je PSt ¹	Nutzenergie (Leistung)			Abfallenergie (Abwärme)		
			in PSt je kg Dampf	in WE je kg Dampf	in Hundertteilen (Nutzeffekt)	in WE je kg Dampf	Träger der Abwärme	Temperatur d. Abwärme in °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kondensationsmaschinen . . .	gutes Vakuum (0,04 ata)	2,49	0,402	254,0	34,0	492,15	Wasser (oder Luft und Wasser)	28,6
	schlechtes Vakuum (0,3 ata)	3,25	0,308	195,0	26,1	551,15	Wasser (oder Luft und Wasser)	68,7
Gegendruckmaschinen . . .	1 ata Gegendruck	4,13	0,242	153,0	20,5	593,15	Dampf (naß)	100,0
	2 ata Gegendruck	5,02	0,199	126,0	16,9	620,15	Dampf (naß)	119,6
	4 ata Gegendruck	6,45	0,155	98,0	13,2	648,15	Dampf	143,0
	6 ata Gegendruck	8,00	0,125	79,0	10,6	667,15	Dampf	158,0

technik hat zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit schon seit lange den Weg einschlagen müssen, die Dampfverwendung zur Krafterzeugung mit der Dampfverwendung zu Heiz- und Fabrikationszwecken zu vereinigen, indem sie die Abdampfwärme der Dampfmaschinen bei den Koch-, Heiz- und Trockenvorgängen verwertet. Die ersten, aber ganz vereinzelt Versuche dieser Art sollen auf das Jahr 1836 zurückreichen¹⁾.

Die Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine selbst ist bereits bei der Besprechung der verschiedenen Arten der Dampfmaschine dargelegt worden. Um die für die gesamte Energiewirtschaft in der Industrie wichtigen Beziehungen zwischen der in Kraft umgesetzten und der verloren gehenden Wärme noch eingehender zu erläutern, sind sie in der Zahlentafel 30 für beispielsweise angenommene Dampfverhältnisse übersichtlich dargestellt.

In Spalte 1 dieser Zahlentafel sind die verschiedenen Arten von Dampfmaschinen und in Spalte 2 verschiedene Betriebsverhältnisse verzeichnet. Zunächst ist die Kondensationsmaschine mit gutem und schlechtem Vakuum, dann die Auspuffmaschine, welche

¹⁾ Z. V. d. I. 1925, Heft 21.

Abdampf von atmosphärischer Spannung liefert, und schließlich die Gegendruckmaschine mit Gegendrücken von 2 bzw. 4 und 6 ata angeführt.

Die folgenden Spalten beziehen sich auf Dampfverbrauch, Nutzenergie und auf die Abfallenergie, die unter diesen Verhältnissen auftreten. Hierbei ist — im Gegensatz zu den vorhergehenden Abschnitten, die sich auf tatsächlich, d. h. praktisch ausgeführte Maschinen beziehen — im folgenden zunächst die theoretische ideale Maschine zugrunde gelegt, die vollkommen verlustlos arbeitet; es gelten im folgenden die verschiedenen Zahlen und Schaubilder, wenn nichts Besonderes angeführt ist, zunächst für diese Idealmaschine. Diese Darstellungsweise hat den Vorteil, daß sie ganz allgemein richtig ist, da sie ausschließlich auf den Naturgesetzen bzw. auf den physikalischen Eigenschaften des Dampfes beruht und von all den Mannigfaltigkeiten, die durch die verschiedenen Ausführungsformen der wirklichen Maschinenanlage beeinflusst sind, unabhängig ist. Die tatsächlich ausgeführten Maschinen können sich dieser Idealmaschine hinsichtlich Güte und Vollkommenheit durch fortschreitende Entwicklung der Technik immer mehr und mehr nähern; sie können sie aber natürlich niemals vollkommen

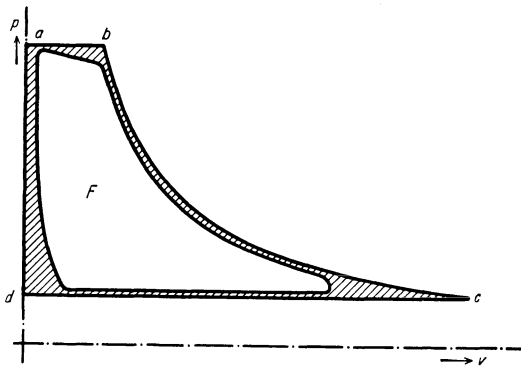


Abb. 61. Indikator-*p-v*-Diagramm einer verlustlosen und tatsächlichen Maschine. (Zur Erklärung des thermodyn. Wirkungsgrades.)

erreichen. Den Grad der Vollkommenheit, den die Wärmeausnutzung der tatsächlich ausgeführten Maschine im Verhältnis zu dieser Idealmaschine erreicht, bezeichnet man als thermodynamischen Wirkungsgrad. (Bildlich dargestellt in Abb. 61 durch das Verhältnis der Fläche *F*, die dem Indikator-*p-v*-Diagramm einer Dampfmaschine entspricht, zur Fläche *a b c d*, die das theoretische Arbeitsvermögen des Dampfes wiedergibt.) Wenn der Dampfverbrauch der theoretisch verlustlosen Maschine D_{th} ist, und die tatsächlich ausgeführte Maschine einen Dampfverbrauch D_i je PS_i hat, so ist demnach der thermodynamische Wirkungsgrad dieser Maschine $D_{th} : D_i$ bzw. $(D_{th} : D_i) \cdot 100\%$. Diese Wirkungsgrade der ausgeführten Maschinen bewegen sich je nach Größe, Bauart und je nach den Dampf- und sonstigen Verhältnissen, unter denen sie arbeiten, normalerweise zwischen 60 und 80%. Die allerbesten Dampfmaschinen und Dampfturbinen weisen sogar unter besonderen Verhältnissen thermodynamische Wirkungsgrade bis zu

85% auf, d. h. die Technik des Dampfmaschinen- und Dampfturbinenbaues nähert sich den idealen Verhältnissen, wie sie bei vollkommen verlustlosen Maschinen herrschen, bereits bis auf 15%. Es besteht nur noch ein Unterschied von verhältnismäßig wenigen Hundertteilen zwischen der besten tatsächlich ausgeführten Maschine und der Idealmaschine. Bei Besprechung vieler grundlegender Fragen der Abwärmeverwertung kann dieser kleine Unterschied vernachlässigt werden. In der Frage der Verwertbarkeit der Abwärme stellt die Idealmaschine gleichsam den ungünstigeren Fall dar, d. h. es treten hier die geringsten Abwärmemengen auf dem niedersten Temperaturniveau auf. Die tatsächliche Maschine liefert Abwärme in etwas größeren Mengen (um etwa 6 bis 12%) und in der Regel auf höherem Temperaturniveau.

In Spalte 3 der Zahlentafel ist nun der Dampfverbrauch der Idealmaschine unter den hier angegebenen Verhältnissen verzeichnet. Er beträgt im Kondensationsbetrieb mit bestem Vakuum (0,04 ata) 2,48 kg und bei dem höchsten hier angenommenen Gegendruck von 6 ata 8 kg je PSst.

Bei der Kondensationsmaschine mit gutem Vakuum beträgt die Nutzenergie je kg Dampf 0,402 PSst (Spalte 4), d. s. $632 \cdot 0,402 = 254$ WE (Spalte 5). Der thermische Nutzeffekt, mit dem diese Maschine arbeitet, ist also $254 : 746,15 = 0,340$, d. h. 34% (Spalte 6). Von dem Wärmehalte des Dampfes, welcher der Maschine zugeführt wird, finden sich also 34% als mechanische Energie wieder, der Rest von 66% ist nicht in mechanische Energie umgesetzt worden. Diese Wärmemenge verläßt die Maschine als Abwärme auf sehr niederem Temperaturniveau.

Wenn also die Idealmaschine 34% der ihr zugeführten Wärme in Arbeit umzusetzen vermag, wird eine tatsächlich ausgeführte Maschine neuester Bauart und guter Ausführung entsprechend ihrem thermodynamischen Wirkungsgrad etwa 80% davon, das sind also 27%, in Arbeit umsetzen, d. h. ihr „thermischer Wirkungsgrad“ ist 27%. In der tatsächlichen Maschine gehen sonach nur $34 - 27 = 7\%$ der zugeführten Wärme mehr verloren als in der Idealmaschine. Bei dieser beträgt unter den hier behandelten Verhältnissen der Abwärmeverlust 66%, der gesamte Verlust bei der tatsächlichen Maschine beträgt dann hier 73%. Diese 7% Mehrverlust rühren von der Leitung und Strahlung der Maschine selbst, dann von Kondensations- und Lässigkeitsverlusten her; ferner sind verschiedene Widerstände, welche Drosselungen, Wirbelungen u. a. hervorrufen, zu überwinden u. dgl. m., Erscheinungen, die bei der verlustlosen Idealmaschine unberücksichtigt bleiben. Von diesen Mehrverlusten von 7% befindet sich ein großer Teil ebenfalls in der Abwärme wieder, während der geringere Teil dieser Mehrverluste nicht im Abdampf enthalten ist, wie z. B. die Leitungs- und Strahlungsverluste, durch die der Maschinenraum erwärmt wird.

Die Abwärmemengen je kg zugeführten Dampfes sind aus Spalte 7 der Zahlentafel 30 zu entnehmen. Aus 1 kg Dampf von 25 ata und 350° C können demnach in einer idealen verlustlosen Kondensationsmaschine mit gutem Vakuum von 0,04 ata, nur 254 WE als Nutzenergie in Form von 0,402 PSst gewonnen werden, während der Rest von 492 WE, also der weitaus größere Teil der zugeführten Wärme, die Maschine verläßt, ohne daß nach dem heutigen Stande der technischen und physikalischen Forschung (und nach menschlicher Voraussicht auch in Zukunft) die Möglichkeit besteht, einen namhaften Teil dieser Wärmemenge ebenfalls noch nutzbar in Arbeit umzusetzen. (Für die zur Ausnützung des niedrigen Abwärmenniveaus grundsätzlich geeigneten „Mehrstoffdampfmaschinen“ sind wirtschaftliche Lösungen nicht erarbeitet worden.)

In den Spalten 8 und 9 der Zahlentafel 30 ist angegeben, in welcher Form die Abwärme die Maschine verläßt. Bei der Kondensationsmaschine ist das Kondensationswasser der Träger der Abwärme. Seine Temperatur ist hier durch die Spannung des Abdampfes (0,04 ata) mit 28,6° C gegeben. Die Erzeugung von 0,402 PSst in dieser Idealmaschine ist also unvermeidlich damit verbunden, daß gleichzeitig 492 WE von dem Temperaturniveau von 350° C auf das Temperaturniveau von 28,6° C sinken.

So wie für die erste der angeführten Maschinen und für die günstigsten Betriebsverhältnisse im vorstehenden ausgeführt, finden sich in der Zahlentafel 30 für die übrigen verschiedenen Betriebsverhältnisse die gleichen Angaben vor. Bei der Kondensationsmaschine mit einem Vakuum von bloß 0,3 ata werden je kg Dampf 0,308 PSst gewonnen, was einem Nutzeffekt von 26,1% entspricht, und 551,15 WE verlassen die Maschine in Form von Wasser auf dem Temperaturniveau von 68,7° C. Die Kondensation des Abdampfes kann mittels Lufterhitzern auch ganz oder teilweise durch Luftkühlung erfolgen, so daß auch Luft einen entsprechenden Teil der Abwärme entführen kann.

Bei der Auspuffmaschine werden je kg Dampf nur 0,242 PSst = 153 WE gewonnen, was einem Nutzeffekt von 20,5% entspricht. Dabei verlassen 593,15 WE als Abwärme in Form von Dampf von 100° C die Maschine. Bei den letzten drei Fällen der Gegendruckmaschine werden je kg Dampf nur 0,199 bzw. 0,155, bzw. 0,125 PSst, das sind 16,9 bzw. 13,2 bzw. 10,6% der zugeführten Wärme als Nutzenergie gewonnen, während 620,15 WE bzw. 648,15 WE bzw. 667,15 WE in Form von Dampf auf dem Temperaturniveau von 119,6 bzw. 143,0 bzw. 158,0 aus der Maschine entweichen.

Zusammenfassend ergibt sich also folgendes Bild: Je größer der Dampfverbrauch wird und je schlechter sich der Nutzeffekt gestaltet, um so größer wird bei den verschiedenen Maschinenarten und unter

den verschiedenen Betriebsverhältnissen die Menge der Abwärme. Während aber der Dampfverbrauch je PSst bei den angeführten Maschinenarten und Betriebsverhältnissen auf mehr als das Dreifache steigt, die Leistung je kg Dampf also auf weniger als ein Drittel herabsinkt, wächst die Abwärmemenge nur von 492,15 auf 667,15 WE, also um weniger als 30%. Mit steigendem Dampfverbrauch nimmt aber das Temperaturniveau der Abwärme zu. Diese Zunahme ist beträchtlich und fällt weitaus mehr ins Gewicht als die geringere Zunahme der Abwärmemenge. Es wird also in der Reihenfolge, in der die verschiedenen Maschinen in der Zahlentafel angeführt sind, nicht nur die Menge der Abwärme immer größer, sondern es wird — und das ist einer der Kernpunkte der Abdampfverwertung — die Abwärme für die Weiterverwendung auch wertvoller: denn die Abwärme von Kondensationsmaschinen, die in Wasser von etwa 30° C enthalten ist, kann nur sehr unvollkommen und verhältnismäßig selten noch zu industriellen Zwecken verwendet werden. Wärme auf höherem Temperaturniveau, wie sie im Kondensationswasser bei schlechtem Vakuum enthalten ist (50° bis 80°), ist dagegen schon für verschiedene Vorgänge, wie Warmwasserbereitung, Heizung u. dgl., brauchbar. Die in Abdampf bei atmosphärischer Spannung (100° C) enthaltene Abwärme kann zu wesentlich zahlreicheren Koch-, Heiz- und Trockenzwecken herangezogen werden, und Abdampf von höherer Spannung und höherer Temperatur kann fast jedem Bedarfsfall im industriellen Betriebe dienen. Die für Heiz- oder sonstige Zwecke zugeführte Abwärme kann bei entsprechender Wahl der Betriebseinrichtungen nahezu vollkommen ausgenützt werden. Wenn also die Krafterzeugung mit der Abdampfverwendung verbunden wird, ist in günstigen Fällen nahezu die ganze im Frischdampf enthaltene Wärme verwertbar.

Deutlicher als durch Ziffern¹⁾ zeigt sich das Verhältnis der Abwärmemenge zu der in Arbeit umgesetzten Wärme in den wenigen Linien der Abb. 62, in dem die Abszissen das Vakuum, bzw. den Gegendruck der normalen Dampfmaschine in at angeben, während die Ordinaten Wärmemengen darstellen. Durch die gestrichelte Linie wird jede Ordinate in zwei Teile geteilt, deren unterer Teil die Leistung, die aus einem kg Dampf gewonnen wird, angibt, während der obere Teil bis zur Linie von 742 WE die Menge der Abwärme darstellt, die hierbei auftritt. Aus dem Bilde ergibt sich für jede Abdampfspannung die zu gewinnende Arbeitsmenge und die hierbei auftretende Abwärmemenge. Man findet hier unter anderem auch die in der Zahlentafel 30 angeführten besonderen Werte.

Unterhalb der gestrichelten Kurve ist eine stark ausgezogene Linie, die sich auf die wirkliche Maschine bei gleichen Betriebsverhältnissen bezieht.

¹⁾ Vgl. auch Bd. I, Abb. 88, S. 188.

Es ist klar zu ersehen, daß, wie schon früher gesagt, hier die verwertbaren Abwärmemengen größer sind, auch dann noch, wenn man von den geringfügigen Verlusten durch Strahlung, Zylinderkondensation und Lässigkeit absieht, die auch für die Abwärmeverwertung verloren sind. Das Bild zeigt aber auch, welchen höchsten — und dabei doch geringfügigen Erfolg die Bestrebungen, durch weitere Ausbildung der Dampfmaschine der theoretischen Maschine möglichst nahe zu kommen, bringen können: es ließen sich nur noch die Wärmemengen, die durch den Streifen zwischen gestrichelter und voll ausgezogener Linie dargestellt sind, in mechanische Energie umsetzen, wenn es gelingt, die wirkliche Maschine der verlustlosen Idealmaschine voll anzugleichen, d. h. Maschinen zu bauen, deren thermodynamischer Wirkungsgrad 100% beträgt. Demgegenüber ergibt sich für die Verwertung der Abwärme, wegen der großen Mengen, die in Frage kommen und die ein Vielfaches der in Arbeit umgesetzten Wärmemengen betragen, ein wirtschaftlich weitaus dankbareres Betätigungsfeld.

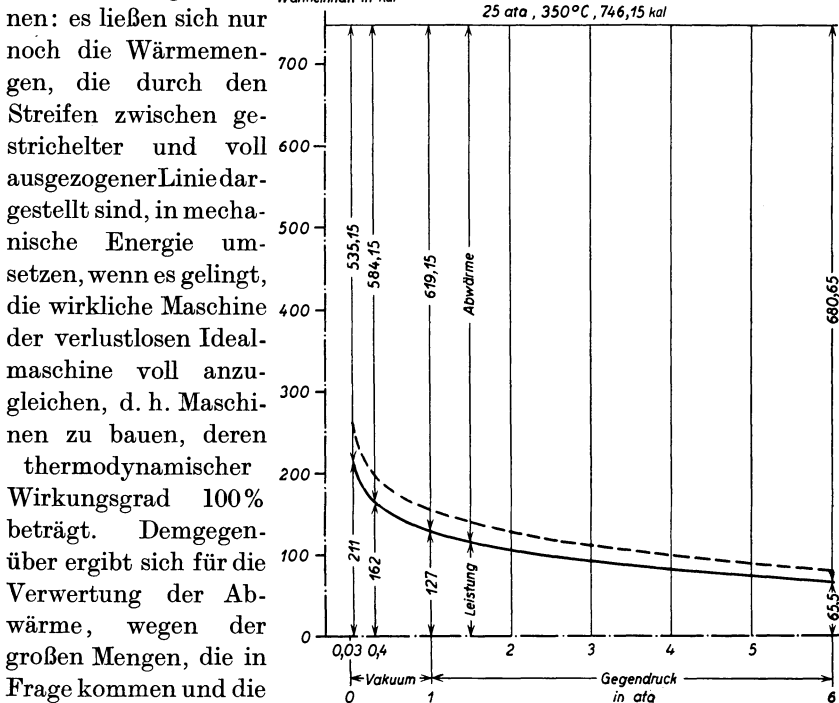


Abb. 62. Bildliche Darstellung der in Leistung umgesetzten Wärme und der Abwärme der idealen und wirklichen Maschine bei verschiedenen Gegendrücken.

Die in Zahlentafel 30 und Abb. 62 gebrachten Ziffern gelten natürlich nur für die Einheitsspannung von 25 at bei 350° C. Für verschiedene Eintrittsspannungen und die hierbei üblichen Temperaturen und sonstigen Betriebsverhältnisse gibt die Abb. 63 Aufschlüsse.

Auf der Abszisse sind die Eintrittsspannungen bis 100 at verzeichnet, während auf der Ordinate Wärmeeinheiten aufgetragen sind. Der Wärmeinhalt von 1 kg Sattedampf bei verschiedenen Drücken ist durch die strich-punktiert gezeichnete Kurve dargestellt. Für überhitzten Dampf liegt diese Kurve höher, und es ergibt sich daher entsprechend den

verschiedenen Überhitzungstemperaturen in den einzelnen Druckgebieten ein abgestufter Kurvenverlauf für den Wärmehalt (stark voll gezeichneter Linienzug). Die unten eingezeichneten, gestuften Kurvenlinien beziehen sich auf die in Arbeit umgesetzte Wärmemenge bei verschiedenen Gegendrücken, und zwar für die Idealmaschine (gestrichelt) und die wirkliche Maschine (voll ausgezogen). Es ist aus dieser Darstellung die Menge der bei verschiedenen Eintrittsdrücken, Temperaturen und Gegendrücken anfallenden Abwärme zu ersehen, und zwar als jener Teil der Ordinate, der zwischen der stark ausgezogenen oberen und der unteren Kurve liegt. Je höher die Eintrittsspannungen unter sonst gleichen Verhältnissen sind, desto größer ist der Anteil des Gesamtwärmeverbrauches, der in Arbeit umgesetzt werden kann und desto geringer ist die Abwärmemenge. Das in

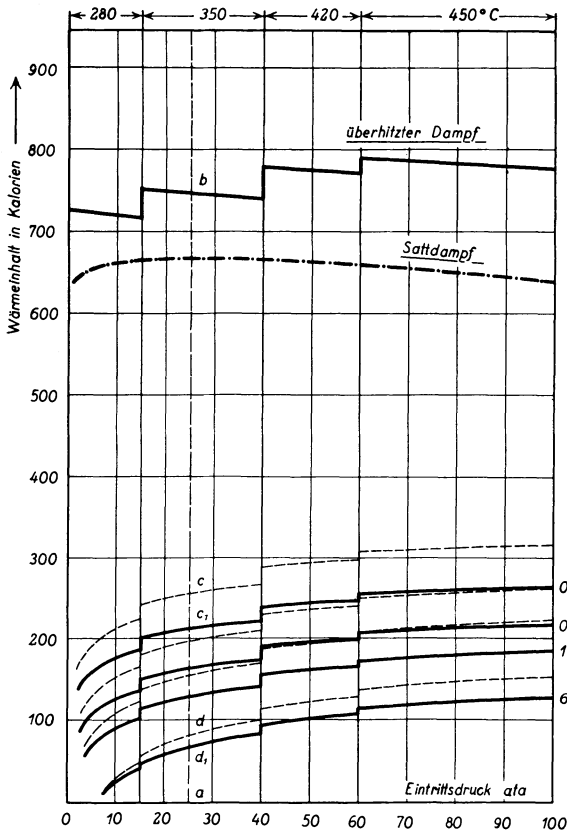


Abb. 63. Bildliche Darstellung der in Leistung umgesetzten Wärme und der Abwärme bei verschiedenen Dampfeintrittsverhältnissen.

Beispiel für 25 ata und 350°C

kommt auch hier als Ordinate über der Abszisse von 25 ata zum Vorschein. $a b$ ist der Gesamtwärmehalt des Dampfes, hiervon kann in der verlustlosen idealen Kondensationsmaschine nur die Wärmemenge $a c$, in der wirklichen Maschine nur die Wärmemenge $a c_1$ in Arbeit umgesetzt werden. $c c_1$ stellt also den Unterschied zwischen der wirklichen und der Idealmaschine dar und das Verhältnis $a c_1 : a c$ ist der thermodynamische Wirkungsgrad.

Diese bildliche Darstellung zeigt viel eindringlicher, als es Worte vermögen, wie geringfügig der durch Unvollkommenheit der wirklichen

Maschine entstehende Verlust ($c c_1$) im Verhältnis zu dem Abwärmeverlust (b, c) ist, der unvermeidlich auch bei der Idealmaschine bei der Umsetzung von Wärme in Arbeit eintritt. Was hier für die Maschine im Kondensationsbetrieb (0,04 ata) gesagt ist, gilt, wie sich ebenfalls aus der Zeichnung deutlich ergibt, in noch erhöhtem Maße für die Maschine mit Gegendruck. Bei einem Betrieb mit 6 ata Gegendruck ist die in vorliegendem Beispiel in Arbeit umgesetzte Wärmemenge durch die kurze Strecke $a d$ (Idealmaschine) bzw. durch die Strecke $a d_1$ (wirkliche Maschine) gegeben und es ist durch die Strecken db bzw. $d_1 b$ der Abwärmeverlust dargestellt.

Dieses Bild zeigt aber auch die Bedeutung des höheren Eintrittsdruckes bei hohem Gegendruck: während bei 25 ata Eintrittsspannung und einem Gegendruck von 6 ata in der Idealmaschine 79 WE, das sind also nur 10,6% des gesamten Wärmeinhaltes des Dampfes in Arbeit umzusetzen sind, steigt die je kg Dampf gewonnene Leistungsmenge bei 70 ata und 450° C auf 142 WE entsprechend 18% und bei 100 ata auf 153 WE, entsprechend 19,7%, d. h. die Ausnützung des Dampfes zur Krafterzeugung ist also unter diesen Verhältnissen bei 100 at nahezu doppelt so groß, als bei 25 ata. (Im Kondensationsbetrieb ist diese Leistungssteigerung in Hundertteilen geringer.) Trotzdem sind aber auch in diesem Falle noch sehr große Abwärmemengen im Abdampf enthalten.

Der aus der Austrittsspannung und dem Gegendruck sich ergebende Dampfverbrauch ist für alle Fragen der Abwärmeverwertung von großer Bedeutung; daher sollen diese Beziehungen noch in übersichtlicher Form behandelt werden. Eine genaue Darstellung dieser Zusammenhänge ist für die Lösung aller die Abwärmeverwertung betreffenden Fragen wünschenswert, da sich auch vielfach Ansichten eingebürgert haben, die zwar im allgemeinen richtig sind, in vielen Sonderfällen aber zu unzumutbaren Lösungen führen; so z. B. ist es von großer Wichtigkeit, sich ein Bild darüber zu machen, in welchem Verhältnis die Vorteile, die durch Erhöhung des Anfangsdruckes erzielt werden, zu jenen Vorteilen stehen, die durch Erniedrigung des Gegendruckes hervorgerufen werden¹⁾. Oft ist eine bestimmte Höhe des Gegendruckes (z. B. 2 ata) für die Mehrzahl von Einrichtungen, die mit Abdampf arbeiten, erforderlich, während einige andere Einrichtungen im gleichen Betrieb einen höheren Dampfdruck (z. B. 4 ata) benötigen. Man kann nun diese beiden Bedürfnisse entweder in der Weise decken, daß man die Maschine mit dem höchsten benötigten Gegendruck (also 4 ata) arbeiten läßt, wodurch wahrscheinlich eine entsprechend höhere Eintrittsspannung für die Maschine bedingt wird, oder aber, man kann den Gegendruck der Maschine auf jener Höhe halten, die für die Mehrzahl

¹⁾ Vgl. Band I. S. 128.

der Einrichtungen noch ausreicht (also 2 ata), und die wenigen übrigen, die einen höheren Druck brauchen, mit Frischdampf von vermindertem Druck betreiben, in welchem Falle wahrscheinlich auch ein geringerer Eintrittsdruck für die Dampfmaschine in Frage kommen wird. Andererseits gilt für die Abdampfverwertung im allgemeinen der richtige Grundsatz, daß man unter allen Umständen die Dampfeintrittsverhältnisse so wählt, daß aus der durch den Fabrikationsdampfbedarf gegebenen Dampfmenge die größte Kraftleistung gewonnen werden kann, auch wenn sie im Zeitpunkt des Entwurfes im Betriebe noch nicht ganz benötigt wird. Diese und ähnliche Erwägungen sind jedoch in ihren Auswirkungen in jedem einzelnen Falle genau zu überprüfen, wozu man sich die Beziehung zwischen Dampfverbrauch, Eintrittsspannung und Gegendruck jederzeit möglichst anschaulich vergegenwärtigen muß.

Diesem Zwecke dient in übersichtlicher Weise das in Abb. 64 dargestellte Raumbild, welches sich nicht auf die Idealmaschine, sondern auf tatsächliche Verhältnisse an wirklichen Maschinen guter Bauart und dem heutigen Stande der Technik entsprechender Ausführung bezieht. Auf der X -Achse ist der Gegendruck in ata, auf der Y -Achse die Eintrittsspannung in ata, auf der lotrechten Z -Achse der Dampfverbrauch der Maschine aufgetragen. Die Dampfverbrauchsziffern gelten für günstige Füllung. Es entsteht auf diese Weise eine Fläche, die in dem Teil der sich vorn links befindet, nur eine geringe Schräge aufweist, während sie nach rückwärts rechts, schnell und steil ansteigt. Der große Einfluß, den die Höhe des Gegendruckes bei mittleren und hohen Eintrittsspannungen auf die Steigerung des Dampfverbrauches ausübt, wird bei höchsten Drücken wesentlich kleiner. So ist beispielsweise beim Eintrittsdruck von 20 ata der Dampfverbrauch bei einem Gegendruck von 6 ata etwa 2 mal so groß, wie der Dampfverbrauch beim Gegendruck von 2 ata. Bei 100 ata Eintrittsspannung ist er jedoch beim Gegendruck von 6 ata nur um etwa 20% größer als beim Gegendruck von 2 ata.

Die Gleichung dieser Fläche lautet:

$$\frac{x}{y}(z - 3) + 2,6 \cdot z = 53,4, \quad (1)$$

hierin ist $x = p_e$ der Eintrittsdruck in ata, $y = p_g$ der Gegendruck in ata und $z = D$ der Dampfverbrauch in kg je PS_{1st}. Hieraus ergibt sich für den Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine die Formel:

$$D = \frac{53 + 3E}{2 \cdot 6 + E} \quad (2)$$

worin $E = \frac{x}{y} = \frac{p_e}{p_g}$, das Ausdehnungsverhältnis darstellt.

Diese Formel gibt mit genügender Genauigkeit den Dampfverbrauch von Gegendruckmaschinen in Abhängigkeit von Anfangs- und End-

druck an. Es ist aber hierbei ebenso wie für die Darstellung in Abb. 64 die Voraussetzung gemacht, daß die Eintrittstemperatur so gewählt ist, daß der Abdampf bei vollkommener Ausdehnung bis auf den Gegendruck trocken gesättigt ist.

Es zeigt sich hieraus, daß der Dampfverbrauch annähernd nur vom Verhältnis des Eintritts- zum Gegendruck (Ausdehnungsverhältnis) abhängig

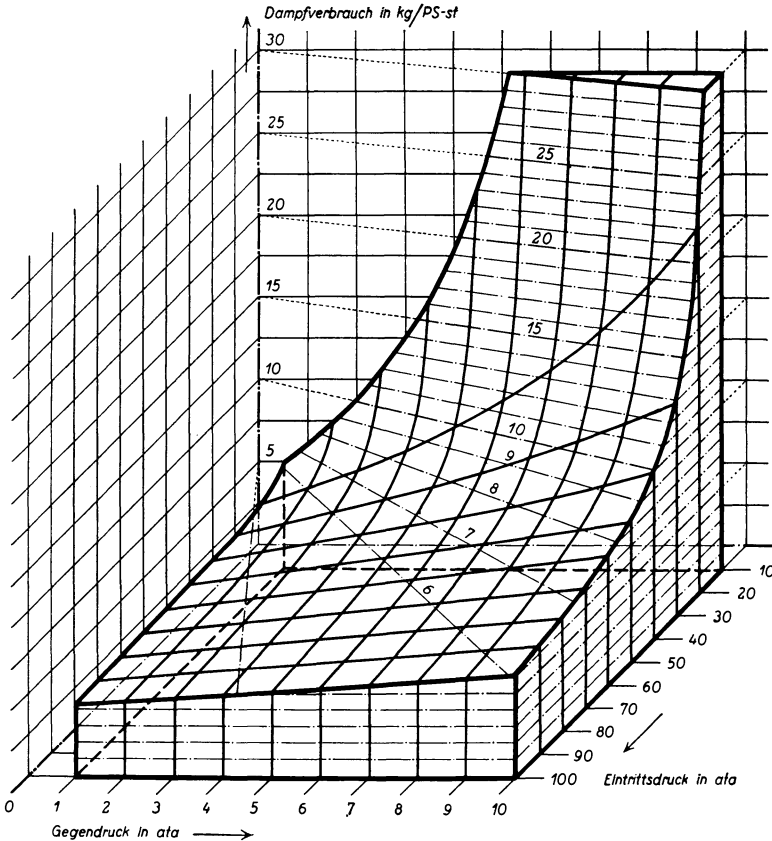


Abb. 64. Darstellung des Zusammenhanges zwischen Eintrittsdruck, Gegendruck und Dampfverbrauch.

ist. Innerhalb der Ausdehnungsverhältnisse von 4 bis 10 und für Eintrittsdrücke zwischen 12 und 100 ata und Gegendrücke zwischen 1,5 und 10 ata, also in fast allen praktisch vorkommenden Fällen ergibt diese Formel eine Genauigkeit wie sie für alle überschlägigen Rechnungen genügt¹⁾.

¹⁾ Für den Dampfverbrauch D_{th} der idealen verlustlosen Maschine in kg je PSst ergibt sich auf Grund der physikalischen Eigenschaften des Dampfes, wie sie aus der Entropietafel zu entnehmen sind, unter der gleichen Voraussetzung vollkommener Ausdehnung bis zur Sättigungslinie die Formel:

$$D_{th} = 26 \frac{p_v}{p_a} - \frac{p_a}{20} + 2,25.$$

In Abb. 65 ist der Dampfverbrauch der Formel entsprechend, in Abhängigkeit vom Ausdehnungsverhältnis bildlich dargestellt. (Die Linie ist eine Hyperbel.)

Wenn z. B. in einem Betrieb 1000 kg Fabrikationsdampf von 3 ata je Stunde und 130 PS_I gebraucht werden, dann soll die Maschine im reinen Gegendruckbetrieb je PSst ca. 7,7 kg Abdampf von 3 ata liefern. Aus Formel (2) ergibt sich für $D = 7,7$ der Wert von E zu ca. 7, also der Eintrittsdruck zu 21 ata. Der Wert $E = 7$ ergibt sich auch aus der Abb. 66, die in anderer Form die Beziehung zwischen dem Dampfverbrauch, dem Eintritts- und dem Gegendruck darstellt. Die Punkte

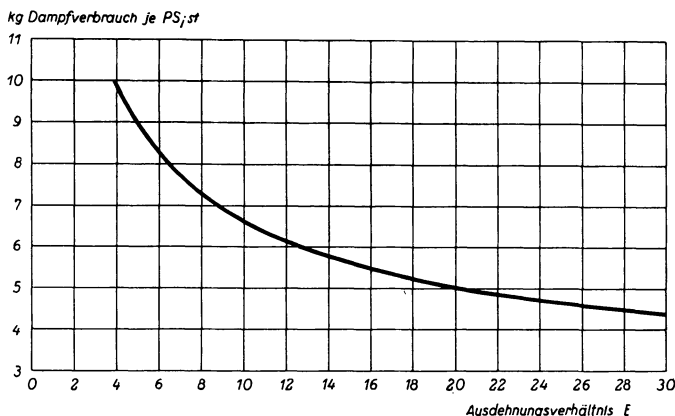


Abb. 65. Dampfverbrauch der Dampfmaschine in Abhängigkeit vom Ausdehnungsverhältnis E .

gleichen Dampfverbrauches liegen auf Strahlen, welche durch den Nullpunkt gehen¹⁾.

Die Krafterzeugung und die Deckung des Wärmebedarfes für Betriebszwecke durch Dampf ergänzen sich gegenseitig derart, daß sowohl die Kraft als auch die Wärme als Abfallenergie betrachtet werden kann²⁾. Im vorhergehenden wurde von Abwärme bei der Krafterzeugung ausgegangen. Man könnte aber ebenso von Abfallkraft bei der Wärmeverwendung für Koch-, Heiz- und Trockenzwecke sprechen. Nachdem aber hier die Krafterzeugung der sonstigen Verwendung des Dampfes vorgeschaltet ist, spricht man von „Vorschaltkraft“ und nennt die betreffende Maschine Vorschaltmaschine (Vorschaltturbine), wobei die nachträgliche Verwendung des Abdampfes der Vorschaltmaschine nicht nur zu Betriebs- oder Beheizungszwecken, sondern auch

¹⁾ Dieses Bild deckt sich ebenso wie Abb. 64 und Formel 2 in den daraus sich ergebenden Dampfverbrauchszahlen mit ähnlichen Darstellungen, wie z. B. mit dem Bild, welches für die gleichen Verhältnisse, jedoch in anderer Darstellungsweise von Gamerith (Z. Dampfk. Vers.-Ges. Jg. 1925, Nr. 12, S. 85) entworfen ist.

²⁾ Vgl. auch Bd. I, S. 170, 181 ff.

zur Krafterzeugung erfolgen kann. (Im Grunde genommen ist ja jeder Hochdruckzylinder einer Dampfmaschine dem Mittel- oder Niederdruckzylinder „vorgeschaltet“.)

Der wirtschaftliche Wert der Vorschaltmaschine erklärt sich in folgender Weise: Der Kohlenbedarf für die Erzeugung von Dampf höherer Spannung ist dem Kohlenbedarf für die Erzeugung nieder gespannten Dampfes nahezu gleich. (Der Wärmeinhalt von 1 kg Dampf liegt im ganzen Druckgebiet bis zu 100 at und mehr und bei den üblichen Temperaturen zwischen etwa 710 und 780 WE. Mit steigender

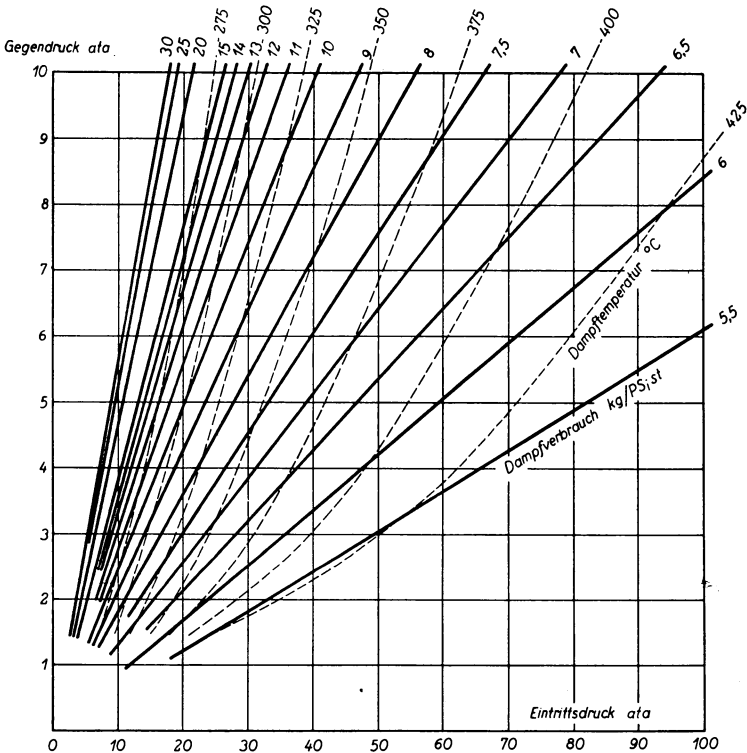


Abb. 66. Beziehungen zwischen Eintrittsdruk, Gegendruck und Dampfverbrauch.

Spannung nimmt sogar von einer gewissen Grenze an der Wärmeinhalt des Dampfes ab (s. Abb. 63). Die gleichen unbedeutenden Unterschiede ergeben sich bei der Erzeugung des Dampfes.) Wenn man nun in Anlagen, in denen für Betriebszwecke Dampf von niedriger Spannung erforderlich ist, statt des niedrig gespannten Dampfes hochgespannten Dampf erzeugt und ihn von der hohen Erzeugungsspannung bis auf die niedere Spannung, die man im Betrieb benötigt, in Gegendruckdampfmaschinen oder Gegendruckturbinen verwertet, so erhält man

eine gewisse Menge äußerst billiger Kraft, die man als Abfallkraft oder besser als Vorschaltkraft bezeichnen kann.

Es ist demnach einerseits dort wo Kraft gebraucht und in Dampfmaschinen-(Turbinen) erzeugt wird, billige Wärme in Form von Abdampf vorhanden, andererseits kann dort, wo Nutzdampf niederer Spannung gebraucht wird, Kraft fast kostenlos erzeugt werden.

Die Abdampfmenge, die im Abwärmebetrieb gewonnen wird, kann in roher Annäherung dem Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine selbst gleichgesetzt werden; tatsächlich ist er etwas geringer. Bei genauerer Rechnung kann unter Berücksichtigung der Wärmeinhalte die Höhe des Abzuges ermittelt werden, der von dem der Maschine zugeführten Dampf zu machen ist. Bei höheren Eintrittsspannungen und höheren Temperaturen ist der Abzug klein. Bei niederen Spannungen mit geringer Überhitzung ist er etwas größer und wird hier 5 bis 10%, selten mehr betragen (vgl. Bd. I. S. 187).

In gleicher Weise läßt sich die Menge der gewinnbaren Vorschaltkraft ermitteln. Sie hängt außer vom Gegendruck, der durch die Gebrauchsspannung des Dampfes gegeben ist, in erster Linie von dem Eintrittsdruck und der durch die Bedingung trockenen Abdampfes gegebenen Eintrittstemperatur, mit denen die Vorschaltmaschine betrieben wird, ab.

Wenn aus einer bestimmten Nutzdampfmenge gegebenen Druckes eine bestimmte Kraftmenge gewonnen werden soll, so ist hierdurch der Frischdampfverbrauch der Vorschaltmaschine insofern festgelegt, als es möglich ist, die Eintrittsspannung und die Überhitzung so zu wählen, daß die Kraftmaschine beim Verarbeiten des Dampfes bis auf den Gegendruck des Betriebsnetzes die gewünschte Leistung ergibt.

II. Die energiewirtschaftliche Kennziffer des industriellen Betriebes.

Aus den vorstehenden Ausführungen folgt, daß für die Frage der Wirtschaftlichkeit der Kraft- und Wärmebedarfsdeckung durch Dampf das Verhältnis des Nutzdampfbedarfes zum Kraftbedarf des einzelnen Betriebes von grundlegender Bedeutung ist.

Wenn nun im folgenden versucht werden soll, die einzelnen Industriezweige nach diesen Gesichtspunkten zu ordnen, so muß zunächst auf die Schwierigkeit einer solchen allgemeinen Behandlung der Industriezweige hingewiesen werden. Denn die Kraft- und Dampfbedarfsziffern der meisten Industrien sind in dieser Form überhaupt nicht bekannt und an und für sich schwer zu ermitteln; sie sind auch in den einzelnen Betrieben ein und desselben Industriezweiges verschieden, hängen nicht nur von Eigenheiten in den Herstellungsverfahren, sondern auch

von örtlichen Verhältnissen, Rohstoffbeschaffenheit, Arbeiterfragen und vielen anderen Umständen ab. In den meisten Industrien wird mit allgemeinen Faustformeln, wie Kilogramm Kohle je Kilogramm Fertigware gerechnet; in anderen Industriezweigen kann man von Betriebsleitern die Auskunft erhalten, daß so und so viele Quadratmeter Kesselheizfläche für eine bestimmte Jahreserzeugung erforderlich sind. Derartigen Ziffern fehlt aber eine genaue technische Grundlage, weil ja beispielsweise in dem ersteren Falle die Art der Kohle und in dem letzteren Falle die Beanspruchung der Heizfläche, Verhältnisse, die wieder von den verschiedensten Umständen abhängen, in Frage kommen. Immerhin bieten derartige Angaben einen Anhaltspunkt für den Fachmann, der die Nebenumstände richtig bewertet. Als verlässliche Grundlage können allerdings nur Versuche und wärmetechnische Messungen bezeichnet werden. Ergebnisse solcher Arbeiten dringen aber nur einzeln in die Öffentlichkeit, und man ist in der Regel auf seine eigenen Beobachtungen, deren Kreis beschränkt ist, angewiesen. Aus diesem Grunde und weil auch den verschiedenen Verhältnissen in den Betrieben gleicher Industriezweige Rechnung getragen werden muß, sind Ziffern über den Dampfbedarf und den Kraftverbrauch nur zwischen verhältnismäßig weiten Grenzen anzugeben. Dies genügt aber für den vorliegenden Fall, denn die daraus berechneten Nutzdampfmenge je verbrauchte PSst erfüllen den Zweck einer Kennziffer, wie sich zeigen wird, vollkommen und lassen die bezweckte Unterscheidung leicht zu.

Wenn in einem Betriebe für eine gewisse Erzeugungsmenge etwa 6 bis 10 mal soviel Kilogramm Nutzdampf gebraucht werden, als PSst notwendig sind, so kann dieser Betrieb unter Umständen, auf die noch näher eingegangen werden wird, die Abwärme seiner Dampfmaschine in zweckentsprechender Weise ganz aufbrauchen; er bildet in dieser Hinsicht ein Ganzes für sich. Natürlich ist ein derartig günstiges Verhältnis nur bei einer beschränkten Anzahl von Industriezweigen vorhanden. Bei vielen anderen Industriezweigen ist das Verhältnis ungünstiger; diese haben, wenn sie im reinen Gegendruckbetrieb arbeiten, einen Überschuß entweder an Abwärme oder an Abfallkraft, die sie über den Rahmen des eigenen Betriebes hinaus verwerten, also beispielsweise verkaufen können. Der Preis solcher Abfallenergie kann naturgemäß sehr niedrig sein, und ihre Abgabe wird sich um so mehr lohnen, je mehr das Verhältnis der benötigten Nutzdampfmenge zur benötigten Kraftmenge von den obigen Ziffern abweicht.

Die Zahl, die angibt, wieviel Kilogramm Nutzdampf je PSst in der betreffenden Industrie benötigt werden, ist die energiewirtschaftliche Kennziffer dafür, ob dieser Industriezweig die bei Deckung seines Kraftbedarfes anfallende Abwärme selbst verbraucht und hinsichtlich seiner Kraft- und Wärmewirtschaft ein

geschlossenes, selbständiges Ganzes bildet, oder ob er Abwärme oder Abfallkraft (Vorschaltkraft) in größerer Menge verfügbar hat. Ist nämlich diese Kennziffer sehr klein, also beispielsweise 2, so bedeutet dies, daß bei Erzeugung der ganzen benötigten Kraft in einer Gegendruckmaschine nicht der ganze, die Maschine verlassende Abdampf im Betriebe selbst Verwendung finden kann; es ist vielmehr Abdampf bzw. Abwärme übrig. Wenn die Kennziffer hingegen groß ist, z. B. 40, so kann, wenn der ganze benötigte Nutzdampf zunächst zur Krafterzeugung verwendet wird, nicht die ganze erzeugte Kraft im eigenen Betriebe verbraucht werden; es verbleibt Abfallkraft (Vorschaltkraft), die anderen Zwecken zugeführt, gegebenenfalls verkauft werden kann. Wenn schließlich die in Rede stehende Kennziffer ungefähr die Größenordnung der Dampfverbrauchszahlen von Gegendruckmaschinen aufweist, etwa wie erwähnt zwischen 6 und 10 liegt, so ist bei Abdampfverwertung keine wesentliche Menge von Abfallkraft oder Abfallwärme verfügbar.

Die Industriebetriebe lassen sich hinsichtlich ihrer Energiewirtschaft sohin in 3 Gruppen teilen: solche, deren energiewirtschaftliche Kennziffer kleiner ist als etwa 6 (diese haben bei Dampfmaschinenbetrieb Abwärme übrig), solche, deren Kennziffer zwischen etwa 6 und 10 liegt (diese verbrauchen ihre Abwärme nahezu restlos selbst) und schließlich solche, deren Kennziffer größer ist als etwa 10 (diese können Vorschaltkraft als Abfallenergie außerhalb ihres Betriebes verwerten). Durch das Wörtchen „etwa“ ist schon angedeutet, daß es sich nicht um scharfe Grenzen handelt. Dies ergibt sich auch daraus, daß es auf die für die Betriebszwecke benötigten Dampfspannungen wesentlich mit ankommt, die für den Gegendruck und mittelbar dann auch für den Frischdampfdruck maßgebend sind. Wenn beispielsweise im Betrieb mit der Kennziffer 6 eine verhältnismäßig hohe Nutzdampfspannung, z. B. 5 ata benötigt wird, könnte bei Verwendung sehr hohen Eintrittsdampfdruckes (70 at oder mehr) im reinen Gegendruckbetrieb gearbeitet werden, so daß der hierbei anfallende Abdampf gänzlich aufgebraucht wird. (Eine Dampfmaschine mit 70 at Eintrittsdruck und 5 ata Gegendruck braucht etwa 6 kg Dampf je PSst.) Wenn aber eine grundsätzliche Abneigung gegen derartig hohe Kesselspannungen etwa bestehen sollte, oder wenn aus irgendwelchen technischen oder wirtschaftlichen Gründen in einem besonderen Fall Höchstdruckdampf nicht in Frage kommt (etwa weil es sich um eine kleine Anlage handelt, wo die Kapitalkosten der Höchstdruckanlage zu sehr ins Gewicht fallen oder dgl.) und man mit etwa 25 at arbeitet (wobei der Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine etwa 8,5 oder 9 kg je PSst beträgt), wird zwar, nachdem nur 6 kg Abdampf je verbrauchte PSst im Betriebe benötigt werden, eine Abdampfmenge von 2,5 bis 3 kg je PSst verfügbar sein;

dieser Überschuß wird aber in der Regel noch nicht ausreichen, um eine großzügige Verwertung über den Rahmen des eigenen Betriebes hinaus zu ermöglichen. In diesem Falle wird zu untersuchen sein, ob nicht eine Maschine mit Zwischendampfentnahme wirtschaftliche Verwendung finden kann (s. hierüber S. 243). Ist aber die Kennziffer kleiner als 6 und handelt es sich insbesondere um Anlagen, die groß genug sind, so daß sich die Einrichtungen zur Verwertung der restlichen Abwärme außerhalb des eigenen Betriebes verlohnen, wird der Betrieb entsprechend seiner Kennziffer in die erste Gruppe einzureihen sein. Ebenso verhält es sich mit der anderen Grenzzahl: Wenn die Kennziffer des Betriebes ungefähr den Wert 10 hat und für den Betrieb eine hohe Nutzdampfspannung gebraucht wird, so wird die Gegendruckmaschine, mit entsprechendem Eintrittsdruck betrieben, so viel Kraft und gleichzeitig so viel Abdampf geben, als benötigt wird. Soll aber im Betriebe mit dieser Kennziffer Nutzdampf niederer Spannung, also eine Dampfmaschine mit niederem Gegendruck verwendet werden, so würde, wenn aller Dampf durch die Maschine geht, zwar mehr Kraft vorhanden sein, als gebraucht wird, aber dieser Überschuß von Vorschaltkraft wird in der Regel der Menge nach nicht sehr ins Gewicht fallen, und es wird, insbesondere wegen der großen Schwankungen, denen dieser verhältnismäßig kleine Kraftüberschuß ausgesetzt ist, seine Verwertung außerhalb des Betriebes nur selten in Frage kommen; es wird dann zweckmäßiger sein, in solchen Betrieben nur soviel Kraft in der Gegendruckmaschine zu erzeugen, als dort selbst gebraucht wird, und den fehlenden Abdampf durch Frischdampf mit vermindertem Druck zu ergänzen. Infolgedessen können die Betriebe, deren Kennziffer, d. h. deren Nutzdampfbedarf in Kilogramm je verbrauchte PSst, zwischen 6 und 10 liegt, für die vorliegenden allgemeinen Betrachtungen als solche bezeichnet werden, die keine oder nur sehr wenig Abfallenergie verfügbar haben, im Gegensatz zu jenen Industriezweigen, deren Kennziffer wesentlich kleiner oder größer ist.

In Zahlentafel 31 ist eine Einteilung verschiedener Industrien nach den vorstehend angeführten Gesichtspunkten durchgeführt.

Die erste Hauptgruppe umfaßt kraftverbrauchende Industrien, die keine oder nur sehr wenig Dampfwärme für Betriebszwecke benötigen. Der Kraftbedarf, der sich auf die in der zweiten Spalte angegebene Einheit der Fertigung bezieht, ist in der dritten Spalte verzeichnet. Hier finden sich die elektrochemischen Industrien (Angabe Nr. 1 bis 5) mit hohem Kraftbedarf an erster Stelle, die anderen angeführten Industrien (Angabe Nr. 6 bis 13) haben fast alle weitaus geringeren Kraftverbrauch. In der nächsten Spalte ist der Nutzdampfbedarf angegeben, der bei diesen Industrien Null oder sehr gering ist. Infolgedessen ist auch die in der darauffolgenden Spalte angeführte Kennziffer (Betriebs-

Zahlentafel 31.
Energiebedarf und Abfallenergie verschiedener Industriezweige.

Angabe Nr.	Industriezweig Betrieb	Bezugseinheit (Einheit der Fertigware)	Energie — Bedarf		Kennziffer Betriebsdampf in kg je PSst
			Kraft PSst	Betriebs- dampf kg	
I. Abfallwärme verfügbar:					
Elektrochemische Industrien:					
1	Aluminium	je kg	35	—	0
2	Luftsalpeter	„ „	11	gering	fast 0
3	Wasserstoff	je cbm	11	—	0
4	Kalkstickstoff	je kg	5	gering	fast 0
5	Kalziumkarbid	„ „	5	—	0
Andere Industrien:					
6	Sauerstoff (Luftdestil- lation)	je cbm	4,0	—	0
7	Holzstoff	je kg	2,0	—	0
8	Spinnerei	„ „	2,0	gering	fast 0
9	Elektrizität	je kWst	1,5	—	0
10	Walzeisen (Flach- eisen, Draht)	je kg	0,16	—	0
11	Zement	„ „	0,13	—	0
12	Weizenmühle	„ „	0,1	gering	fast 0
13	Eis	„ „	0,05	gering	fast 0
II. Keine oder wenig Abfallenergie verfügbar¹⁾:					
14	Bier	je Liter	0,1—0,2	0,5—0,9	3—6—9
15	Kartoffelstärke	je kg	0,1—0,2	0,5—1	3—6—10
16	Papier	„ „	0,4—0,6	2,5—3	4—6—7
17	Weberei	„ „	1—1,5	8—12	5—8—12
III. Abfall-(Vorschalt-)Kraft verfügbar:					
18	Zellulose (gebleicht)	je kg	0,4—0,5	5,5—6,5	11—13—16
19	Leder	„ „	1—1,3	15—22	12—16—22
20	Kunstseide	„ „	6—8	110—150	14—20—25
21	Preßhefe (Lüftungs- verfahren)	„ „	0,6—1	16—22	16—25—40
22	Zündhölzchen	je Kiste ²⁾	30—35	700—1100	20—27—37
23	Zucker (raffiniert)	je kg	0,15—0,25	5—6	20—30—40
24	Wäscherei	„ „	0,3—0,4	9—11	22—30—37
25	Leim	„ „	0,7—0,9	25—35	28—40—50
26	Kartoffelsirup	„ „	0,05—0,07	2,2—2,8	30—45—56
27	Färberei	„ „	0,05—0,1	3—5	30—65—100
28	Spiritus (Dickmais- verfahren)	je Liter	0,1—0,2	6—15	30—70—150
29	Seife	je kg	0,1—0,2	6—18	30—80—180
30	Badeanstalten	je Besucher	0,3—0,5	40—70	80—100—230
31	Zentralheizungen	je cbm Raum und Stunde	gering	0,02—0,04	fast ∞

¹⁾ Bei niederen Kesselspannungen ist keine, bei höheren Kesselspannungen und niederer Gebrauchsspannung etwas Vorschaltkraft verfügbar.

²⁾ 100 Pakete je 100 Schachteln je 60 Hölzchen.

dampf je PSst) hier überall Null oder fast Null. Diese Industriezweige sind vielfach zum Antrieb durch Wasserkraft geeignet; wird aber die Kraft mit Dampf erzeugt, so ergibt sich auf Grund des Vorgesagten überschüssige Abwärme in großer Menge.

In der zweiten und dritten Hauptgruppe sind solche Industriezweige verzeichnet, die neben Kraft auch Nutzdampf brauchen, und es sind in der gleichen Weise wie für die erste Gruppe die benötigten Kraft- und Nutzdampfmengen je Einheit Fertigware und die daraus berechneten Kennziffern angeführt. Diese Werte sind alle zwischen einer unteren und oberen Grenze angegeben; für die Kennziffern sind außerdem noch, fett gedruckt, Mittelwerte eingetragen, nach denen die Industriezweige geordnet sind.

Die zweite Gruppe umfaßt Industriezweige, deren Kennziffern zwischen 6 und 10 liegen; hier ist im Sinne der früheren Ausführungen keine oder nur verhältnismäßig wenig Abfallenergie verfügbar.

Unter den Industriezweigen dieser Gruppe befindet sich an erster Stelle die Bierbrauerei, in der die Abdampfverwertung heute gang und gäbe geworden ist. Eine der ersten Abdampfverwertungsanlagen wurde in der Pschorrbrauerei in München schon im Jahre 1903 in Betrieb gesetzt, sie hat sich sehr gut bewährt und auch vielfach Nachahmung gefunden. Die niedere Kennziffer (im Mittel 6, fallweise auch noch kleiner) deutet darauf hin, daß Gegendruckmaschinen, in denen die gesamte benötigte Kraft erzeugt wird, bei dem in der Bierbrauerei gebräuchlichen Gegendruck von 1 bis 2 at zeitweise mehr Abdampf liefern, als benötigt wird, solange die heute noch üblichen Eintrittsspannungen in Frage kommen.

Bei Einführung höchster Drücke (60 at und mehr) würde sich das Bild bei allen hierhergehörigen Betrieben in dieser Hinsicht verschieben, sowie denn überhaupt der Höchstdruck von diesem Gesichtspunkte aus den reinen Gegendruckbetrieb auch dort wirtschaftlich gestalten kann, wo das Verhältnis des Nutzdampfbedarfes in kg zum Kraftbedarf in PSst wesentlich kleiner sein wird, als 6. Solange aber bei derartigen Anlagen mit niederen Eintrittsdrücken (bis etwa 30 atü) gearbeitet wird, kommt unter Umständen, über die noch ausführlich gesprochen werden wird, die Zwischendampfentnahme in Frage. In der Bierbrauerei z. B. ist die Zwischendampfkochung schon frühzeitig, zuerst durch Eberle in München, vorteilhaft eingeführt worden.

Die gelegentlich der Besprechung der Bierbrauerei im vorigen Kapitel erwähnte teilweise Rückkehr zur direkten Feuerkochung, die vorwiegend auf brautechnische Gründe zurückzuführen ist, hat auf die Abdampfverwertung in diesem Industriezweige insofern einen Einfluß, als sich die energiewirtschaftliche Kennziffer durch Entfall des Dampfbedarfes für das Sieden verkleinert, was in gesteigertem Maße auf die Verwendung

der Zwischendampfentnahme, oder aber auf die Anwendung höchster Drücke zwecks Verringerung der Abdampfmenge hinweist.

Die Kartoffelstärkefabrikation (Ang. Nr. 15) hat ungefähr die gleiche Kennziffer wie die Bierbrauerei. Die allgemeine Gültigkeit für alle hierher gehörigen Betriebe ist jedoch dadurch gestört, daß vielfach Nebenabteilungen (Kartoffeltrocknung, Flockenerzeugung, Dextrinerzeugung oder dgl.) mitbetrieben werden, deren Dampf- und Kraftbedarf, ebenso wie auch die Eigenarten des Betriebes in der Nachkampagne für die Wahl der Betriebsmaschine mitbestimmend sind.

Für die Papierindustrie (Ang. Nr. 16) gilt regelrechterweise entsprechend ihrer mittleren Kennziffer, das gleiche wie für die vorbeschriebenen beiden Industriezweige dieser Gruppe. Die Verschiedenartigkeit der Betriebsweise und der damit zusammenhängenden Erfordernisse an Dampf und Kraft lassen jedoch einzelne Betriebe der Papierindustrie als Grenzfall erscheinen, d. h. es würde in solchen Betrieben bei Verwendung von reinem Gegendruckbetrieb oft Abdampfüberschuß herrschen, so daß auch hier der Betrieb mit Zwischendampfentnahme die wirtschaftlichere Deckung des Kraft- und Dampfbedarfes darstellen kann, oder daß, was das gleiche bedeutet, mit zwei Kraftmaschinen vorteilhaft gearbeitet wird, von denen die eine eine reine Gegendruckmaschine, die andere eine Kondensations- oder eine sonstige noch billiger arbeitende Kraftmaschine ist. Tatsächlich findet sich auch vielfach sowohl Anzapfbetrieb, als auch noch häufiger der Betrieb mit einer Kondensationsmaschine einerseits und kleineren Gegendruckmaschinen für den unmittelbaren Antrieb der Papiermaschinen andererseits in diesem Industriezweig vor. Schließlich wird auch hier die allgemeinere Einführung des Hochdruckdampfes die Möglichkeit schaffen, im reinen Gegendruckbetrieb ohne Abdampfüberschuß arbeiten zu können.

Die Weberei ist mit allen ihren Eigenheiten im dritten Abschnitt besprochen, woraus sich ebenfalls ergibt, daß diese Industrie als Grenzfall zwischen der Gruppe II und III zu betrachten ist, was von Art und Anzahl der Nebenbetriebe abhängt.

In der dritten Gruppe sind Industriezweige mit Kennziffern über 10, also mit verhältnismäßig hohem Nutzdampfbedarf je PSst angeführt. Die mittleren Kennziffern liegen hier zwischen 13 und fast ∞ . Diese Gruppe ist die bemerkenswerteste von allen, weil aus den hier angeführten Industrien überschüssige Kraft in großen Mengen geschöpft werden kann und weil ihre Ausnützung in diesem Sinne bisher nur ausnahmsweise erfolgte.

Die Kennziffer der Zelluloseindustrie (Ang. Nr. 18) ist in der Größenordnung von 13 gelegen. Hier könnte also grundsätzlich der Abdampf der im Gegendruckbetrieb erzeugten Kraft nur dann ausreichen, wenn

mit kleinem Ausdehnungsverhältnis gearbeitet wird. Der Kochdampf erfordert aber ziemlich hohe Spannung, weshalb dann hier trotzdem verhältnismäßig hohe Eintrittsdrücke benötigt würden. Es liegt aber auch ein großer Verbrauch von Niederdruckdampf in diesem Industriezweig vor, so daß hier wohl die bemerkenswertesten Aufgaben auf dem Gebiete der Abdampfverwertung zu lösen sind, wobei die Bewältigung der großen Schwankungen im Dampfbedarf der Dampfspeicherung ein großes Verwendungsgebiet eröffnet, wie im vorigen Abschnitt ausführlich besprochen wurde.

Die Lederindustrie (Ang. Nr. 19), die ebenfalls im vorigen Kapitel genauer behandelt wurde, fällt mit der mittleren Kennziffer 16 ebenfalls schon in diese dritte Gruppe. Die Höhe der Kennziffer weist darauf hin, daß der Abdampf der Krafterzeugung nur dann ausreicht, wenn ältere Dampfmaschinen mit niederen Eintrittsdrücken, wie sie in dieser Industrie noch vielfach gebräuchlich sind, verwendet werden. Es kann aber hier auch Betriebe mit höherer Kennziffer (bis zu 22) geben, was insbesondere dann der Fall ist, wenn sehr viel Gerbstoff (s. S. 87) in der Fabrik selbst erzeugt und verhältnismäßig stark eingedickt wird.

Immerhin stellen viele Betriebe dieser beiden Industriezweige (Zellulose und Leder) noch Grenzfälle zwischen der zweiten und dritten Gruppe dar, weil es mit Rücksicht auf die Schwankungen im Dampfbedarf fraglich ist, ob Vorschaltkraftverwertung außerhalb des eigenen Betriebes, wie sie für die dritte Gruppe maßgebend ist, in lohnender Weise in Betracht kommt. Bei allen anderen hier angeführten Industrien der III. Gruppe mit den Kennziffern über 20 ist dies wohl ausnahmslos der Fall.

Bei diesen Betrieben ist die Menge des benötigten Koch-, Heiz-, Trocken- oder sonstigen Betriebsdampfes dem Kraftbedarf gegenüber sehr groß. Wenn die ganze benötigte Kraft in Gegendruckmaschinen erzeugt und der Abdampf zu Betriebszwecken benützt wird, so ist noch ein großer Zuschuß an Nutzdampf notwendig, der den Kesseln unmittelbar entnommen werden muß. Diese Industrien sind zwar, wenn sie in dieser Weise arbeiten, für sich allein betrachtet, wärmetechnisch vollkommen auf der Höhe; denn sie nützen die bei der Krafterzeugung anfallende Abfallwärme gänzlich aus und der Nutzeffekt, mit dem der Zusatzdampf zu Betriebszwecken verwendet wird, ist bei zweckmäßiger Einrichtung ebenfalls bis nahe an 100% zu bringen. Nichtsdestoweniger ist der Zusatzdampf noch nicht so gut ausgenützt wie es möglich wäre, wenn er genau so wie der Maschinendampf zunächst zur Erzeugung von Vorschaltkraft verwendet würde. Diese zusätzliche Kraft, die nahezu kostenlos erzeugt wird, kann, wenn sie im eigenen Betriebe keine Verwendung findet, gegebenenfalls außerhalb des Betriebes verwertet (verkauft) werden.

III. Gegendruckbetrieb und Zwischendampfentnahme.

Im vorstehenden ist nur der durchschnittliche Wärme- und Kraftbedarf berücksichtigt. Die

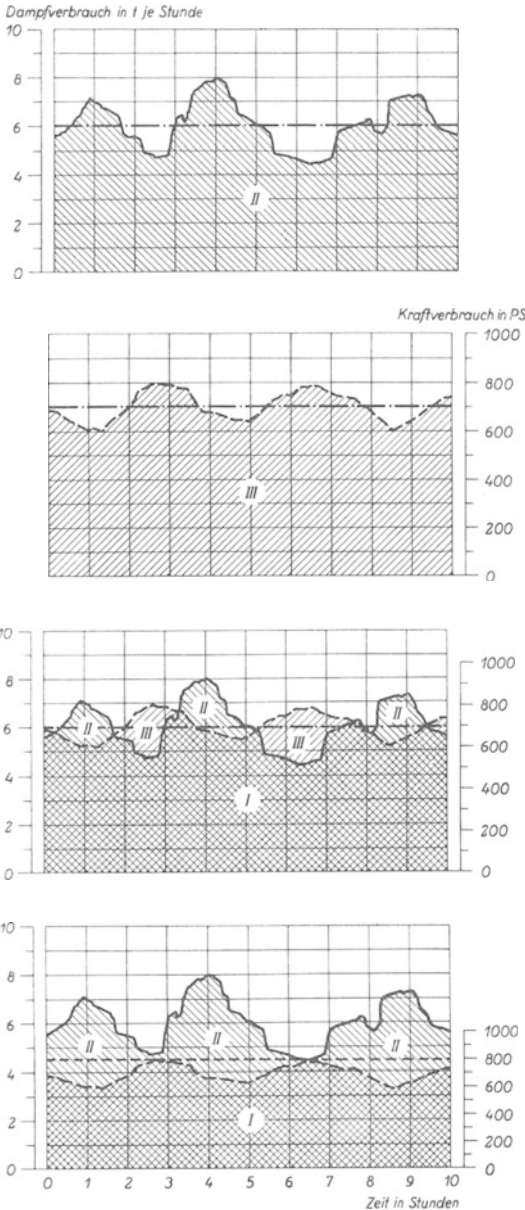


Abb. 67 bis 70. Verbrauch eines Betriebes an Fabrikationsdampf und Kraft (Abb. 67 u. 68) und seine Deckung im Gegendruckbetrieb (Abb. 69 u. 70).

auftretenden Schwankungen sind zunächst außer acht geblieben, können aber doch bei vielen Industrien von solchem Einfluß sein, daß sie nicht vernachlässigt werden dürfen. Um diesen Einfluß zu untersuchen, sind in Abb. 67 und 68 beispielsweise die Tagesdiagramme einer Fabrik betreffend den Nutzdampfbedarf in Tonnen und den Kraftbedarf in PS wiedergegeben. Insgesamt benötigt diese Fabrik während des 10stündigen Betriebes 60t Dampf für Koch-, Heiz-, Trockenzwecke u. dgl. und 7000 PSst, wobei die benötigte Dampfspannung beispielsweise 2 ata beträgt. Aus dem Kraft- und Dampfbedarf dieses Normaltages ergibt sich die Kennziffer des Betriebes zu $60000 : 7000 = 8,6$. Wenn also eine Gegendruckmaschine verwendet wird, welche je PSst 8,6 kg Abdampf, also etwa für die PSst 9 kg Dampf braucht, könnte sie, wenn von den Schwankungen im Dampf- und Kraftbedarf abgesehen wird, den gesamten benötigten Betriebsdampf liefern, und es wäre der

Gesamtdampfverbrauch für Kraft- und Betriebszwecke dem Dampfverbrauch der Dampfmaschine gleichzusetzen; er betrüge also $9 \cdot 7000 = 63000$ kg Dampf je Tag. Trägt man nun, wie aus Abb. 69 ersichtlich, zu der voll ausgezogenen Linie, die dem Dampfbedarf für Betriebszwecke entspricht, die gestrichelte Linie, die den aus dieser Gegendruckmaschine gewonnenen Abdampfmengen (1 PS ist hier maßstäblich gleichgesetzt 8,6 kg Abdampf) entspricht, hinzu, so ergeben sich drei verschiedene Flächen, die durch die Verschiedenheit der Schraffierung und die Bezeichnung *I*, *II* und *III* kenntlich gemacht sind und deren jeder eine besondere Bedeutung zukommt:

Fläche *I* gibt die Abdampfmengen wieder, die restlos in dem Betrieb untergebracht werden können.

Die Flächen *II* zeigen die Dampfmengen an, die weiter noch für Betriebszwecke benötigt werden, und in diesem Falle durch Frischdampfzusatz zu decken sind. Dieser Frischdampfzusatz könnte natürlich ebenfalls durch die Maschine geführt werden, bevor er den Betriebszwecken nutzbar gemacht wird und würde dann eine überschüssige Kraftmenge gewinnen lassen, die gegebenenfalls außerhalb des Betriebes Verwertung finden könnte; es würde sich aber, wie man aus dem Bilde ersieht, einerseits um verhältnismäßig kleine Mengen, andererseits um jeweils verhältnismäßig kurze Dauer dieser Überschüsse handeln, so daß eine derartige Verwertung hier kaum in Frage kommt. Bei genügend großen Kraftmengen und entsprechender Dauer ihres Anfalles könnte dagegen eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Verkauf derartiger Vorschaltkraft erzielt werden.

Die Flächen *III* endlich bezeichnen die Abdampfmengen, für die im Betrieb keine Verwendung besteht und die als Auspuff über Dach gehen. Es besteht aber auch hier die Möglichkeit, sie außerhalb des Betriebes für irgendwelche Zwecke zu verwerten, wenn sie nicht, wie im vorliegenden Fall, verhältnismäßig klein und nur vorübergehend vorhanden sind.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit haben die durch die Flächen *II* und *III* dargestellten Dampfmengen ganz verschiedene Bedeutung:

Der durch die Fläche *II* dargestellte Zusatzdampf dient zur Ergänzung des Dampfbedarfes im Betrieb und ist in diesem Sinne unvermeidlich. Der Frischdampfzusatz, der erforderlich wird, weil die Abdampfmenge zur Deckung des Betriebsdampfbedarfes nicht ausreicht, ist — entgegen einer mitunter anzutreffenden Meinung — kein vermeidbarer Verlust.

Anders verhält es sich mit den durch die Fläche *III* dargestellten Auspuffdampfmengen, die einen Mehrverbrauch gegenüber dem durch den Nutzdampfbedarf gegebenen Mindestverbrauch des betreffenden Betriebes darstellen. In dieser Hinsicht kann eine Ersparnis beispiels-

weise dadurch erzielt werden, daß die Kraftmengen, die dem über Dach auspuffenden Dampf entsprechen, auf andere, billigere Weise als im Gegendruckbetrieb beschafft werden. Z. B. könnten diese Kraftmengen durch Bezug billigeren Fremdstromes gedeckt, oder sie könnten in einer anderen Kraftmaschine, z. B. in einer Kondensationsmaschine, oder in einem Dieselmotor oder dgl. erzeugt werden. Die Kondensationsmaschine kann entweder selbständig arbeiten, oder mit der Gegendruckmaschine gekuppelt sein, wodurch die Anzapfmaschine (Zwischendampfentnahme s. S. 243ff.) entsteht. Hierdurch würden die durch den hohen Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine bedingten Brennstoffmehrkosten der durch die Größen der Flächen *II* dargestellten Kraftmengen gegenüber billigerer Krafterzeugung entfallen können. Ob es sich lohnt, für diesen Zweck besondere Einrichtungen (Fremdstrombezug, Kondensationsmaschinen oder das Arbeiten mit Zwischendampfentnahme u. dgl.) zu treffen, ist Gegenstand besonderer Untersuchung und wird noch eingehend besprochen werden. Jedenfalls zeigt es sich, daß die genaue Kenntnis des Kurvenverlaufes für die Wahl der Betriebsmaschine und für die Festsetzung der Betriebsverhältnisse von größter Wichtigkeit ist¹⁾. Denn unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Dampf- und Kraftverbrauches allein würde die Wahl in dem vorliegendem Beispiel auf eine Gegendruckmaschine mit einem Dampfverbrauch von etwa 9 kg fallen können, obwohl diese mit Rücksicht auf die hiebei zeitweilig auspuffenden Abdampfmengen möglicherweise nicht die beste Lösung darstellt.

Man kann z. B. für den Fall des vorliegenden Beispiels solche Dampfverhältnisse für die Dampfmaschine wählen, daß selbst bei der größten vorkommenden Leistung (Spitze) (in dem vorliegenden Beispiel etwa 800 PS) die Abdampfmenge nicht größer ist als der geringste vorkommende Dampfbedarf für Betriebszwecke (etwa 4500 kg/st). Es müßte also die Maschine mit solcher Eintrittsspannung- und Temperatur arbeiten, bei welcher etwa 800 PS nicht mehr als 4500 kg Abdampf geben, das heißt, die Maschine dürfte (im Gegendruckbetrieb mit 2 ata) nicht mehr als etwa 5,9 kg Dampf je PSst brauchen. In diesem Falle wäre vollkommene Sicherheit vorhanden, daß kein überschüssiger Dampf über Dach geht; die von der Maschine herrührende Abdampfmenge ist niemals, auch dann nicht, wenn die Maschine die größte Leistung aufweist, größer als der Betriebsdampfbedarf. Diese Verhältnisse sind in Abb. 70 dargestellt. Der Gesamtdampfbedarf ist nicht größer als der Bedarf für Betriebszwecke allein, also wesentlich geringer als in dem Falle, der durch Abb. 69 dargestellt ist, obwohl der Frischdampfzusatz (die schraffierte Fläche *II*) wesentlich größer ist.

¹⁾ Vgl. Bd. I, S. 4.

Die Wahl dieser Betriebsverhältnisse hat aber noch einen weiteren Vorteil: Wenn später der Kraftbedarf steigt und die Abdampfmenge größer wird, wird der erforderliche Frischdampfzusatz geringer, und es wird sich der Gesamtdampfverbrauch trotz der vermehrten Kraft-erzeugung kaum merklich ändern, solange nicht Zeiten auftreten, wo der Abdampfüberschuß ein gewisses Maß übersteigt. Es ist also in der Regel immer vorteilhaft, die Gegendruckmaschine unter möglichst wirtschaftlichen Verhältnissen, d. h. mit entsprechend hoher Eintritts-spannung und -Temperatur arbeiten zu lassen, wenn die Möglichkeit einer Steigerung des Kraftbedarfes vorhanden ist; denn es ist für die Wirtschaftlichkeit der Anlage vollkommen gleichgültig, ob in einem Betriebe, der beispielsweise die Kennziffer 10 besitzt (auf jede benötigte PSst entfällt ein Nutzdampfbedarf von 10 kg), mit einer Gegendruckmaschine gearbeitet wird, die 10 kg Abdampf je PSst hergibt, also etwa 10,5 kg Dampfverbrauch besitzt, oder mit einer solchen, die nur 7,5 kg Dampfverbrauch hat, in welchem letzterem Falle etwa 3 kg Frischdampf je aufgewendete PSst zuzusetzen wären. In letzterem Falle hat man aber noch einen unbenutzten Vorrat an sehr billiger Kraft, die man im Bedarfsfalle ohne Dampfmeerverbrauch gewinnen kann. Voraussetzung hierfür ist lediglich, daß die Maschine groß genug ist, um die gesamte Betriebsdampfmenge zu verarbeiten.

Der Vorteil, einen Vorrat an billiger Kraft zu besitzen, ist nicht zu unterschätzen; erfahrungsgemäß nimmt der Kraftbedarf der meisten industriellen Betriebe, auch wenn keine Vermehrung in der Erzeugung eintritt, fortlaufend zu: der Bedarf nach einem Aufzug oder einer sonstigen Fördereinrichtung, der Bedarf nach einer Pumpe oder auch nach vielen motorisch angetriebenen Hilfs- und Nebeneinrichtungen tritt immer wieder erneut auf, und die Möglichkeit, die hierzu benötigte Kraft jeweils aus der vorhandenen Anlage leicht und billig beschaffen zu können, ist von großem Wert. Wenn dagegen die Maschine mit so niederem Eintrittsdruck arbeitet, daß sie unter den anfänglichen Verhältnissen bei Verarbeitung des gesamten Nutzdampfes gerade die eben jetzt benötigte Kraftmenge erzeugen läßt, ist jede Steigerung des Kraftverbrauches mit großen Betriebskosten verbunden. Es kann dann diese zusätzliche Kraft entweder — falls die Leistungsfähigkeit der Maschine dazu ausreicht — im Gegendruckbetrieb, jedoch mit über Dach strömendem Abdampf erzeugt werden, oder aber es muß eine andere Maschine mit möglichst wirtschaftlicher Arbeitsweise dazugestellt, oder schließlich Fremdstrom bezogen werden. Ganz besonders wichtig kann es werden, mit der Dampfspannung höher zu gehen als das anfänglich herrschende Verhältnis zwischen Nutzdampf- und Kraftbedarf erheischen würde, wenn die Möglichkeit besteht, die unter voller Ausnutzung des Nutzdampfes in der Maschine erzeugte Kraft,

wenn sie im eigenen Betrieb weder jetzt noch in Zukunft voll gebraucht wird, anderweitig, über den Rahmen des eigenen Betriebes hinaus zu verwerten, wovon noch eingehend im folgenden Abschnitt die Rede sein wird.

Selbstverständlich müssen hierbei aber die Mehranlagekosten, die bei der Verwendung von Anlagen mit höheren Spannungen erwachsen, in Berücksichtigung gezogen werden, und es gibt in den meisten Fällen eine wirtschaftliche Grenze für die in Frage kommende Dampfspannung. Man wird dann zu untersuchen haben, ob die aufzuwendenden Mehrkosten in einem richtigen Verhältnis stehen zu dem Vorteil des Vorrates an billiger Kraft, der durch die höhere Spannung geschaffen wird; bzw. es müssen, wenn eine Verwendung für die Überschubkraft außerhalb des Betriebes vorhanden ist, diese Mehrkosten in Beziehung gesetzt werden zu dem für den Überschubstrom erzielbaren Erlös.

Man wird hierbei finden, daß, obwohl die im Gegendruckbetrieb erzielbare Kraftmenge, also auch die Gewinnung von Überschubkraft, um so größer wird, je höher die Anfangsspannung ist mit der gearbeitet wird, die wirtschaftlichsten Verhältnisse nur unter ganz besonderen Umständen bei Verwendung der höchsten Spannungen auftreten und der größte Erfolg oft mit geringeren Spannungen erzielt wird als man annehmen zu müssen glaubt. Prof. Kraft hat in einer Studie¹⁾ „die Überschubleistung und Wärmekosten einer Gegendruckturbinen-Anlage bei verschiedenen Strompreisen abhängig vom Kesseldruck und Ausnützung“ untersucht und die Untersuchungsergebnisse in den beiden Bildern 71 und 72 anschaulich dargestellt. Abb. 71 zeigt die mit steigendem Kesseldruck erzielbare Leistung und, schraffiert, die als Aktivposten einzusetzende Überschubleistung. Für verschiedene Strompreise, die für diese Überschubenergie bezahlt werden, ergeben sich verschiedene Gestehungskosten des Werkes für je 1000 WE im eigenen Betrieb verbrauchter Dampfwärme, oder gleichwertige elektrische Energie (Abb. 72). Danach gibt es für jeden Strompreis einen günstigsten Kesseldruck, der z. B. für eine Zuckerfabrik (für die mit einer Ausnützung von 25% gerechnet ist) bis zu 4 Pf./kWst und bei dem Werke von 70% Ausnützung bis 2 Pf. je kWst noch unterhalb 50 ata liegt.

Eine andere Möglichkeit, den Dampfmehrverbrauch, der durch die Flächen *III* gegeben ist, zu verringern, kann gegebenenfalls auch in der Verwendung von Speichern gelegen sein. Wenn man nämlich den überschüssigen Abdampf aufspeichern kann für jene Zeit, während der sonst Zusatzdampf gebraucht wird (Flächen *II*), entfällt der entsprechende Bedarf an Frischdampfzusatz. Wenn die Flächen *II* und *III*

¹⁾ Kraft, Dr. Ing. E. A.: Die Dampfturbine in der industriellen Wärmewirtschaft. Arch. Wärmewirtsch. 1929, H. 3.

annähernd gleich groß sind und eine Speicherung in diesem Sinne in vollkommener Art durchführbar wäre, könnte hierdurch der Gesamtdampfverbrauch auf das Mindestmaß verringert werden. Es würde dann der zu gewissen Zeiten auftretende Abdampfüberschuß für die Zeiten, in denen der Nutzdampfbedarf größer ist als die verfügbare Abdampfmenge, aufgespart werden. Von den Möglichkeiten und den Voraussetzungen einer derartigen Speicherung wird noch bei der allgemeinen Besprechung des Speicherproblems die Rede sein. Jedenfalls haben die großen Fortschritte auf dem Gebiete der Dampfspeicherung den Ver-

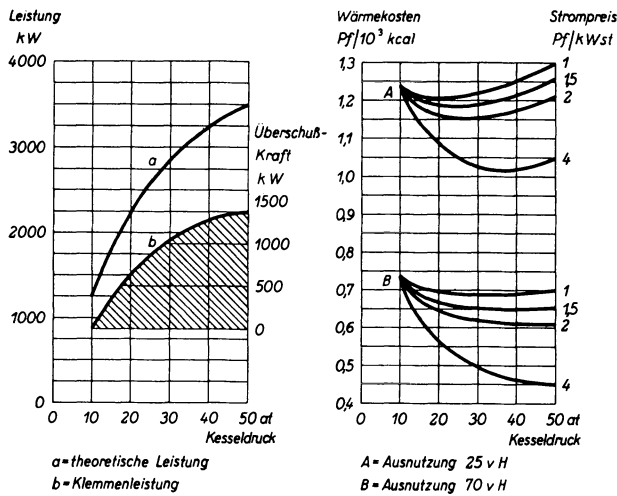


Abb. 71 u. 72. Überschulleistung und Wärmekosten einer Gegendruckturbinenanlage bei verschiedenen Strompreisen, abhängig vom Kesseldruck und Ausnützung (Prof. Kraft).

wendungsbereich der Gegendruckmaschine bzw. der Anzapf-Gegendruckmaschine bedeutend erweitert.

In den meisten Fällen liegt es nahe, die zweckentsprechende Verringerung des durch die Flächen III angegebenen Dampfverbrauches durch Verwendung der Zwischendampfentnahme erzielen zu wollen. Hierbei besteht die Möglichkeit, den Betriebsdampf mittlerer Spannung in jenen schwankenden Mengen, wie sie eben jeweils benötigt werden und innerhalb verhältnismäßig weiter Grenzen zu entnehmen. Der Rest des der Maschine zugeführten Dampfes wird in dem Niederdruckteil bis auf Kondensatorspannung weiter verarbeitet.

Die Durchführung dieses Grundsatzes hat Sonderbauarten und Teileinrichtungen gezeigt, die für die Zwecke einwandfreier Einhaltung des Entnahmedruckes bei schwankender Entnahmemenge und schwankender Gesamtleistung erforderlich wurden. Wenn die Normungsbestrebungen im Dampfmaschinen- und Turbinenbau wegen der Ver-

schiedenartigkeit der Ansprüche, die schon an die einfache Maschine gestellt werden (verschiedene Leistung, Eintrittsspannung und -temperatur, Wasserverhältnisse für die Kondensation, Tourenzahlen, Platzverhältnisse u. dgl. m.) nicht in solchem Maße zur Geltung kommen können, wie auf vielen anderen Gebieten der Technik, so ist durch die vermehrte Verschiedenartigkeit, wie sie durch die Zwischendampfentnahme bedingt ist, diesen Bestrebungen noch im erhöhten Maß Abbruch getan. Infolgedessen wird die Anzapfdampfentnahme in Ländern, wo die Normung auch im Dampfmaschinenwesen weit vorgeschritten ist, wie z. B. in Amerika, als ein die Normung erschwerender Nachteil bezeichnet. Die Wichtigkeit, richtige Verhältnisse für die Kupplung der Krafterzeugung mit der Deckung des Betriebsdampfbedarfes zu schaffen, ist aber für die gesamte Wirtschaftlichkeit einer Anlage von so ausschlaggebender Bedeutung, daß die gesonderte Behandlung jedes einzelnen Falles einer derartigen Kraftmaschine sich in Ländern mit höheren Kohlenpreisen immer verlohnt. Hierauf ist auch die weite Verbreitung, welche diese Arten von Maschinen unter den verschiedensten Namen (Heizkraftmaschine, Zwischendampfmaschine, Anzapfmaschine u. dgl.) gefunden haben, zurückzuführen. Allerdings beruht die Vorliebe für diese Maschinenbauart vielleicht manchmal auf der Äußerlichkeit, daß bei ihrer Verwendung kein Abdampf über Dach geht; denn mit der immer wachsenden Bedeutung der Abwärmeverwertung ist auch die Abscheu vor über Dach auspuffendem Dampf gewachsen, und man ist vielfach geneigt, die Wärmewirtschaft in einem Betriebe schon aus der äußerlichen Tatsache, daß man Dampf entweichen sieht, als schlecht zu bezeichnen. Dieses Urteil hat zwar meist seine Berechtigung; es ist aber schon erwähnt worden, daß es doch in einzelnen Fällen einer genauen Nachprüfung bedarf, ob die Mehrkosten, welche die Anschaffung und der Betrieb der Kondensation mit allen zusätzlichen Einrichtungen für die Zwischendampfentnahme erfordern, in einem entsprechenden Verhältnis stehen, zu der Verringerung des Dampfbedarfes, der dadurch erzielt wird. Diese Wirtschaftlichkeitsberechnung muß in allen fraglichen Fällen mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden¹⁾.

Für derartige Berechnungen, aber auch zur Hebung des Verständnisses für andere hierbei auftretende Fragen, kann man die Zwischendampfentnahme von zwei Gesichtspunkten aus betrachten, die hier deshalb eingehender besprochen werden sollen, weil die Dampfverbrauchsverhältnisse bei Zwischendampfentnahme in den Angeboten der Maschinenfabriken oft in einer Form dargestellt werden, die die Übersichtlichkeit erschwert und die eigentliche Wirkungsweise nicht er-

¹⁾ Vgl. Bd. I, S. 186 u. f. und Bd. II, S. 250.

kennen läßt. Man findet in Angeboten z. B. Angaben wie: „der Dampfverbrauch der Anzapfmaschine ist bei einer Leistung von 600 PS und bei 3500 kg Anzapfdampfentnahme 1,7 kg je PSst“. In diesem Falle ist der Krafterzeugung nur jener Teil des gesamten zugeführten Dampfes angerechnet, der sich nach Abzug des Anzapfdampfes ergibt. Der Maschine werden nämlich 4500 kg Dampf zugeführt; nachdem 3500 kg durch die Entnahme wieder gewonnen werden, verbleiben 1000 kg, auf welche die Krafterzeugung von 600 PS bezogen wird. Man findet aber auch die Angabe des Dampfverbrauches in der Form, daß die Maschine bei einer Leistung von 600 PS und einer Anzapfdampfentnahme von 3500 kg 7,5 kg je PSst benötigt. In diesem Falle ist die gesamte der Maschine zugeführte Dampfmenge von 4500 kg auf die geleisteten PSst aufgeteilt.

Ein richtiges Bild erhält man, wenn man sich die Wirkungsweise des Dampfes in der Anzapfdampfmaschine so

vergegenwärtigt, wie es durch die Abb. 73 dargestellt ist. Hier ist zu den beiden Achsen p und v des bekannten Druckvolumenschau-

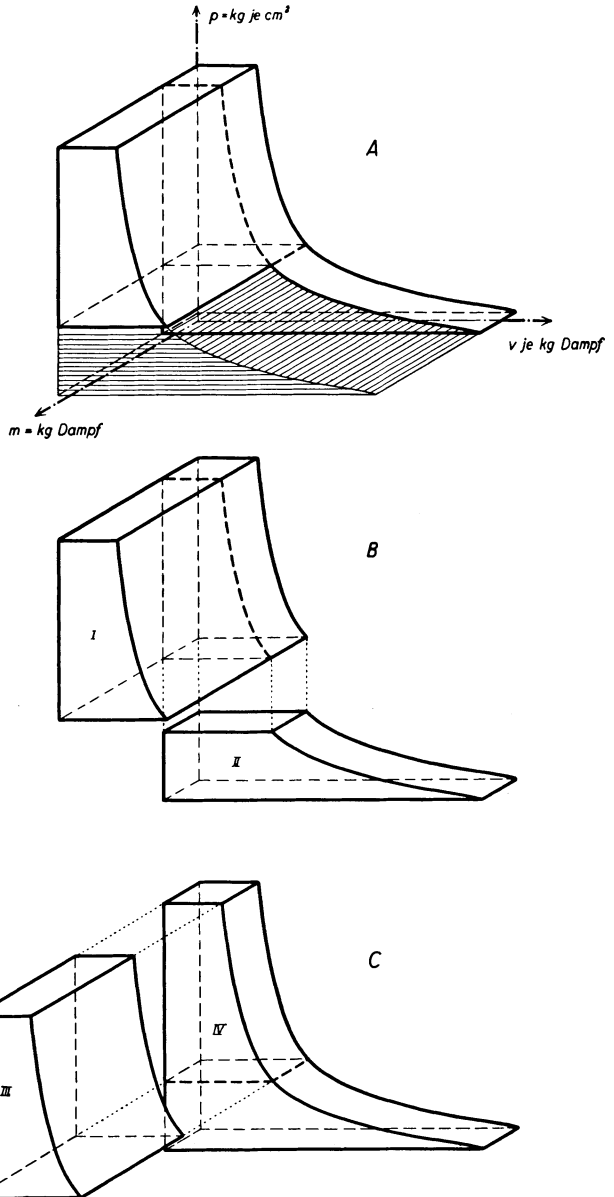


Abb. 73. Schaubild der Dampfverhältnisse in der Maschine mit Zwischendampfentnahme.

bildet noch eine dritte Achse m , welche die Dampfmenge darstellen soll, herangezogen¹⁾.

Die aus der der Maschine zugeführten Gesamtdampfmenge erzielbare Arbeit zwischen der Eintritts- und der Kondensatorsspannung ist durch den mit A bezeichneten Körper dargestellt. Der durch Schraffierung gekennzeichnete Teil dieses Körpers entfällt bei der Zwischendampfentnahme, und es bleibt ein Raumgebilde übrig, das nach zwei verschiedenen Arten (einerseits durch einen wagrechten Schnitt, andererseits durch einen senkrechten Schnitt) in zwei Teile zerlegt werden kann, wie es die Bilder B und C veranschaulichen. Man kann sich nämlich vorstellen, daß sich der gesamte einströmende Dampf zunächst bis auf die Entnahmespannung (also etwa von 15 at bis auf 2 at) entspannt und hierbei die in B durch das Gebilde I dargestellte Arbeitsmenge leistet, während sich der nach Abzug der Entnahmedampfmenge verbleibende Rest von Entnahmespannung auf Kondensatorspannung ausdehnt und hierbei die durch das Gebilde II dargestellte Arbeit ergibt.

Diese Teilung entspricht den Arbeitsleistungen jedes der beiden Zylinder einer Zweizylindermaschine mit Anzapfdampfentnahme. Es tritt beispielsweise je Stunde eine Dampfmenge von 4500 kg von 15 at in den Hochdruckzylinder ein und verläßt ihn mit der Entnahmespannung von 2 at, wobei 520 PS in diesem Zylinder geleistet werden. Von dem aus diesem Zylinder austretenden Dampf werden nun beispielsweise 3500 kg entnommen, so daß 1000 kg übrigbleiben, die von der Spannung von 2 at auf Kondensatorspannung im Niederdruckzylinder entspannt werden und hierbei etwa 80 PS leisten.

Die andere Darstellung, wie sie durch C in Abb. 73 veranschaulicht ist, geht davon aus, daß die Anzapfdampfmenge von Eintrittsspannung auf Entnahmespannung arbeitet, wobei die durch Gebilde III dargestellte Arbeitsmenge gewonnen wird, während die restliche Dampfmenge ebenfalls von Eintrittsspannung, jedoch bis auf Kondensatorspannung Arbeit leistet und die durch Gebilde IV dargestellte Arbeitsmenge ergibt. Unter der Annahme des erwähnten Beispiels würden also 3500 kg Dampf im reinen Gegendruckbetrieb von 15 at auf 2 at arbeiten und eine Kraftmenge von etwa 400 PS erzeugen, während die restlichen 1000 kg mit Eintrittsspannung im Kondensationsbetrieb von 15 at bis auf Vakuum sich entspannen, wodurch die restlichen 200 PS gewonnen werden. Besonders diese letztere Anschauung wird für die Beurteilung der Zwischendampfentnahme in verschiedenen Fällen einen wertvollen Behelf bieten; sie soll auch der folgenden allgemeinen Ableitung zugrunde gelegt werden.

¹⁾ Eine derartige Darstellung in einem Dreiachsensystem findet sich für die Entropie-Diagramme der Anzapfmaschine in dem Werk: Darling, Charles S.: Exhaust-steam engineering. London: Chapman & Hall Ltd. 1928.

Beim Betrieb mit Zwischendampfentnahme wird also ein Teil des Gesamtkraftbedarfs L im Gegendruckbetrieb (dieser Teil sei mit L_1 bezeichnet) und der Rest (L_2) im Kondensationsbetrieb erzeugt; es ist also

$$L = L_1 + L_2. \quad (1)$$

L_1 stellt jene Kraftmenge dar, deren Abdampf vollkommen für Betriebszwecke verbraucht wird, und L_2 jene Kraftmenge, die, wenn sie ebenfalls im Gegendruckbetrieb erzeugt würde, überschüssigen, also über Dach auspuffenden Abdampf ergeben würde. Ist D_g der Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine, so wäre dann $L_2 D_g$ die auspuffende Dampfmenge, entsprechend den Flächen *III* in Abb. 69. Da aber in der Maschine mit Zwischendampfentnahme diese Kraftmenge L_2 im Kondensationsbetrieb mit dem Dampfverbrauch D_k erzeugt wird, wird hierbei die Dampfmenge

$L_2 (D_g - D_k)$ erspart. Wenn z. B. der Dampfverbrauch im Gegendruckbetrieb 8,7 kg je PSst und im Kondensationsbetrieb 5 kg je PSst beträgt, ist die Ersparnis $3,7 \cdot L_2$. Es werden also vom auspuffenden Abdampf $3,7 : 8,7 = 0,425$, d. s. 42,5% erspart. In Abb. 74 ist diese Ersparnis schematisch dargestellt.

(Von der Fläche *III*, der die gleiche Bedeutung zukommt, wie in Abb. 69, wird der einfach schraffierte Teil F erspart.)

Dieser Ersparnis steht aber auch ein Mehrverbrauch gegenüber, der im Wesen der üblichen mehrzylindrigen Maschine mit Zwischendampfentnahme begründet ist. Der Niederdruckteil der Maschine darf nämlich nicht leerlaufen; eine gewisse Dampfmenge muß immer gleichsam zur Schmierung oder Kühlung durch ihn hindurchströmen. Es muß also auch während der Zeit, wo der ganze Abdampf verbraucht werden kann, eine kleine Kraftmenge im Kondensationsbetrieb erzeugt werden, was einen Dampf Mehrverbrauch bedeutet (in Abb. 74 durch den Streifen f_1 dargestellt). Außerdem wäre, falls in der Dampfverbrauchsziffer des Kondensationsteiles nicht schon berücksichtigt, auch noch der Kraftverbrauch der Kondensationseinrichtungen, bzw. der ihm entsprechende Dampfbedarf als Mehrverbrauch in Rechnung zu stellen. (Bei Dampfmaschinen ist in der Regel der Verbrauch der Kondensationseinrichtungen in der Angabe des Dampfverbrauches enthalten,

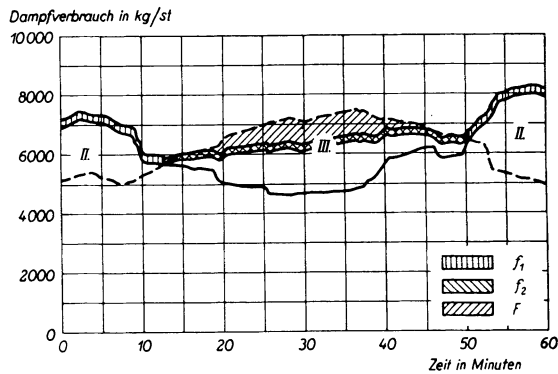


Abb. 74. Vergleichende Darstellung des Dampfverbrauches bei Gegendruckbetrieb und bei Zwischendampfentnahme.

bei Dampfturbinen, bei denen der Antrieb der Kondensation meist elektrisch erfolgt, ist dies nicht der Fall; hier sind dann je nach den Größenverhältnissen 20 bis 30 kW, bisweilen auch mehr, nur für Zwecke der Kondensation zu rechnen.) Dieser Mehrverbrauch ist hier nur in den Zeiten, die den Flächen *III* entsprechen, in Rechnung zu setzen; er ist gegebenenfalls durch einen zusätzlichen Streifen (das gekreuzt schraffierte Band f_2 in Abb. 74) darzustellen.

Die tatsächlich tägliche Ersparnis in kg Dampf ergibt sich also aus der Summe aller im Laufe eines Tages auftretenden Flächen F vermindert um die Summen aller Flächen f , das ist also $(\Sigma F - \Sigma f)$.

Diese Ersparnis ist an den einzelnen Tagen je nach den Betriebsverhältnissen verschieden. Insbesondere ist sie von der Jahreszeit abhängig. Im Winter, wo in den Heizanlagen Abdampf verwendet wird, und auch die Verluste der Wärmeverbrauchsstellen für Betriebszwecke größer sind, ist diese Ersparnis kleiner als im Sommer, wo der Bedarf an Abdampf geringer ist. Es ist daher der Ausdruck

$$(\Sigma F - \Sigma f) = E \quad (2)$$

die durchschnittliche Ersparnis, wie sie sich aus den einzelnen der Berechnung zugrunde gelegten Teilabschnitten des Jahres ergibt, in kg Dampf je Tag.

Wird nun der Dampfpriß in Mk. je Tonne mit M , die Anzahl der Betriebstage im Jahr mit z bezeichnet, so ist die Jahresersparnis in Mark

$$E \cdot z \cdot \frac{M}{1000}. \quad (3)$$

Dieser Ersparnis ist der Kapitaldienst der Mehrkosten der Maschine mit Zwischendampfentnahme im Vergleich zur Gegendruckmaschine entgegenzustellen. Sind die Gesamtkosten der Gegendruckmaschine, fix und fertig montiert, I_g Mk. und jene der Anzapfmaschinen I_a Mk., so ist der Unterschied im Kapitaldienst, bei einem zugrunde gelegten Zinsfuß von $p\%$

$$(I_a - I_g) \frac{p}{100}. \quad (4)$$

Die Zwischendampfentnahme ist also erst dann wirtschaftlicher als der Gegendruckbetrieb, wenn

$$E \cdot z \cdot \frac{M}{1000} > (I_a - I_g) \frac{p}{100}. \quad (5)$$

E ist die Dampfmenge, welche beim Betrieb mit Zwischendampfentnahme gegenüber dem reinen Gegendruckbetrieb erspart wird. Wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, kann diese Ersparnis zu etwa 40%,

unter besonders günstigen Verhältnissen (z. B. wenn der Dampfverbrauch der Gegendruckmaschine im Verhältnis zu jenem der Kondensationsmaschine wesentlich größer, als in dem hier behandelten Beispiel) vielleicht bis zu 50% jener Dampfmenge, die im Gegendruckbetrieb über Dach ginge, allgemein angenommen werden; sie läßt sich natürlich für jeden einzelnen Fall auf Grund zeichnerischer oder rechnerischer Ermittlung ziemlich genau festlegen. Nimmt man die Ersparnis mit dem höheren Wert zu 50% an, so ergibt sich aus vorstehender Formel, daß die Zwischendampfentnahme insoweit wirtschaftlich ist, als die auspuffende Dampfmenge im reinen Gegendruckbetrieb nicht größer ist als

$$2 \cdot \frac{10 \cdot (I_a - I_v) \cdot p}{z \cdot M} \text{ kg je Tag.} \quad (6)$$

Die Anlagekosten einer Gegendruckmaschine für z. B. 600 PS Leistung für 15 atü Eintrittsspannung mit entsprechend hoher Temperatur und 2 atü Gegendruck betragen in guter Ausführung etwa 40000 Mk., dazu kommen für Fundament, dazugehörige Rohrleitungen und Aufstellung etwa 15000 Mk. Die Maschine fix und fertig aufgestellt kostet also rund 55000 Mk.

Eine Dampfmaschine für Zwischendampfentnahme gleicher Größe, mit Kondensation und notwendigen Regeleinrichtungen versehen, kostet auf gleicher Preisbasis mindestens 55000 Mk., die Fundamente, Rohrleitungen und Aufstellung mindestens 20000 Mk., dazu kommen aber noch die Kosten für die Kühlwasserbeschaffung, die sehr verschieden sind, aber mindestens mit 5000 Mk. in Rechnung gesetzt werden müssen, so daß diese Maschine fix und fertig aufgestellt, rund 80000 Mk. kostet. Die Anlagekosten, also auch der Kapitaleinsatz für letztere, sind somit um fast die Hälfte größer als für erstere. Der Unterschied macht 25000 Mk. und der Kapitaleinsatz (Verzinsung und Tilgung), ferner die Instandhaltungskosten u. dgl. betragen, wenn hierfür mit 16% gerechnet wird, 4000 Mk. je Jahr.

Hierzu kommen die jährlichen Mehrkosten, die der Betrieb der Kondensation (Wasserbewegung u. dgl.) erfordert und die mit mindestens 800 Mk. angesetzt werden können, so daß der Betrieb mit Zwischendampfentnahme insgesamt 4800 Mk. jährlich mehr kostet als der Gegendruckbetrieb.

Bei einem Dampfpreis von 3 Mk. je Tonne müßte also eine Dampfmenge von mehr als $4800 : 3 = 1600$ t je Jahr erspart werden, damit die höheren Kosten der Anzapfmaschine berechtigt erscheinen. Da aber diese Ersparnis in der Regel nur höchstens die Hälfte der bei Gegendruckbetrieb auspuffenden Dampfmenge betragen kann, zeigt es sich, daß die Zwischendampfentnahme im vorliegenden Fall nicht wirtschaftlich ist, solange im reinen Gegendruckbetrieb nicht mehr als 3200 t je Jahr, also bei 300 Arbeitstagen rund 10000 kg Dampf täglich über Dach auspuffen. (Der vorangeführte Ausdruck 6 ergibt etwa 9000 kg.) Man erhält bei dieser richtigen Erwägung das nach den bisherigen Anschauungen etwas verblüffende Ergebnis, daß eine Menge von 9 bis 10 t Dampf je Tag, welche im reinen Gegendruckbetrieb über Dach auspufft, unter den hier geschilderten Verhältnissen noch nicht die Verwendung der Zwischendampfentnahme statt der reinen Gegendruckmaschine rechtfertigt.

Man muß sich hierbei vergegenwärtigen, daß der Gesamtdampfverbrauch der 600 PS Gegendruckmaschine, wenn sie während 8 Stunden im Tag durchschnittlich etwa 500 PS arbeitet, im ganzen etwa 40000 kg beträgt. Wenn also 25% des Gesamtverbrauches dieser Dampfmaschine über Dach auspuffen, ist noch

kein Grund vorhanden, statt dieser Maschine eine Maschine mit Zwischendampfentnahme zu verwenden¹⁾.

Nun bietet sich aber eine auspuffende Dampfmenge von 10000 kg im Tag dem Auge als ganz ungeheuerlich dar. Selbst wenn diese Dampfmenge ganz gleichmäßig während des Betriebes ausströmt, ergibt dies eine Dampffahne, die den Beobachter gewiß zu einer abfälligen Kritik der Wärmewirtschaft in diesem Betriebe veranlassen würde. Wenn aber diese Dampfmenge nicht gleichmäßig, sondern nur während jeweils kurzen Zeiten dagegen mit entsprechend großer Gewalt, dem Auspuffrohr der Dampfmaschine mit tosendem Geräusch entweicht, ist man geneigt, die Verhältnisse in diesem Betriebe als ganz unmöglich zu bezeichnen.

Es zeigt sich, daß die gebräuchliche Form, die verabscheuungswürdige Ausströmung ungenützten Dampfes durch Anwendung einer Maschine mit Zwischendampfentnahme zu vermeiden, bei richtiger Beurteilung aller in Frage kommenden Kosten und erzielbaren Ersparnisse nicht immer die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Bei kleineren Anlagen als sie zur ziffernmäßigen Erläuterung hier beispielsweise angeführt wurde, liegen die Verhältnisse noch ärger, denn dort ist der Unterschied in den Anlagekosten der gewöhnlichen Gegendruckmaschine gegenüber der Maschine mit Zwischendampfentnahme verhältnismäßig noch größer. Das Bild ändert sich auch nur wenig, wenn man als Anzapfmaschine nicht die übliche zweizylindrige Ausführung, sondern Maschinen neuerer Bauart mit einem Zylinder, wie sie als Sondererzeugnisse von einzelnen Firmen bereits in guter Ausführung hergestellt werden, in Betracht zieht. In den meisten Fällen wird man finden, daß die Zwischendampfentnahme nur dann wirtschaftlicher ist als der Gegendruckbetrieb, wenn die im letzteren über Dach auspuffende Dampfmenge einem verhältnismäßig hohen Prozentsatz des Gesamtdampfverbrauches der Maschine entspricht.

Aus der unter (6) dargestellten Beziehung ist auch ersichtlich, welche Umstände für die Wirtschaftlichkeit der Zwischendampfentnahme von Wichtigkeit sind. Je kleiner nämlich der durch (6) gegebene Ausdruck wird, desto eher wird die Maschine mit Zwischendampfentnahme im Wettbewerb mit der reinen Gegendruckmaschine obsiegen. Je kleiner der Preisunterschied zwischen der Anzapf- und Gegendruckmaschine und je höher die Dampfkosten sind, desto günstiger stellen sich die Verhältnisse für die Anzapfmaschine.

Insbesondere geht aber aus den vorstehenden Ausführungen hervor, wie wichtig es ist, die Ermittlung der wirtschaftlichsten Betriebsmaschine und der mit dieser zusammenhängenden Einrichtung für jeden einzelnen Fall genau durchzuführen und sich nicht auf Schlagworte wie

¹⁾ Vgl. Bd. I, S. 186 und Abb. 87. Ferner Gerbel: Zur Frage der Unwirtschaftlichkeit auspuffenden Abdampfes. Referat für die Weltkraftkonferenz. Berlin 193, Sektion 8, Ber. Nr. 169.

z. B. auf jenes der unbedingten Vermeidung von über Dach auspuffendem Dampf zu verlassen.

Eine ähnliche Erwägung wie im Vorstehenden ist aber auch dann anzustellen, wenn andere Maßnahmen als die Anwendung des Kondensationsbetriebes, bzw. der Zwischendampfentnahme zwecks Verhütung von Verlusten durch auspuffenden Abdampf zu untersuchen sind. Wenn beispielsweise jene Kraftmenge, die dem auspuffenden Dampf entspricht (L_2 im Sinne der früheren Ausführungen) durch eine andere Betriebsmaschine z. B. einen Dieselmotor oder durch Bezug von Strom aus einem Überlandnetz gedeckt werden soll, ist dem Kapitaldienst des Betrages, der für die Einrichtung dieser Betriebsmittel erforderlich ist (also die Anlagekosten des Dieselmotors, oder die Anlagekosten der elektrischen Einrichtungen mit Motoren usw.), die erzielbare Ersparnis, die hier dem gesamten auspuffenden Dampf entspricht, (Flächen *III* in Abb. 69) entgegen zu halten, wobei jedoch selbstverständlich die Betriebskosten (Rohölbedarf und Wartung des Dieselmotors, Stromkosten bei elektrischem Betrieb) von den Ersparnissen abzuziehen sind.

Durch die vorstehenden Ausführungen über die Wirtschaftlichkeit der Anzapfung im Dampfmaschinen-, bzw. Turbinenbetrieb soll zwar die Verwendungsmöglichkeit der Zwischendampfentnahme auf das richtige Maß eingeschränkt, aber keineswegs ihr großer Wert für die gesamte Kraft- und Wärmewirtschaft im Betrieb geschmälert werden. An der richtigen Stelle angewendet, bietet die Zwischendampfentnahme unzweifelhaft Vorteile. Besonders dort, wo große Kraftmengen und verhältnismäßig geringe Nutzdampfmen gen gebraucht werden, also in industriellen Betrieben mit verhältnismäßig kleiner energiewirtschaftlicher Kennziffer ist die Zwischendampfentnahme überaus wertvoll. Es erweist sich in der Regel, in Anlagen wo größere Kondensationsmaschinen vorhanden sind, für sehr vorteilhaft, eine wenn auch einfache Anzapfung zwischen dem Hoch- und Niederdruckteil vorzusehen; bei großen Dampfmaschinen lassen sich hier Dampfmen gen von 1000 bis 2000 kg und mehr je Stunde für Betriebs- oder Heizungszwecke gewinnen. Die hierdurch erzielte Ersparnis entspricht je nach den Dampf- und Spannungsverhältnissen 35 bis 45% der Anzapfdampfmenge oft auch wesentlich mehr (bis zu 60%). Die Kosten zur Einrichtung einer derartigen Anzapfung sind, insbesondere wenn man auf eine besonders empfindliche Regelung des Anzapfdruckes verzichten kann, gering.

Besondere Bedeutung hat die Zwischendampfentnahme dann auch für das Speicherproblem; die Einführung der Speicher hat das Verwendungsgebiet der Anzapfmaschine wesentlich erweitert. Hier treten die Kosten der für die Anzapfung erforderlichen besonderen Einrichtungen im Verhältnis zu den Anlagekosten und den Wert der Speicher in den Hintergrund.

IV. Das Speicher-Problem.

Die Speicherfrage ist im vorhergehenden an verschiedenen Stellen bereits vielfach gestreift worden; es wird eine zusammenfassende allgemeine Darstellung hinsichtlich der wichtigsten Merkmale am Platze sein.

Das Speichern im weitesten Sinne als Betriebsnotwendigkeit ist so alt wie die Energiewirtschaft selbst. Allerdings ist man sich in den Anfängen der industriellen Kraft- und Wärmeverwendung dieser Notwendigkeit nicht recht bewußt geworden, denn man mußte sich zunächst mit der Hauptaufgabe befassen, die Möglichkeiten für die Deckung des Gesamtbedarfes zu ermitteln und deren Wirtschaftlichkeit zu steigern. Das Problem der Anpassung der erzeugten Kraft- und Wärmemengen an die Schwankungen des Bedarfes stand weit im Hintergrund. Viele noch heute übliche Bezeichnungen, wie z. B. die der Beanspruchung der Kesselheizfläche nach der Anzahl kg Dampf je m^2/st , zeigen, daß es eben nur auf Durchschnittswerte ankam, deren Steigerung und Verbesserung die Technik beschäftigte.

Auch beim Kraftbedarf und seiner Deckung beachtete man die auftretenden Schwankungen nicht, sondern beurteilte in der Regel nur die Durchschnittsziffern, wie z. B. den Kraftbedarf einer Maschine, einer Fabrikabteilung oder eines ganzen Betriebes in Pferdekräften. Erst später sprach man von „Dauerleistung“ und von „dauernder“ bzw. „vorübergehender Höchstleistung“, wodurch aber wieder nur obere Grenzen angegeben sind und den eigentlichen Schwankungen durch ununterbrochenes Auftreten von Tälern und Spitzen noch nicht Rechnung getragen wurde.

Die alten Kesselbauarten wurden für großen Wasserinhalt ausgeführt, mit reichlichen Verdampfungsoberflächen, so daß Belastungsstöße in gewissen Grenzen aufgenommen werden konnten. Kleine Druckabsenkungen bewirkten ein Nachverdampfen in einem dem Wasserinhalt entsprechendem Maße.

Wenn eine Bedarfsspitze vorauszusehen ist, kann der Kessel rechtzeitig höher aufgespeist werden, allerdings wird hierdurch die Verdampfungsoberfläche bzw. der Wasserspiegel verkleinert, was die gesteigerte Dampferzeugung nicht fördert. Der durch den höheren Wasserstand jedoch vergrößerte Wasserinhalt macht diesen Nachteil reichlich wett, übrigens wird dann bei Eintritt der vergrößerten Dampferentnahme, bzw. bei Fallen des Wasserstandes die Verdampfungsoberfläche wieder größer. Die Speicherefähigkeit kann dadurch vergrößert werden, daß eine größere Absenkung der Dampfspannung zugelassen wird, was allerdings meist nur dort, wo der Dampf nur Betriebszwecken dient, möglich ist, worauf noch im folgenden zurückgekommen wird.

Im allgemeinen sind großer Wasserraum, große Verdampfungsflächen und das zulässige Spiel im Wasserinhalt, zwischen dem höchsten und dem niedersten Wasserstand, in Verbindung mit den zulässigen Spannungsschwankungen die Grundelemente jener geringfügigen Speicherung, die durch die Kesselbauart selbst erzielbar ist.

Die bei einigen Kesseln aufgebauten größeren Dampfsammler, von denen der Laie oft glaubt, daß sie die Aufgabe erfüllen, Dampf zu speichern, erfüllen diesen Zweck praktisch in keiner Weise. Dahingegen hat die Befeuerung von Hand aus bei einiger Geschicklichkeit des Heizers in geringem Maße die Möglichkeit geboten, die Dampferzeugung den Schwankungen des Bedarfes etwas anzupassen und, wenn dies alles nicht genügte — was meistens der Fall war —, und der Kessel bzw. der Heizer „nicht nachkam“, griff man bei den Dampf- bzw. Kraftverbrauchsstellen ein und verlangte vom Betriebspersonal eine Rücksichtnahme auf die Dampfzentrale, indem beispielsweise angeordnet wurde, daß größere Ventile zu den Dampfverbrauchern nur allmählich zu öffnen sind oder nicht zuviel Apparate auf einmal unter Dampf zu setzen sind u. dgl. mehr. Es wurden auch Einrichtungen getroffen, um den Heizer einige Zeit vor dem Auftreten größerer Schwankungen im Dampfbedarf hiervon zu verständigen, damit er rechtzeitig Vorsorge treffe, Verhältnisse, wie sie nach dem gegenwärtigen Stande der Betriebstechnik als unzulässig oder überholt zu bezeichnen sind. Denn es wird heute mit vollem Rechte verlangt, daß die Arbeit im Fabrikbetrieb ungestört und unbeeinflusst so geführt wird, wie es eben zur Erzielung bester Wirtschaftlichkeit und insbesondere bester Güte des Erzeugnisses notwendig ist. Hemmungen, die sich der Betrieb durch Rücksichten auf die Dampfzentrale auferlegen muß, beeinträchtigen den richtigen Verlauf der Erzeugungsvorgänge, verringern die Leistungen der einzelnen Betriebsabteilungen und haben oft auch einen schädlichen Einfluß auf die Güte der ausgebrachten Erzeugnisse.

Zudem bürgerten sich mit wachsender Kesselgröße und steigendem Druck immer mehr und mehr Wasserrohrkessel und andere Kesselbauarten ein, deren Wasserinhalt im Verhältnis zur Heizfläche bzw. zur erzeugten Dampfmenge wesentlich geringer war, als bei den alten Großwasserraumkesseln; dadurch wurden die Kessel an und für sich für Schwankungen in der Dampferzeugung bedeutend empfindlicher. Dies führte zu der Bauart der Speicherraumkessel, die neben den Vorteilen des Röhrenkessels die Speicherung gewisser Wärmemengen in angegliederten, großen Wasserräumen gestatteten. Diese Kesselarten konnten sich jedoch nur kurze Zeit halten. Mit der Einführung von Hoch- und Höchstdruckdampf waren hier die Grenzen rasch gezogen, denn die bei hohen Drücken nötigen Wandstärken erforderten eine bedeutende Verringerung der Trommeldurchmesser und damit des Wasserraumes,

was die Nachteile schwankender Dampfentnahme wieder voll in Erscheinung treten ließ. Das gleiche gilt von gleichzeitig zur Einführung gelangten selbsttätigen Feuerungen, durch die die Veränderungen der in der Zeiteinheit verfeuerten Brennstoffmenge meist nicht so leicht zu bewerkstelligen waren, wie es bei Handfeuerung der Fall ist. Diese Trägheit der Feuerung hat noch dadurch eine natürliche Steigerung erfahren, daß die Kessel bzw. Rostflächen und somit auch die jeweils im Feuerraum vorhandenen Kohlenmengen immer größer wurden, wodurch die Anpassungsfähigkeit noch schwerer wurde. Beim Arbeiten unter diesen Verhältnissen traten die Folgen großer Schwankungen im Dampfbedarf um so deutlicher in Erscheinung, als inzwischen auch die Durchschnittsbelastungen so groß geworden waren (Höchstleistungskessel), daß weitere Steigerungen der Dampferzeugung, wenn auch nur vorübergehend, immer mit der unliebsamen Begleiterscheinung fallender Dampfspannung verbunden waren.

Die Nachteile fallender Dampfspannung beeinträchtigen aber nicht nur den Betrieb, sondern wirken auch auf die Kesselanlage wieder zurück. Der Dampfverbrauch der Kraftmaschinen erfährt eine wesentliche Steigerung, wenn die Dampfspannung fällt. Auch bei den Dampfverbrauchern der Betriebsabteilungen steigt der Bedarf mit fallender Spannung. Zudem werden die Dampfgeschwindigkeiten in den Leitungen wegen des größeren Volumens niedergespannten Dampfes größer und, wenn überhaupt die erforderliche Menge unter diesen Umständen durch die Dampfleitungen hindurchströmt, ist ein wesentlich größerer Druckabfall als unter regelrechten Verhältnissen hiermit verbunden. Es vervielfachen sich also die Nachteile verringerter Dampfspannung. Der erhöhte Bedarf beschleunigt das weitere Fallen des Druckes am Kessel, bis dann schließlich ein Augenblick gekommen ist, wo „es nicht weiter geht“ und durchgreifende Maßnahmen (Abstellen einzelner Betriebsabteilungen) getroffen werden müssen, um die Erholung des Kessels zu bewirken. Andererseits gibt es wieder Zeiten verringerten Dampfbedarfes, wodurch allerdings meist keine unmittelbaren Störungen des Kesselbetriebes hervorgerufen werden, wohl aber durch das lärmende Dampfabblasen der Sicherheitsventile eine Unruhe in das Kesselhaus gebracht wird. Das Bedienungspersonal wendet dann gewöhnlich energische Maßnahmen an (Abstellen des Motors bei selbsttätigen Feuerungen, Schließen der Schieber, Aufspeisen der Kessel u. dgl.) und schießt hierbei meist übers Ziel.

Diese Unregelmäßigkeiten nach beiden Richtungen haben Veranlassung gegeben, sich über die Art, Größe, Dauer und sonstigen Eigenschaften der im Betriebe auftretenden Schwankungen nähere Rechenschaft zu geben, und man wird heute bei allen Studien und Untersuchungen über neu zu schaffende oder im Betrieb befindliche Kesselanlagen nicht

umhin können, den Schwankungen im Dampfbedarf volle Aufmerksamkeit zuzuwenden, was durch die immer mehr vervollkommnete Ausbildung von Einrichtungen zur Dampfmesung erleichtert wird.

Schon die einfachsten Maßnahmen der Betriebsführung von Kesselanlagen sind durch die Erkenntnisse hinsichtlich dieser Schwankungen beeinflußt. In früherer Zeit hatte der Heizer die unumstößliche Richtlinie zu beachten, daß der Wasserstand im Kessel möglichst auf gleicher Höhe zu halten ist. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedersten Wasserstand am Wasserstandsglas war verhältnismäßig gering. Wohl hatte sich schon frühzeitig die Übung eingebürgert, bei Abblasen der Sicherheitsventile möglichst die Speisepumpe anzulassen; eine planmäßige Anwendung hat dieser Grundsatz aber erst in selbsttätigen Apparaten gefunden, die bei fallender Dampfspannung das Zuspiesen von Speisewasser soweit als zulässig einstellten und bei steigender Spannung die Speiseeinrichtungen, auch wenn der Wasserstand noch nicht zu tief gefallen war, in Betrieb setzten. In Zeiten geringeren Dampfverbrauches wird also von der dem Kessel durch die Feuerung mehr oder weniger gleichmäßig zugeführten Wärme so viel als möglich zur Erwärmung des Speisewassers bis auf die Temperatur des Kesselinhaltes verwendet. Hierbei wird ein möglichst großer Spielraum zwischen dem niedersten und höchstzulässigen Wasserstand angestrebt. Es ist also, entgegen der früheren Regel, den Wasserstand auf gleicher Höhe zu halten, das Bestreben vorherrschend, durch möglichst große Schwankungen im Wasserstand die nachteiligen Folgen der Schwankungen im Dampfbedarf möglichst aufzuheben. Wie schon erwähnt, kann dies jedoch nur bei verhältnismäßig kleinen Unterschieden in der Dampfnahme von einiger Wirkung sein. Bei halbwegs namhaften Veränderungen, wie sie nahezu in jedem Betrieb vorkommen und u. a. aus den vorstehend vielfach dargestellten Schaubildern ersichtlich sind, ist durch Veränderung des Wasserinhaltes des Kessels innerhalb der durch den Wasserstand gegebenen Grenzen keine in Betracht kommende Wirkung zu erzielen; die Speicherfähigkeit des Kessels allein ist für diese Verhältnisse viel zu gering. Die wirksamere Speicherung mußte infolgedessen auf verschiedenen anderen Wegen angestrebt werden.

Schon frühzeitig hat man versucht, den Dampf von stoßweise arbeitenden Maschinen in Behältern zu sammeln, um ihn in gleichmäßigem Strom anderen Verbrauchern zuführen zu können. Die ersten derartigen Versuche wurden in der Berg- und Hüttenindustrie unternommen. Abdampf von Fördermaschinen, der noch ein bedeutendes Arbeitsvermögen besitzt, sollte einer Niederdruckturbine zur Verwertung zugeführt werden. Um die Auspuffstöße zu mildern wurde ein Gefäß zwischengestaltet (fester Raumspeicher), in dem ein bestimmtes Dampfvolumen gesammelt werden kann, so daß bei genügender Größe die

Stöße gedämpft wurden, und der Dampf dem Verbraucher gleichmäßig von hier zuströmte. Diese Einrichtung ist zwar einfach, erforderte aber, um halbwegs den Zwecken zu entsprechen, gewaltige Abmessungen. Trotzdem entstand einerseits eine Druckabsenkung, wenn die Entnahme größer war als der Zufluß, andererseits gab es schnell eine Druckerhöhung, wenn die Entnahme stockte, Erscheinungen, die auf die Gegendruckmaschine sehr unvorteilhaft rückwirkten. Die großen Abmessungen erforderten überdies sorgfältige Isolierung, um die Wärmeverluste zu vermindern. Eine wesentliche Verbesserung dieser Speicher die in Größen von 500 bis 3000 m³ Inhalt ausgeführt wurden, wurde durch die Bauart Estner-Ladewig der MAN erzielt. Eine Besonderheit dieses Systems besteht in dem Einbau in die Abgaskanäle von Kesseln oder Koksöfen, wodurch Wärmeverluste vermieden werden, und sich die Wirtschaftlichkeit wesentlich erhöhen läßt; die mittlere Spannung dieser Speicher beträgt 1,1 at. Gegen unzulässiges Über- oder Unterschreiten des Druckes ist durch entsprechende Zusatz- und Auspuffventile weitgehendste Sicherheit geschaffen.

Die Nachteile des starren Raumspeichers führten zu dem Versuch, den Dampf in gasometerähnlichen Behältern zu sammeln. Es entwickelten sich daraus die Glockenspeicher, beispielsweise nach Harlé, bei denen sich durch die in einem festen Behälter heb- und senkbar eingerichtete Glocke der Speicherraum den jeweils anfallenden Dampfmen gen selbsttätig anpaßt, so daß auch hohe Dampfstöße abgefangen werden können. Dabei blieb der Dampfdruck immer gleich hoch. Die größte Druckhöhe betrug auch hier ungefähr 1,1 at. Die Empfindlichkeit der beweglichen Teile erforderte gute Wartung und kostspielige Instandhaltung.

Immer mehr aber brach sich die Erkenntnis durch, daß eine Speicherung von Dampf unter Beibehaltung seines Aggregatzustandes unwirtschaftlich ist. Die Ausnützung der Fähigkeit von Wasser auf Siedetemperatur, die dem eingeblasenen Dampf innewohnende Wärme unter Druckerhöhung aufzunehmen und bei Drucksenkung als Dampf wieder abzugeben, ist als die für die meisten Fälle zweckentsprechendste Grundidee der Speicherung erkannt worden. Es wird also in ein wassergefülltes Gefäß Dampf eingeleitet, der im Wasser kondensiert. Das Wasser wird erwärmt, der Inhalt nimmt den der Temperatur entsprechenden Druck an, und bei Dampfentnahme entwickelt sich dann so lange Dampf, als eben die Wasserwärme hierzu ausreicht. Die Dampf bildung, die durch die Entspannung hervorgerufen wird, ist um so größer, je größer der Wasserinhalt und die Druckgrenzen sind, innerhalb deren die Dampfentnahme vor sich geht; die Dampf bildung erfolgt um so ruhiger, je größer die Wasseroberfläche ist, aus der bei Druckabsenkung die Dampfblasen austreten.

Der älteste Speicher, dem dieser Gedanke zugrunde lag, ist von Râteau erfunden und nach ihm benannt. Auch dieser Speicher diente nur einem verhältnismäßig untergeordneten Zweck, der Aufnahme des stoßweise anfallenden Auspuffdampfes zur Weiterverwendung in Niederdruckturbinen; dabei bestand aber immer noch eine Scheu davor, den Druck weit ansteigen und weit absenken zu lassen, wodurch der Verwendbarkeit enge Grenzen gesetzt waren.

Erst die weitergehende Loslösung von dem Bestreben möglichst geringer Druckunterschiede, wie sie von Dr. Ruths durchgeführt wurde, und die hieraus folgerecht erstandenen Speicherbauarten haben das gesamte Gebiet der Wärmewirtschaft beeinflusst und mit zunehmender Verbreitung des Hoch- und Höchstdruckdampfes noch besonders an Bedeutung gewonnen. Hiernach ist der Speicher ein Puffer, der an einer Stelle des Dampfnetzes eingebaut ist, um zunächst eine Vergleichmäßigung des Kesselhausbetriebes und dadurch das Arbeiten mit bestem Wirkungsgrad zu erzielen, hauptsächlich aber, um die Möglichkeit zu schaffen, daß für jeden Verbraucher jederzeit der Dampf mit genügendem Druck und in ausreichender Menge vorhanden ist.

Ähnlich dem Râteau-Speicher wird Dampf in Wasser eingeleitet, und durch Düsenanordnung mit diesem so in engste Berührung gebracht, daß die Wärmeabgabe (Kondensation) raschest erfolgt. Entgegen dem Râteau-Speicher aber wird der Druck in der Regel wesentlich höher und der Spielraum zwischen den Druckgrenzen der Füllung und Entladung wesentlich größer gehalten. Druckhöhe und Spannungsgrenzen richten sich nach dem Dampfnetz, in das der Speicher eingebaut wird. Hinsichtlich der Speichermöglichkeit sind die unteren Druckstufen vorteilhafter. Aus dem hier wiedergegebenen Schaubild Abb. 75 (aus Bd. I, Abb. 96) ist zu ersehen, welche Dampfmen gen aus 1 m³ Wasser bei einem Druckabfall von 1 at erzeugt werden können.

Wenn W der Wärmehalt des Dampfes ist, so werden $W - t$ Wärmeeinheiten benötigt, um aus Wasser von t^0 gesättigten Dampf von t^0 zu erzeugen. Die Absenkung der Temperatur des Speicherwassers um 1° gibt je kg Wasser rund 1 WE frei, woraus $\frac{1}{W-t}$ kg Dampf erzeugt werden. Die Absenkung der Temperatur um dt^0 gibt somit $\frac{dt}{W-t}$ kg Dampf je kg Speicherwasser. Die Absenkung der Temperatur von t_2^0 auf t_1^0 läßt somit

$$D = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{W-t} \text{ kg Dampf} \quad (1)$$

je kg Speicherwasser entstehen. Da nun annäherungsweise

$$W = 606 + 0,305 t \quad (2)$$

ist, errechnet sich der Wert obigen Integrals zu

$$D = - \frac{1}{0,695} \cdot \log \text{ nat} \frac{606 - 0,697 t_2}{606 - 0,697 t_1}, \quad (3)$$

und da weiters zwischen Dampfdruck p und Temperatur t die Näherungsformel gilt:

$$t = 100 \sqrt[4]{p} \quad (4)$$

ergibt sich für die beim Absenken des Speicherdruckes von p_2 auf p_1 je kg Speicher-

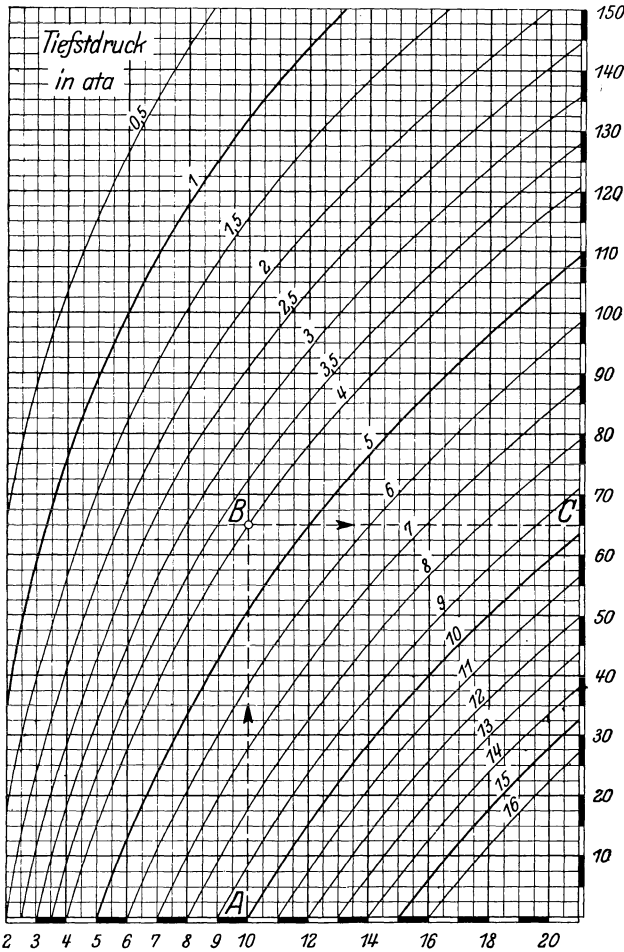


Abb. 75. Speicherfähigkeit durch Druckgefälle in kg Dampf je m³ Wasserinhalt zwischen verschiedenen Druckgrenzen.

wasser zu gewinnende Dampfmenge die Beziehung

$$D = -\frac{1}{0,697} \log \text{nat} \frac{606 - 69,7 \sqrt[4]{p_2}}{606 - 69,7 \sqrt[4]{p_1}} \quad (5)$$

oder abgerundet und auf die Tonne Speicherwasser bezogen ist die Dampferzeugung

$$D = 1430 \log \text{nat} \frac{606 - 70 \sqrt[4]{p_1}}{606 - 70 \sqrt[4]{p_2}} \quad (6)$$

Betrachtet man nun das Tagesverbrauchsdiagramm einer Fabrik, wie es z. B. in Abb. 29 bis 32 dargestellt ist, so ersieht man daraus, daß starke Schwankungen zwar nicht zu vermeiden sind, ihre Rückwirkung bis auf den Dampferzeuger aber wohl bedeutend abgeschwächt werden kann, wenn eben die Spitzen von dem Speicher gedeckt, die Täler zu seiner Aufladung herangezogen werden. Damit aber hierdurch der gewünschte Erfolg erzielt wird, kommt es nicht nur auf die richtige Größe, sondern ganz besonders auf zweckentsprechende Anordnung (Schaltung) der Speicheranlage an.

In jedem einzelnen Falle ist zunächst ein genauer Dampfverteilungsplan zu entwerfen, Dabei werden sich meist zwei oder mehrere Hauptnetze mit verschiedenen Dampfspannungen ergeben. Für jedes Netz muß nun der genaue Tagesdampfverbrauch mit seinen Schwankungen ermittelt und dementsprechend der Speicher berechnet und angeordnet werden. Im dritten Abschnitt finden sich mehrere Schemen der besprochenen Industrien, die mit Speicher arbeiten.

Aber nicht nur die nutzdampfverbrauchenden Industrien, auch in der Industrie der Stromerzeugung hat sich der Speicher allerdings später, aber doch mit nicht minderem Erfolg eingeführt. Welche vielseitigen Möglichkeiten schon auf diesem einen Anwendungsgebiet sich ergeben, zeigen die in Abb. 76 bis 79 gezeichneten Schemen, die ebenso wie die erläuternde Zahlentafel 32 der Abhandlung „Ruths-Wärmespeicher in Kraftwerken“ von Dr. Ing. Friedrich Münzinger¹⁾ entnommen sind.

Selbstverständlich gibt es auch für alle anderen Industrien ähnliche Speicherschemen. Die hohe Zahl solcher vielfach sehr stark abweichender Anordnungen zeigt, wie notwendig es ist, jede Anlage für sich zu studieren, und soll gleichzeitig davor warnen, auch Anlagen des gleichen Industriezweiges schablonenhaft zu behandeln.

Die Dampfspeicherung bzw. die Verwendung des Gefällespeichers als Puffer ist aber erst dadurch richtig möglich geworden, daß die notwendigen genau arbeitenden Einrichtungen geschaffen waren, die ganz selbsttätig die Verteilung des Dampfes in die einzelnen Netze vornehmen.

Diese Einrichtungen (Reglerventile u. dgl.), von denen es heute schon eine ziemliche Anzahl bewährter und verläßlich arbeitender Ausführungen gibt, arbeiten nach folgendem Grundsatz: Das Öffnen und Schließen des Ventils geschieht durch einen meist mit Öl betätigten Kolben. Die Ölzufuhr wird durch ein Steuerorgan geregelt. Dieses erhält den Antrieb (Impuls) zu seinen Bewegungen von jenem Dampfnetz, für dessen Versorgung das Ventil aufzukommen hat. Der Impuls wird dem Steuerorgan in der Weise übertragen, daß von der Dampfleitung eine

¹⁾ Mitt. V. El.-Werke Nr. 319.

Zahlentafel 32 (zu Abbildung 76 bis 79). Verschiedene kennzeichnende Schaltungen von Speicher und Turbine im Kraftwerksbetrieb.

Nr.	Schaltungsart	I	II	III	IV
1	Anwendungsgebiet (Kennzeichen der Belastungskurve)	Sehr hohe kurzzeitige Spitzen (5 bis 10 Min.) für Kesseldrücke bis etwa 14 ata geeignet	Kleine, aber langdauernde Spitzen, gespeicherte Energie ist kleiner Bruchteil der insgesamt erzeugten. Für hohe Kesseldrücke geeignet	Gespeicherte Energie ist erheblicher Bruchteil der insgesamt erzeugten. Kleine Grundlast. Für hohe Kesseldrücke geeignet	Große langdauernde Spitzen. Für hohe Kesseldrücke geeignet. IV A für kleine Grundlast oder Erweiterung IV B für große Grundlast
2	Durchschnittliche Speicherleistung in kWst	150 bis 300 kWst. Bei größerer Speicherleistung ist Niederdruckspeicher billiger	≤ 3000 kWst	≤ 3000 kWst	≤ 3000 kWst
3	Bedingt Speicherwirkung Drosselverluste?	Fall A: Nein Fall B: Ja	Wärmegefälle wird teilweise gedrosselt (Zwischen p_k und p_T)	Geringere Drosselverluste als nach Schaltung II A und II B	Nein
4	Vorteilhafter höchster Speicherdruck in ata	≤ 10 bis 14 ata	≤ 10 bis 12 ata	≤ 7 ata	≤ 4 ata
5	Differenz zwischen Lade- und Entladendruck at	≤ 3 at Begrenzt durch Dampfquerschnitt i. d. Turbine	Bis zu 8 at	≤ 5 at	~ 3 at
6	Ist besondere Speicherturbine notwendig?	Nein	Fall A: Ja Fall B: Zwiendruck statt gewöhnlicher Kondensationsturbine	Nein	Von örtlichen Verhältnissen abhängig
7	Bleibt Kesseldruck konstant?	A: p_{k_1} = variabel B: p_{k_1} = konstant p_{k_2} = variabel	Ja	Ja	Ja
8	Arbeitsweise		X_1 öffnet, wenn p_k größer als normal X_2 öffnet, wenn p_k kleiner als normal	X_1 öffnet, wenn p_1 größer als normal X_2 öffnet, wenn p_2 kleiner als normal	B: X_1 und X_2 können nicht gleichzeitig öffnen A: Turbine deckt Grundlast und Spitzen B: T, deckt Spitzen T deckt Grundlast

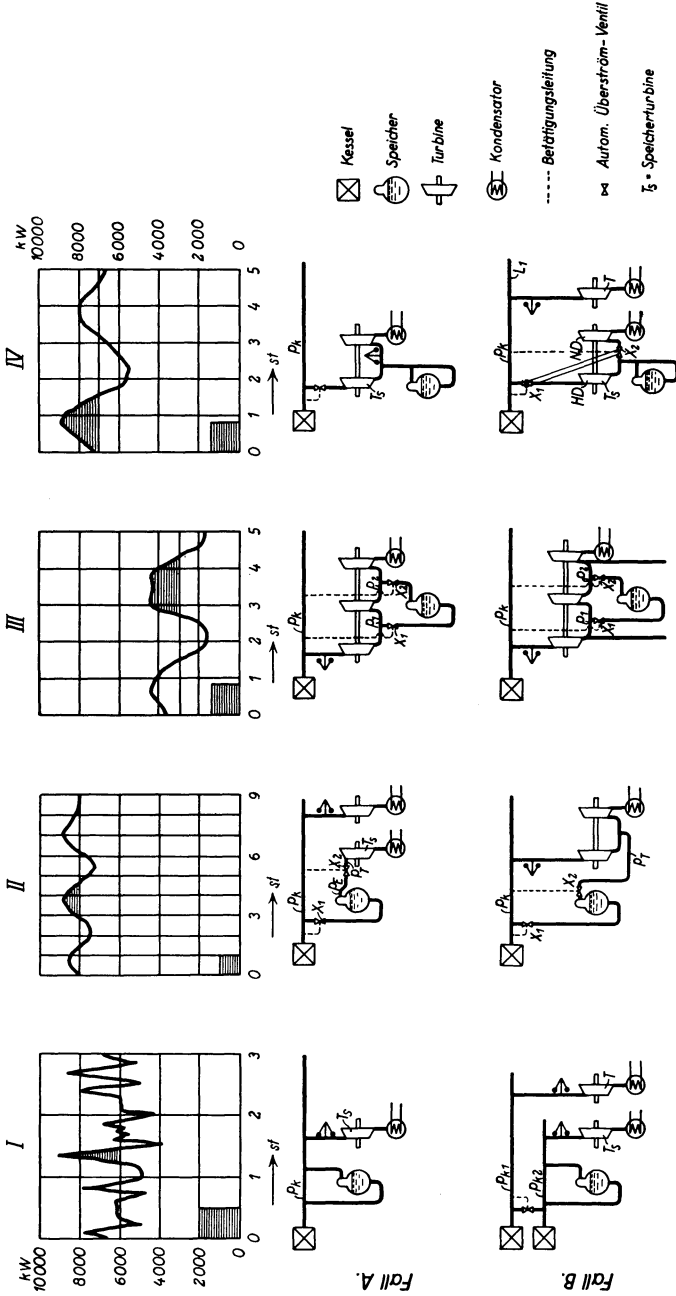


Abb. 76 bis 79. Schema von Rührs-Speicher-Schaltungen für verschiedenartige Belastungsfälle (Münzinger).
 I. Sehr einfache Anordnung, Spitzenhöhe über Mittelast, nur begrenzt durch Turbinenleistung; II. Größe der Spitzen begrenzt durch Leistung von T_2 ; III. Möglichkeit der Entnahme großer Heizdampfmenngen von den Drücken p_1 und p_2 .

Leitung zu einer Membrane führt, der auf der anderen Seite durch eine entsprechende Feder das Gleichgewicht gehalten wird. Die Be-

wegungen der Membrane werden durch Gestänge dem Steuerorgan übermittelt.

Ein Beispiel wird die Wirkungsweise eines solchen selbsttätigen Reglerventiles einfacher Bauart klar vor Augen führen: Es sei in einem Dampfnetz ein Druck von 3 at gleich hoch zu halten. In diesem Falle wird die Impulsleitung des Ventiles an das 3-at-Netz angeschlossen. Bedingung ist, daß vor dem Reglerventil ein Druck gleich oder größer als 3 at herrscht. Sinkt nun in der Impulsleitung der Druck, dann überträgt sich dies auf die Membrane. Das Steuerorgan wird betätigt, das Öl hebt den Kolben und damit den Ventilteller, Dampf strömt in das 3-at-Netz ein. In dem Augenblick, wo der notwendige Höchstdruck im Netz erreicht wird, erfolgt über Impulsleitung, Membraneorgan und Ölkolben ein Schließen des Ventiles. Dieser Vorgang vollzieht sich regelmäßig. Es werden Ventilausführungen besonders bevorzugt, bei denen die Bewegungen im Ventil nur gedämpft zum Ausdrucke kommen, so daß praktisch auch tatsächlich ein Gleichhalten des Druckes in dem Netz möglich wird. Ein Regelventil der geschilderten Art gehört zu den einfacheren Ausführungen.

Im Speicherbetrieb ergibt sich aber oft die Notwendigkeit, auch doppelt und dreifach gesteuerte Ventile zu verwenden. Erstere haben den Zweck, nicht nur im Verbrauchsnetz den Druck gleich zu halten, also nicht nur jedesmal zu öffnen, wenn dieser Druck sinkt und zu schließen, wenn er ansteigt, sondern sie werden auch dazu benutzt, in dem Dampfabgabennetz ein Ansteigen des Druckes zu verhüten, also als eine Art Sicherheitsventil zu wirken, wenn der Druck über die höchstzulässige Grenze steigt.

Die dreifach gesteuerten Ventile werden vielfach auch als Speicherladeventile bezeichnet.

Ein solches Ventil kommt beispielsweise in Abb. 26 vor. Die dreifache Steuerung dient dabei folgenden Zwecken:

1. Im 8-at-Netz jede Drucküberschreitung zu vermeiden und beim Ansteigen den Überschußdampf in den Speicher abzuleiten,
2. den Speicher abzusperrern, wenn der höchstzulässige Druck darin erreicht ist, so daß eine Überladung des Speichers unmöglich wird und endlich
3. zu vermeiden, daß eine übermäßige Dampfantnahme aus dem Speicher unter die zulässige tiefste Grenze stattfindet. In diesem Falle also muß das Ventil öffnen, ohne Rücksicht darauf, ob im 8-at-Netz der Druck dabei fällt oder nicht.

In Abb. 80 ist das Schema eines Reglers dargestellt, wie er von der Fa. Schumann & Co., Leipzig, hergestellt wird. Es bedeutet *A* die Vorsteuerung oder das Relais, *B* die Druckölsteuerung und *C* den Servomotor. In *A* werden Änderungen des Dampfdruckes in Änderungen des Öldruckes jedoch mehrfach vergrößert umgesetzt; durch den Öldruck erfolgt dann die Betätigung der Ventilspindel. In Abb. 81 ist die Ausführung eines Relais wiedergegeben, das bei Ventilen für vereinigte Überström- und Druckminderungsantriebe zur Anwendung kommt.

In zahlreichen Arbeiten, die über das Speicherproblem aus Kreisen der Erzeuger, aber auch aus Kreisen von Sonderfachleuten verschiedener Industriezweige vorliegen, ist das ganze Gebiet der Speichertechnik von verschiedenen Gesichtspunkten aus eingehend behandelt, und es wird

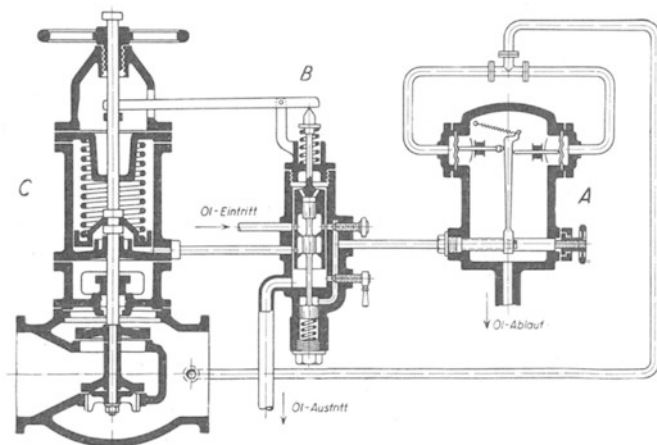


Abb. 80. Schema eines AVA.-Reglerventiles.

kaum einen Industriezweig geben, für den die Vorteile der Speicherung in dieser Weise nicht ausführlich erläutert werden. So vorsichtig sonst derartige, meist in schön ausgestatteten Heften verbreitete und den Interessenten kostenlos zugeschickte Abhandlungen aufzunehmen wären, sind auf diesem Gebiete die Ausführungen im allgemeinen sachlich gehalten, wie denn überhaupt auch in reinen Werbeschriften in letzter Zeit die marktschreierische und sinnlose Anpreisung einer gediegeneren auf wissenschaftlicher Grundlage stehenden und mehr oder weniger volkstümlichen Darstellung der tatsächlichen Verhältnisse zu weichen scheint. Dies gilt insbesondere von den neueren Gebieten der technischen Praxis, zu denen auch die Speicherung gehört. Der Grund dieser höheren Auffassung der Werbeschriften liegt gewiß zum großen Teil darin, daß die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen auch von dem im Fabrikbetrieb tätigen Praktiker immer höher gewertet werden und die wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht mehr als die in einem

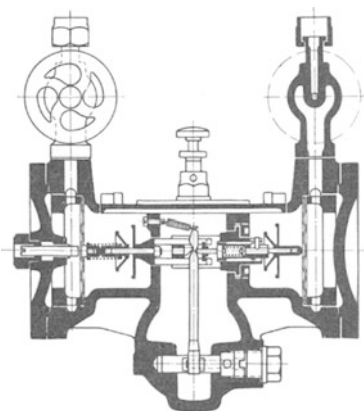


Abb. 81. Relais eines AVA.-Reglerventiles.

Gegensatz zur Praxis stehende Theorie bezeichnet, sondern als ein wichtiger Hauptpunkt für den Fortschritt der Technik anerkannt werden.

Der aus dem Speicher entnommene Dampf ist naturgemäß trocken gesättigt. Um diesen Dampf gegebenenfalls auch für Kraftzwecke besser ausnützen zu können, kann er auch je nach Bedarf überhitzt werden. Zu diesem Zwecke sind Sonderbauarten von Überhitzern, die mit Abgasen von Kesseln oder Öfen beheizt werden, geschaffen worden. Diese Einrichtungen sind dort von Vorteil, wo es sich als notwendig erweist, Nutzdampf von zweierlei Drücken zu verwenden. Der Dampf höherer Spannung wird gespeichert und nachdem er zum Teil nochmals überhitzt und in einer Kraftmaschine zur Arbeitsleistung verwendet wurde, auf die niedrigere Druckstufe gebracht und dem zweiten Nutzdampfnetz zugeführt.

Die technischen Vorzüge der Ruths-Speicheranlagen sind aus den besonders im dritten Abschnitt vielfach ausgeführten Beispielen zu ersehen, und es geht daraus hervor, daß ihre Einfügung in bestehende oder aber in Neuanlagen oft beträchtliche Vorteile bringen kann. Allerdings können sie nicht für alle erdenklichen Zwecke schablonenhaft zur Anwendung gelangen. Es handelt sich meist um bedeutende Anschaffungsbeträge. Eine genaue Berechnung der Wirtschaftlichkeit von allen in Frage kommenden Gesichtspunkten aus ist notwendig; sie wird meist die Höhe der Anschaffungskosten rechtfertigen.

Die Tatsache, daß bei überanstrengtem Kesselbetrieb die Speisung mit weniger erwärmtem Wasser stärkere Druckabsenkungen verursacht, hat zur Einführung von Heißwasserspeichern geführt, die im wesentlichen nichts anderes als eine Vergrößerung des Kesselwasserraumes darstellten. Die gespeicherte Wärme kommt hier nicht in Form von Dampf zur Verwendung, sondern als hochoverhitztes Speisewasser.

Die erste Verwirklichung dieses Gedankens erfolgt durch Druitt Halpin, später dann durch Christians und ferner in der bekanntesten Schaltung nach Dr. Kiesselbach. Die Abb. 82 zeigt die Kiesselbach-Anordnung, aus der auch die Arbeitsweise klar zu ersehen ist. Die Dampf Räume von Kessel und Speicher sind verbunden, ebenso die Wasserräume, letztere jedoch mit Zwischenschaltung einer Umwälzpumpe. Außerdem führt eine Überlaufleitung vom Kessel zum Speicher. Dadurch wird der Wasserstand im Kessel immer gleichhoch gehalten. Bei geringem Dampfbedarf steigt im Kessel das durch die Speisepumpe eingebrachte Wasser und fließt in den Speicher ab, bei höherem Dampfbedarf sinkt das Wasser im Kessel und durch die Umwälzpumpe muß dann Speicherwasser zugeführt werden, während die Kesselspeisepumpe abgestellt wird. Statt der Umwälzpumpe kann auch ein selbsttätig arbeitender Rückspeiser verwendet werden, dessen Abdampf für die unmittelbare Anwärmung des Frischwassers herangezogen wird, da er

ölfrei ist. Die Vorteile dieser Anordnung sind klar: Vor allem sind ihre Bestandteile in bestehenden Anlagen meist bis auf wenige Teile gegeben (alte Kessel oder dgl.); ihre Zusammenstellung erfordert auch keine besonderen Kosten, solange es sich um keine zu hohen Betriebsdrücke handelt. Die Arbeitsweise ist sehr einfach und auch dort verläßlich, wo nicht selbsttätig arbeitende Steuereinrichtungen verwendet werden. Die Betriebsbeobachtungen mit solchen Anlagen geben gute Ergebnisse; wenn auch noch keine Veröffentlichungen über genaue Versuche vorliegen, werden doch vielfach Leistungserhöhungen von Kesselanlagen bis zu 20% genannt. Ob dieser Vorteil zur Geltung kommen kann, ist in vielen Fällen fraglich, denn die Kessel sind besonders in älteren

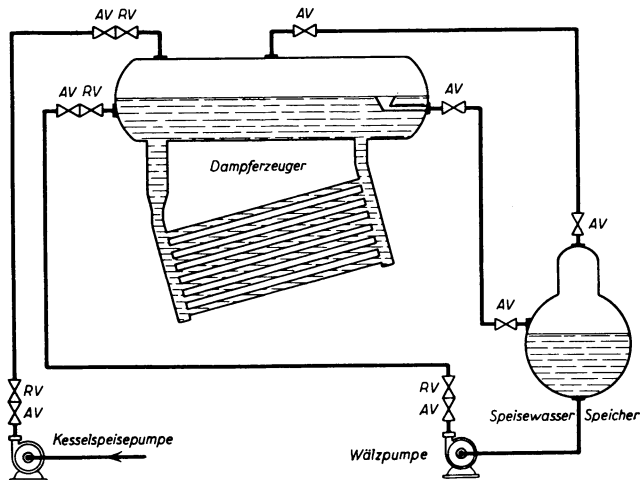


Abb. 82. Anordnung der Kiesselbachspeicherung.

Anlagen oft nicht für solche Leistungssteigerungen geeignet; die spezifische Leistungserhöhung führt dann zu starker Dampfeuchtigkeit, durch die wieder die Überhitzung leidet; bisweilen sind übrigens auch die Anschlüsse so knapp bemessen, daß sich die Vorteile gar nicht auswirken können. Ein weiterer schwerwiegender Nachteil ist jedoch in dem Umstand zu suchen, daß, wie schon angedeutet, die Anlagekosten meist nur dann in zulässigen Grenzen bleiben, ins solange die Dampferzeuger nicht mit Hoch- oder Höchstdruck arbeiten. Da im Speicher der gleiche Druck herrscht, wie im Dampferzeuger, mit dem er unmittelbar in Verbindung steht, kommt man auf sehr teure Speicherausführungen oder auf zu kleine Abmessungen, die den erwünschten Zweck nur ungenügend erreichen lassen. Tatsächlich sind auch die meisten Speiseraumspeicher dort in Verwendung, wo es sich um Nieder- oder Mitteldruckanlagen handelt und vorhandene alte Kessel herangezogen werden konnten. Es ist meist ausgeschlossen, daß im Einzel-

fall der Speiseraumspeicher mit dem Gefällspeicher in Wettbewerb treten kann, schon aus dem Grunde, weil das Anwendungsgebiet beider ziemlich genau umgrenzt ist. Besonders große Augenblicksspitzen können nur durch den Gefällspeicher bewältigt werden sowohl bei anfallenden als auch bei erforderlichen Wärmemengen (Zellstofffabriken, Lederfabriken). Der Speiseraumspeicher wird dort am wirtschaftlichsten sein, wo die durch Belastungsschwankungen entstehenden Druckabsenkungen des Kessels von Nachteil sind und sich überdies die Bedarfsspitzen nur in einem dem geringen Speicherinhalt entsprechenden Verhältnis bewegen, also entsprechend klein sind.

Mit der ausführlicheren Besprechung dieser zwei Vertreter der Speicherhauptgruppen ist dieses Gebiet noch lange nicht erschöpft. Immer wieder tauchen neue Schaltungen auf, die jedoch im allgemeinen alle die zwei Hauptgrundgedanken (Gefälle- und Speiseraumspeicher) aufweisen, durch Änderungen in der Anordnung aber mehr oder weniger brauchbare Verbesserungen darstellen. Eine solche Ausführungsart ist beispielsweise die Vereinigung der zwei Systeme, indem aus dem Gefällspeicher auch das Speisewasser für die Kesselanlage entnommen wird, eine Anordnung, die im Gegendruckbetrieb gegebenenfalls Vorteile ergibt.

Für die Dampfspeicherung in der vorbeschriebenen Weise ist es vollkommen gleichgültig, auf welche Art der Dampf erzeugt wird. Es kann also natürlich auch Dampf gespeichert werden, der aus Kesseln stammt, die elektrisch beheizt werden. Wenn z. B. sehr billiger Nachtstrom zur Verfügung steht, der die Erzeugung von Dampf wirtschaftlich erscheinen läßt, kann der in der Nacht auf diese Weise erzeugte Dampf für die Anwendung bei Tag in einem Speicher aufgespeichert werden. Wenn kein Dampf sondern nur Warmwasser tagsüber benötigt wird, kann dann der Speicherdampf zur Warmwassererzeugung verwendet werden, oder es kann die Wärmespeicherung in Form von Wasser erfolgen, indem in Elektrokesseln nicht Dampf, sondern nur Heißwasser erzeugt wird. Einrichtungen dieser Art sind dort, wo sehr billige Wasserkraftenergie zur Verfügung steht, z. B. in der Schweiz, auch tatsächlich schon in Anwendung.

Die Speicher können aber in Verbindung mit Elektrodampfkesseln auch zu dem Zwecke benutzt werden, um bei schwankendem Dampfbedarf eine möglichst gleichmäßige Erzeugung, unter möglichst vollkommener Ausnützung der zur Verfügung stehenden Strommenge zuzulassen. Eine amerikanische Zellulose- und Papierfabrik, welche täglich mehr als 200 t Zeitungspapier erzeugt und einen durchschnittlichen Dampfbedarf von rund 35 t je Stunde hat, erzeugt den ganzen Dampf in Elektrodampfkesseln, welche zur Erzeugung dieser Dampfmenge 32000 kW an Strom, der aus einer Wasserkraftanlage bezogen wird,

verbrauchen. Diese beiden Dampferzeuger dürften die größten Elektrodampfkessel sein, die bisher gebaut wurden. Damit nun die zur Verfügung stehende Strommenge ununterbrochen und voll ausgenützt wird, trotz der mit dem Betriebe der Zellulosefabrik zusammenhängenden großen Dampfbedarfsschwankungen sind Ruths-Speicher mit einem Fassungsvermögen von etwa 18000 kg, zwischen den Druckgrenzen von 10,5 und 1,8 atü arbeitend, eingebaut¹⁾.

Die Wärmespeicherung ist aber nicht unbedingt an Dampf oder Heißwasser gebunden. Es kann die Wärme auch in anderen Körpern gespeichert werden; so können z. B. Wärmespeicher für Entnahme von Warmluft, sogenannte feste Wärmespeicher, durch elektrische Heizung auf verhältnismäßig hohe Temperaturen aufgeheizt werden. Die auf diese Weise aufgespeicherte Wärme wird dann an die zu erwärmende Luft, welche durch diesen festen Wärmespeicher etwa durch eingebaute Rohre oder dgl. hindurchzieht, übertragen. Die Aufheizung kann auch durch Rauchgase erfolgen; Wärmespeicher dieser Art sind ja in gewissem Sinne der Backofen oder der Kachelofen, dann die in der Eisenhütten-Industrie verwendeten Regeneratoren u. dgl. m.

Vorstehende Ausführungen sollen dartun, welche vielfache Verschiedenheit in der Speichermöglichkeit besteht, und welche Vorteile die richtige Anwendung von Speichern verschiedener Bauart für die gesamte Kraft- und Wärmewirtschaft bietet. Weder die allgemeinen Darlegungen, noch auch die angeführten Beispiele können das Gesamtgebiet des Speichers auch nur annähernd erschöpfen, weil nahezu jede einzelne Anlage ein Problem für sich darstellt und ihre Eigenarten in der Frage der Speicherung aufweist. Jeder einzelne Fall erfordert jedoch eine eingehende Prüfung nach der Richtung hin, die größten Vorteile der Speicherung mit den geringsten Aufwendungen zu erzielen. Unter den Vorteilen ist aber nicht nur die erzielbare Wärmeersparnis bzw. die Ersparnis im Brennstoffkonto zu berücksichtigen. Es sind die großen Vorteile, welche der Fabrikation daraus erwachsen, daß sie ständig über die benötigten Dampfmenngen verfügen kann, ganz besonders zu beachten.

V. Die Aufteilung der Dampferzeugungskosten auf die einzelnen Abteilungen eines Betriebes.

Für die richtige Verrechnung im Betriebe ist die Aufteilung der Dampf- bzw. Kohlenkosten auf die einzelnen Abteilungen oft von großer Wichtigkeit. Eine derartige Aufteilung genau zu machen, stößt in neuzeitlichen Anlagen auf um so größere Schwierigkeiten, als ein und dieselbe Dampfmenge zunächst zur Krafterzeugung und dann zur

¹⁾ Näheres s. Power Pl. Engg, Bd. 64, S. 688. 1926.

Deckung des Wärmebedarfes im Betriebe verwertet wird und das Verhältnis des Kraftbedarfes zum Dampfbedarf in den einzelnen Betriebsabteilungen natürlich ganz verschieden ist. Rechnet man einer Abteilung die dort für Koch-, Heiz-, Trocken- oder sonstige Zwecke verbrauchte Dampfmenge ganz an, so wird hierdurch eine andere Abteilung, welche die aus diesem Dampf vorher erzeugte Kraft verbraucht, ungerechtfertigterweise in der Verrechnung bevorzugt. Umgekehrt ist es ebensowenig berechtigt, den der Kraftmaschine zugeführten Dampf ausschließlich der Krafterzeugung anzurechnen, wenn der die Maschine verlassende Abdampf in anderen Betriebsabteilungen weiter verwertet wird. Noch verwickelter gestalten sich die Verhältnisse, wenn mit zweierlei Krafterzeugung zu rechnen ist, sei es, daß eine Gegendruckmaschine mit einer Kondensationsmaschine zusammen arbeitet, oder daß Zwischendampf entnommen wird, sei es, daß verschiedenartige Kraftquellen und auch noch außerdem Strombezug von auswärts in Frage kommen.

Mit Rücksicht auf diese Vielfältigkeit kann eine einheitliche Richtlinie für einen möglichst gerechten Aufteilungsschlüssel, der alle denkbaren Fälle umfaßt, nicht gegeben werden. Übrigens enthält jeder derartige Aufteilungsschlüssel gewisse Ungenauigkeiten, die wegen der Einfachheit seiner Verwendung in Kauf genommen werden müssen.

Im nachfolgenden wird für den Fall einer Dampfmaschine (Turbine) mit Zwischendampfentnahme ein Beispiel der Aufstellung eines Aufteilungsschlüssels für die verschiedenen Abteilungen eines Betriebes gebracht, das sinngemäß auch für andere Fälle Unterlagen bietet.

Eine Aufteilung der Kraft- und Wärmekosten auf die einzelnen Abteilungen ist natürlich nur möglich, wenn für jede Abteilung der Kraftverbrauch (etwa in kWst durch elektrische Zähler gemessen) und der Dampfverbrauch (etwa durch Dampfmesser gemessen) ermittelt werden kann. Bezeichnet nun:

K den Gesamtkohlenverbrauch eines Tages in kg,

D die gesamte Dampferzeugung eines Tages in kg (z. B. Wassermesserrangabe),

L_a, L_b, L_c, \dots den Stromverbrauch der Abteilungen a, b, c, \dots in kWst, an dem betreffenden Tag, ferner

F_a, F_b, F_c die Nutzdampfmenge in kg vor Betriebsbeginn der Kraftmaschinen (d. i. also z. B. Heizdampfbedarf) verschiedener Art, der, da die Betriebsmaschine noch nicht angelaufen ist, durch Frischdampf zu decken ist und schließlich

E_a, E_b, E_c jene Nutzdampfmenge in kg, die nach Anlassen der Betriebsmaschine verbraucht wird,

so lassen sich aus diesen Angaben, die Tag für Tag in einem Betriebsrapport enthalten sein können, folgende Berechnungen anstellen:

1. Die Verdampfung an diesem Tage ist

$$v = D : K. \quad (1)$$

2. Aus dem bekannten Kohlenpreis von Z Mk. je Tonne läßt sich der Dampfpreis P je t aus

$$P = \frac{Z \cdot K}{D} \quad (2)$$

berechnen.

3. Bei Entnahmedampfbedarf ergeben sich, wenn für 1 kWst 15 kg Dampf anfallen, also einem kg Entnahmedampf 1:15 = 0,07 kWst entsprechen, praktisch 0,07 E_a , 0,07 E_b usw. als kostenlose Kraft, und es bleibt daher für die Erzeugung im Kondensationsbetrieb ($L_a - 0,07 E_a$) kWst, ($L_b - 0,07 E_b$) kWst usw. Rechnet man den Dampfbedarf für diese Leistungen mit 5 kg je kWst, dann ergibt sich die gleichwertige Dampfmenge zu ($L_a - 0,07 E_a$) · 5, usw.

4. Die der Abteilung a anzurechnenden Kohlenkosten je Tag betragen somit:

$$p_a = [F_a + E_a + (L_a - 0,07 E_a) \cdot 5] P \cdot \frac{1}{1000} \quad (3)$$

Weiter ist auf die einzelnen Abteilungen die Aufteilung der sonstigen Unkosten (Regien) vorzunehmen. Man ermittelt daher einen Unkostenanteil R je Tag in der Weise, daß man die Jahresunkosten: Amortisation, Verzinsung, Erhaltungskosten, Betriebspersonal (Maschinist, Heizer, Elektriker), Schmier- und Putzölverbrauch und verschiedene kleinere Ausgaben, zusammenfaßt und durch die Zahl der Arbeitstage teilt.

Sodann ist dieser Unkostenanteil auf die einzelnen Abteilungen im Verhältnis des Kohlenverbrauches aufzuteilen. Er ist also z. B. für die Abteilung a

$$R_a = \frac{R}{D} \cdot p_a = k \cdot p_a \quad (4)$$

$\frac{1000}{1000} \cdot P$

Hierin stellt k das Verhältnis der Unkosten zu den Kohlenkosten dar, u. zw. ist:

$$k = \frac{1000 R}{D \cdot P} = \frac{1000 R}{Z \cdot K} \quad (5)$$

k ist für die regelrechten Betriebstage immer ziemlich gleich. Sie kann auch aus den Gesamt-Jahresunkosten und den Gesamt-Jahreskohlenkosten ein für allemal festgestellt, und nur, wenn größere Veränderungen eintreten, nachgeprüft und richtiggestellt werden; die Verhältniszahl k stellt einigermaßen eine Betriebskonstante dar.

Sonach sind die Kosten für Kraft und Wärme einer Abteilung in einfacher Form gegeben durch:

für Abteilung a	$p_a \cdot (1 + k)$
„ „ b	$p_b \cdot (1 + k)$
„ „ c	$p_c \cdot (1 + k)$ usw.

Die Genauigkeit, die durch vorstehende Berechnungen erzielt wird, wird für die praktische Verwendung der Ergebnisse in der Regel vollkommen ausreichen. Eine weitergehende Genauigkeit ist auch schon deswegen nicht möglich, weil wir auf dem Gebiete der reinen Dampf-messung nicht über Meßgeräte verfügen, welche in allen in der Praxis vorkommenden Meßbereichen mit genügender und gleichmäßiger Genauigkeit arbeiten, d. h. die Meßgeräte, die beispielsweise für Dampf-mengen von 1000 bis 2000 kg noch mit einiger Genauigkeit arbeiten, sind bei Dampf-mengen von 500 kg oder weniger bereits mit verhältnismäßig großen Meßfehlern belastet. Außerdem sind die Fehler um so größer, je schwankender der Druck in den gemessenen Leitungen ist. Es ergibt sich zwar schon hieraus gewöhnlich eine Fehlerquelle, die aber doch zum Teil durch die Nachprüfung der Gesamtverbrauchsmessung,

die nur durch die Speisewassermessung genauer erfolgt, verbessert werden kann. Auch Kondensatmessungen an einzelnen Verbrauchern werden im Zusammenhang mit Schätzungen und den Angaben der Dampfuhren mit der Zeit ein annähernd richtiges Bild über die Verteilung auf die einzelnen Betriebe ergeben.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die Dampfverbrauchsziffern, die in den vorstehenden Richtlinien mit 15 kg je kWst für den Gegendruckbetrieb und 5 kg je kWst für den Kondensationsbetrieb beispielsweise angenommen sind, in jedem einzelnen Fall den tatsächlich zur Verfügung stehenden Betriebsmitteln entsprechend richtig einzusetzen sind. Wenn dies geschieht und wenn auch bei der Verfertigung der Tagesberichte und bei der Verarbeitung der fortlaufenden Aufschreibung der Meßgeräte mit der notwendigen Sorgfalt vorgegangen wird, muß die Aufteilung nach den hier gegebenen Richtlinien eine genügend verläßliche Grundlage für die Selbstkostenberechnung ergeben.

So wertvoll nun auch derartige auf jeden einzelnen Tag unterteilte Erhebungen sind, darf nicht vergessen werden, daß gewisse Verschiedenheiten in diesen Ermittlungen unvermeidlich sind, so z. B. ist der Dampfverbrauch im Winter, mit Rücksicht auf die Heizung, ein größerer als im Sommer, und es kann sich in vielen Fällen dieser Mehrverbrauch in einer beträchtlichen Erhöhung der Selbstkosten ausdrücken. Ebenso wird es für die Gesamtheit der Kosten für Kraft und Wärme von Bedeutung sein, ob Trockeneinrichtungen im Winter mit großem Dampfverbrauch arbeiten müssen, ob im Sommer die Trocknung wesentlich weniger Dampf erfordert oder vielleicht gar durch eine gewöhnliche Lufttrocknung ersetzt wird. In anderen Industrien kann wieder der Kälteverbrauch von Bedeutung sein, wobei in der Regel der Kälteaufwand im Sommer wesentlich größer ist als im Winter. Diese und viele andere in den Arbeitsverfahren selbst begründeten, von Jahreszeit und Witterung abhängigen Verhältnisse, können in den Tag für Tag berechneten Gestehungskosten von Kraft und Wärme Unterschiede hervorrufen, die natürlich nicht wundernehmen oder gar zu Bemängelungen und umfangreichen Nachprüfungen Veranlassung geben dürfen. Aber auch Verschiedenheiten in der Beschaffenheit der Kohlen, die bei gleichem Preis und gleicher Herkunft auftreten können (beispielsweise davon herrührend, daß die Kohle im Winter im gefrorenen Zustand einlangt oder durch längere Lagerung weniger heizkräftig geworden ist oder dgl.), begründen bisweilen Unterschiede in den täglichen Gestehungskosten-Berechnungen. Durch die vorstehenden Einschränkungen soll jedoch der Wert einer derartigen täglichen Überprüfung nicht herabgesetzt werden; sie sollen nur die Feststellung der Ursachen von Verschiedenheiten in den einzelnen Tagesberechnungen erleichtern. Wenn derartige, in unveränderbaren Verhältnissen begründete Ur-

sachen für eine plötzliche Steigerung der Gestehungskosten nicht vorhanden sind, wird man im Betriebe selbst die entsprechenden Nachforschungen zu pflegen haben und man wird dann desto früher auf die Ursachen von Mängeln kommen, je schneller man die Unregelmäßigkeit festzustellen in der Lage ist. Diese Feststellung aber wird durch tägliche Aufschreibungen wesentlich erleichtert.

Fünfter Abschnitt.

Verbundwirtschaft, Verwertung von Abwärme und Überschußkraft über den Rahmen des eigenen Betriebes hinaus.

I. Energiewirtschaftliche Zusammenarbeit einzelner Betriebe.

Bei Betrachtung der Zahlentafel 31 drängt sich besonders zwingend der bereits angedeutete Gedanke auf, einzelne Industriezweige der ersten Gruppe mit Industriezweigen der dritten Gruppe zum Zwecke gemeinsamer und gegenseitiger Ausnutzung ihrer Abfallenergie zu vereinigen; die Betriebe der dritten Gruppe brauchen Wärme für verschiedene Arbeitsvorgänge, die Betriebe der ersten Gruppe haben Abwärme übrig; oder, was das gleiche bedeutet, die Betriebe der ersten Gruppe brauchen ausschließlich oder fast ausschließlich Kraft und in den Betrieben der dritten Gruppe kann Vorschalt(Abfall-)Kraft gewonnen werden, die hier weitaus billiger ist, als wenn sie in den Betrieben der ersten Gruppe selbst erzeugt werden würde.

Die Möglichkeiten solcher örtlicher Vereinigungen sind mannigfach und im großen ganzen durch keine vorweg ausschließenden Grenzen beengt. Natürlich wird es vorteilhaft sein, wenn die betreffenden Betriebe außer der Absicht verbilligter Kraft- und Wärmewirtschaft noch andere gemeinsame Einflußgebiete haben, die die freundschaftlich nachbarlichen Beziehungen gleichsam unterstützen.

So z. B. haben die Spiritus- und Preßhefefabrikation, Industriezweige der dritten Gruppe, mit der Müllerei, die der ersten Gruppe angehört, vieles (Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse u. dgl.) gemeinsam, was sie sachlich einander nahe bringt, und man wird Betriebe dieser Art oft auch örtlich beieinanderliegend finden. Um so auffälliger ist es aber, daß auch in diesem Falle jeder dieser Betriebe seine eigene Kraft- und Dampfzentrale besitzt: Die Spiritusfabrik und die Preßhefefabrik sind mit vielen Kesseln ausgestattet, von denen

mehrere zur unmittelbaren Dampfantnahme für Betriebszwecke dienen und mit niederer Spannung arbeiten, während die Mühle die benötigte Kraft ebenfalls aus Kohle für sich allein erzeugt und selbst bei bester Einrichtung, sorgsamster Wartung und sparsamstem Betriebe nur etwa 20% der in der Kohle enthaltenen Energie zur Krafterzeugung ausnützt. Die gemeinsame Kraft- und Dampfwirtschaft würde den Gesamtkohlenverbrauch um 70 bis 80% des Kohlenverbrauches der Mühle zu verringern ermöglichen.

Eine mittlere Spiritusfabrik braucht einschließlich der Schlempetrocknung etwa 11 kg Fabrikationsdampf und etwa 0,17 PSst je Liter Alkohol. Eine Gegendruckmaschine, die mit 12 at und 280° Einstromung arbeitet, liefert bei 1,5 bis 2 ata Gegendruck etwa 7,5 kg Abdampf je PSst. Auf 11 kg Abdampf entfallen demnach etwa 1,5 PSst. Nach Deckung des Eigenbedarfes von ungefähr 0,2 PSst verbleiben demnach 1,3 PSst, d. h. die Spiritusfabrik hat für jeden erzeugten Liter Destillat 1,3 PSst als Abfallkraft verfügbar. Der Dampfverbrauch ist nur gering, denn, um 7,5 kg Abdampf zu erhalten, müssen der Maschine etwa 8,3 kg Dampf zugeführt werden; es sind demnach nur etwa 0,8 kg Dampf je PSst für die Krafterzeugung aufzuwenden. Beträgt die Erzeugung der Spiritusfabrik 250 hl im Tag, so sind $25000 \times 1,3 = 32500$ PSst je Tag als Abfallkraft vorhanden. Nachdem eine Weizenmühle laut Nr. 12 der Zahlentafel 31 nur 0,1 PSst je kg Mahlgut benötigt, würde diese Abfallkraft genügen, um 325 t Mehl je Tag zu erzeugen. Eine Kondensationsmaschine bester Ausführung zum Mühlenantrieb würde 4 kg Dampf je PSst erfordern, da aber für die Abfallkraft der Spiritusfabrik nur 0,8 kg Dampf je PSst zu rechnen sind, beträgt die Dampf-, also auch die Kohlensparnis 80% des Kohlenverbrauches der Mühle. Die Mühle würde, mit der Kondensationsmaschine betrieben, $32500 \times 4 = 130000$ kg Dampf, das sind rund 20 t gute Kohle, je Tag verbrauchen. Es werden somit bei Vereinigung der Energiewirtschaft beider Betriebe 16 t Kohle je Tag, bei 250 Betriebstagen 4000 t Kohle im Jahr erspart.

Eine andere Vereinigung, die sich aus der Natur der betreffenden Industriezweige von selbst ergibt, ist die der Spinnerei, Weberei und Appretur (Färberei, Druckerei oder dgl.). Die Spinnerei als Betrieb der Gruppe I (Nr. 8) braucht fast nur Kraft, die Färberei (Nr. 27) ebenso wie die Druckerei braucht sehr viel Dampf und wenig Kraft, die reinen Webereibetriebe, wie sie in Gruppe II eingereiht sind, verbrauchen zwar ihre Abfallenergie selbst, da sie aber meist auch Appretur betreiben, ist auch hier oft Abfallkraft verfügbar. Man findet Spinnerei, Weberei und Appretur in vielen Fällen benachbart vor; eine Vereinigung der Kraft- und Wärmewirtschaft ist aber nur dann durchgeführt, wenn es sich um den gleichen Besitzer handelt und sich alle Betriebe ganz eng beieinander auf einem gemeinsamen Grund befinden. Über diesen Rahmen hinaus findet man sehr selten eine wechselseitige Ausnützung der Abfallenergie selbst bei derartigen wesensgleichen Betrieben vor; sie würde in vielen Fällen große Ersparnisse erzielen lassen.

Aber auch dort, wo keine besondere Einflußgemeinschaft im Wesen der Betriebe selbst begründet ist, kommen derartige Ver-

einigungen in Frage, wenn es sich um Industrien handelt, bei denen die Kohlenkosten ein für die Wirtschaftlichkeit der Anlage wichtiger Umstand sind. Man muß es aber bedauernd feststellen, daß, da bei vielen Industrien geringe Kohlenkosten nicht zu ihren wichtigsten Lebensbedingungen gehören, das Kohlenkonto nicht jene Berücksichtigung erfährt, die ihm vom allgemein wirtschaftlichen Standpunkte aus gebührt. Dies geht schon daraus hervor, daß in ein und demselben Industriezweige Betriebe zu finden sind, die aus gleichen Rohstoffen das gleiche Erzeugnis herstellen, hierzu nahezu die gleichen Herstellungsverfahren anwenden, aber vollkommen verschiedene Kohlenmengen verbrauchen und je Erzeugungseinheit ganz verschiedene Kohlenkosten haben. Ein Beispiel hierfür sind die Bierbrauereien. In statistischen Ausweisen von Bayern sind Kohlenkosten von 30 Pf. bis 1 Mk. je 100 Liter zu finden, trotzdem sich Bayern eines verhältnismäßig hohen Standes der Brautechnik rühmen kann, und die Verfahren guter Wärmeausnutzung dort ziemlich allgemein angewendet werden. Aus den Grenzen, zwischen welchen die Dampf- und Kraftverbrauchsziiffern in Zahlentafel 31 angegeben sind, kann beiläufig auf die Verschiedenheit des Kohlenverbrauches der einzelnen Betriebe eines und desselben Industriezweiges geschlossen werden, wobei bemerkt sei, daß diese Grenzen noch nicht die am weitesten unter und über den Mittelwerten gelegenen Ziffern enthalten. In vielen der dort angeführten Posten wurden vielmehr tatsächlich ermittelte Werte aus der Praxis unberücksichtigt gelassen, weil sie die Grenzen gar zu weit auseinandergeschoben und das Bild der durchschnittlichen Verhältnisse gar zu sehr verwischt hätten. So z. B. kennt Verfasser Preßhufe- und Spiritusfabriken, deren Kohlenverbrauch je Erzeugungseinheit trotz des gleichen Rohstoffes, gleichen Enderzeugnisses und trotz der durch die Lage in der gleichen Stadt auch im übrigen ähnlichen Nebenumstände im Verhältnis von 1:4 stehen, wobei aber der Betrieb mit dem niederen Verbrauche noch nicht zu den wirtschaftlichsten und der andere noch nicht zu den schlechtesten seiner Art gehört.

Auch im Kriege, wo die zwingende Notwendigkeit, an Kohle besonders zu sparen, zu einer erhöhten, oft auch durch die Behörde überprüften ganz besonderen Beobachtung des Kohlenverbrauches Veranlassung gab, konnten Unterschiede im Dampf- bzw. Kohlenverbrauch bei ein und derselben Arbeitsweise in ganz gleichartigen Anlagen nicht vermieden werden. So haben Versuche in fünf Fabriken, in denen ein mit Salpeter und Schwefelsäure behandelter Rohstoff durch Dämpfen und Kochen von Säuren befreit werden soll, ergeben, daß zu diesem Vorgang in den fünf Anlagen, auf die gleiche Einheitsmenge bezogen, 6,5, 9,3, 10,2, 11,6 und 12,6 t Dampf ver-

braucht wurden¹⁾. Das gleiche wäre von vielen anderen Betrieben anderer Industriezweige ebenso zu erweisen.

Man sollte meinen, daß solche Unterschiede die Wettbewerbsfähigkeit des schlechteren Betriebes beeinträchtigen müßten. In vielen Industriezweigen stellen aber die Ausgaben für Kohlen nur einen verschwindenden Teil der gesamten Erzeugungskosten dar; sie können schon durch kleine Preisunterschiede im Einkauf des Rohstoffes oder im Verkauf der Fertigware vollkommen wettgemacht werden. Eine glückliche Voraussicht der zukünftigen Gestaltung der Preislage der benötigten Rohstoffe kann die Mehrausgaben einer schlechten Energiewirtschaft vielfach hereinbringen. In Industriezweigen dieser Art ist natürlich das Interesse für das Kohlenkonto sehr verringert, sowie denn überhaupt rein kaufmännischen Fragen gegenüber den technischen Fragen des Betriebes mit mehr oder weniger Berechtigung ein Vorzug eingeräumt wird. Von technischen Fragen findet bei guten Absatzverhältnissen vornehmlich die Vergrößerung der Leistungsfähigkeit und die Verbesserung der Ausbeute Beachtung; die Kraft- und Wärmebeschaffung bildet in derartigen Betrieben erst eines der letzten Glieder in der Kette von Aufgaben, die den Besitzer oder den Betriebsleiter beschäftigen, und die Kohlenfrage wird erst in dem Zeitpunkte spruchreif, wenn ein neuer Kohlenschluß zu tätigen ist oder ein neues Angebot auf Kohlen einlangt.

Der Preis der Kohle je Tonne ist an und für sich für die gesamten Kohlenkosten der meisten Betriebe nicht ohne weiteres ausschlaggebend; es spielen bekanntlich viele andere Umstände noch mit. Von all diesen scheint dem Kaufmann der Heizwert der Kohle das Maßgebende zu sein, und er zieht bei Beurteilung der neuen Kohle in erster Linie und vielleicht ausschließlich den Heizwert in Betracht. Ist der Preis beispielsweise um 40% niedriger und der Heizwert nur um 30% geringer, so ist er geneigt, dies als ausschlaggebenden Vorteil zu betrachten. Bei genauem Studium durch den Fachmann ergibt sich aber in vielen derartigen Fällen, daß diese Erwägung falsch, zumindest unvollkommen ist. Die Verfeuerungsmöglichkeit auf den vorhandenen Einrichtungen hängt von vielen Eigenschaften der Kohle ab, die nicht durch den Heizwert gekennzeichnet sind; der Aschen- und Feuchtigkeitsgehalt, die Schlackenbildung, die Art der Schlacke und vieles andere ist für die Wirtschaftlichkeit oft viel mehr ausschlaggebend als der Heizwert und der Preis. Für gewisse Kohlenarten sind besondere Feuerungseinrichtungen, Änderungen an den Rosten oder dgl. notwendig, wobei der Kapitaldienst zu berücksichtigen ist und wichtige

¹⁾ Körber, Insp. Ziv.-Ing. Karl: Der Dampfverbrauch im Kochbetrieb. Z. Dampfk. Vers.-Ges. Jg. 1919, Nr. 4 und 5.

Fragen bezüglich der Asche und Schlacke zu lösen sind, wie sie gelegentlich der Besprechung der Verfeuerung von Abfallkohlen bereits erwähnt wurden. Die rein kaufmännischen Erwägungen können also nicht entscheiden, oder führen, wenn sie allein berücksichtigt werden, oft zu den größten Enttäuschungen. Große Anlagen, die auf Verfeuerung billiger Kohle aus ihrer nächsten Umgebung gerechnet hatten, waren schon oft genötigt, sich nachträglich auf Kohle einzurichten, die von weither zu höherem Preise bezogen werden mußte, deren Verwendung aber das gesamte Kohlenkonto wesentlich verringerte; die vernachlässigten Umstände technischer Natur hatten sich durchgesetzt und die ursprünglich allein berücksichtigten, auf falscher Grundlage aufgebauten, rein kaufmännischen Erwägungen mußten in den Hintergrund treten.

Bei einigen anderen Industriezweigen, und zwar insbesondere bei solchen, bei denen vorzugsweise im Großbetrieb gearbeitet wird, wird der Kohle und ihrer Verwendung die ihr zukommende große Bedeutung verständnisvoll zuerkannt. Die richtige Einschätzung dieser Bedeutung geht daraus hervor, daß Wärmeingenieure mit dem ausschließlichen Tätigkeitsgebiet der Energiewirtschaft in großer Zahl bereits in der Industrie verwendet werden. Es ist hierdurch für notwendige und zweckentsprechende Aufsicht gesorgt und es sind große Erfolge auf dampf-, kraft- und wärmetechnischem Gebiete hierdurch auch schon erzielt worden. Selbstverständlich können die dazu gehörigen Aufwendungen nur von solchen Betrieben gemacht werden, bei denen eben die Kosten der Kraft- und Wärmebeschaffung — im Gegensatz zu den vorher besprochenen Industriezweigen — im Verhältnis zu den gesamten Gestehungskosten stark in die Wagschale fallen, oder wegen der Größe der betreffenden Anlagen an und für sich sehr groß sind. Mit den Kosten, die durch die mit der Aufsicht über die Wärmeanlagen betrauten Personen erwachsen, sind aber die Auslagen für die Betriebsüberwachung nicht erschöpft; eine richtige Beaufsichtigung kann erst ausgeübt werden, wenn auch die notwendigen Einrichtungen und Behelfe dazu vorhanden sind, und während in einzelnen Betrieben ein gänzlicher Mangel an derartigen Überwachungseinrichtungen vorhanden ist, findet man in anderen Betrieben oft mehr Meßgeräte, als mit der erforderlichen Gründlichkeit übersehen werden können, so daß möglicherweise zu viel gemessen und zu viel verzeichnet wird, wodurch sich der Blick für die großen und grundlegenden Fragen der Wirtschaftlichkeit in einem Wust von Nebensächlichkeiten verliert. Ein Zuviel ist hier ebenso schädlich wie ein Zuwenig.

Unter allen Umständen darf aber zwischen der Erledigung der technischen und kaufmännischen Fragen keine Scheidewand aufgerichtet sein. Es ist ein Fehler, wenn — wie es oft geschieht — die kaufmännische

Abteilung den Kohleneinkauf besorgt und dem Wärmeingenieur die Aufgabe überläßt, die wirtschaftliche Verfeuerung dieser Kohle zu bewerkstelligen; ebenso falsch ist es, wenn auf Grund technischer Versuche eine Kohle angeschafft wird, hinsichtlich welcher verschiedene kaufmännische Fragen der jeweiligen Beschaffungsmöglichkeit und sonstiger für die Gesamtwirtschaft des Unternehmens wichtiger Verhältnisse vernachlässigt werden.

Diese Abschweifung von der Besprechung der Möglichkeiten vereinigter Kraft- und Wärmewirtschaft verschiedener Industriezweige sollte nur darstellen, mit welcher Schwierigkeit einerseits neuartige Maßnahmen, die große technische Einsicht voraussetzen, im allgemeinen durchdringen und welche Sorgfalt andererseits bei ihrer Durchführung zu beobachten ist. Wenn schon die ursprüngliche Frage nach dem wirtschaftlichsten Brennstoff für einen einzigen Betrieb so viel Aufmerksamkeit erfordert, um wieviel verwickelter ist dann die Befriedigung der ineinandergreifenden Interessen mehrerer Betriebe, die sich zu gemeinsamer Energiewirtschaft vereinigen.

Um zwei Wirtschaftszweige zu nennen, bei denen gewiß keine innere Interessengemeinschaft herrscht, für deren energiewirtschaftliche Vereinigung aber doch schon deutliche Ansätze, trotz ihrer großen Verschiedenheit, zu finden sind, sei auf die Elektrizitätserzeugung und die Landwirtschaft bzw. den Gartenbau hingewiesen. Gewächshäuser dienten ursprünglich der Kultur von Zierblumen, Zierpflanzen und solchen Gewächsen, die aus anderen, wärmeren Erdzonen zu uns gebracht, das rauhe Klima nicht vertragen und denen auf diese Weise heimatliche Verhältnisse geschaffen werden sollten. Die Errungenschaften der Heiztechnik hatten auch hier bald Eingang gefunden und durch Dampf- und Warmwasserheizung die Herdfeuer verdrängt, zunächst nur dort, wo es sich um Häuser handelte, die an bestehende Heizungsanlagen angeschlossen waren; dann aber wurden Gewächshäuser auch mit eigenen Dampf- oder Warmwasserheizungen versehen.

Durch den Krieg und seine Folgejahre hat sich auch der Nutzpflanzen-, Obst- und Gemüsebau die Gewächshäuser in größerem Maße erobert und damit einen Schritt weiter zu seiner wirtschaftlichen Entwicklung gemacht. Allerdings war der Heizkostenaufwand hierfür nicht unbeträchtlich und meist nur dadurch erträglich, daß die so gezogenen Gewächse den Wettbewerb gegenüber teureren Auslandserzeugnissen standhalten konnten, weil sie eben gleichzeitig, ja mitunter auch früher auf den Markt gebracht wurden und nicht mit den großen Beförderungs- oder auch mit Zollkosten belastet waren. Um aber die Pflanzen- und insbesondere die Gemüsezucht auch über dieses Maß in größtem Stil betreiben zu können, war man mit allen Mitteln bestrebt, die Wärme so billig als möglich zu beschaffen und dadurch die Heizkosten zu

drücken. Billige Wärme war in der Abwärme von Dampfkraftanlagen vorhanden und es hat nicht an Stimmen gefehlt, die immer wieder die wirtschaftlichen Vorteile der Abwärmeverwertung zu diesem Zwecke betonen¹⁾, ohne daß jedoch zunächst dieser Gedanke verwirklicht wurde. Als eine der ersten Anlagen wurde im Jahre 1926 durch die Nordwestdeutsche Kraftwerke A.-G. in Verbindung mit dem Kraftwerk in Wiesmoor (Ostfriesland) eine Gemüsebauabteilung größeren Umfanges geschaffen, die in einer Gewächshaus- und Frühbeetanlage die Erzeugung von Gurken, Tomaten und Frühgemüse aufgenommen hat.

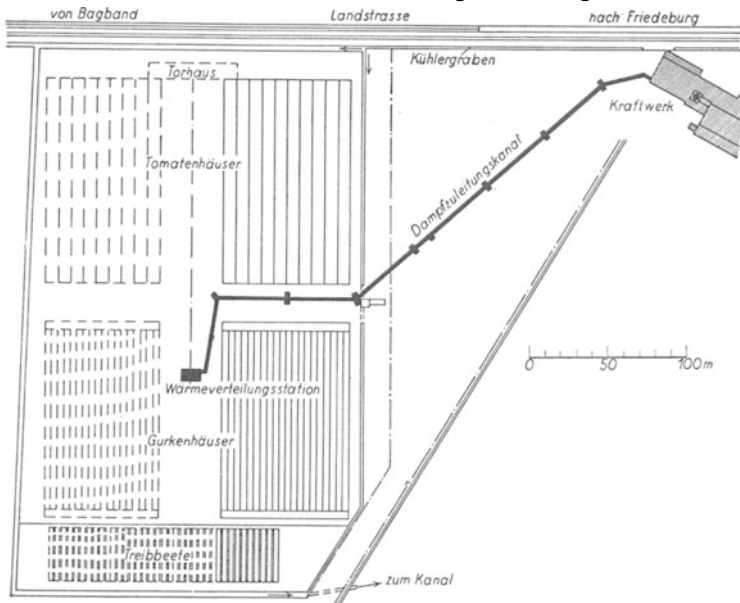


Abb. 83. Fernheizung der Gemüseanlage Wiesmoor.

Zunächst wurden nur etwa 11000 m² unter Glas gelegt und betrieben. Das Kraftwerk in Wiesmoor, dessen Kesselanlage zum Teil mit Torf aus den benachbarten Torflagern befeuert wird, versorgt die Beheizung (Abb. 83). Im Jahre 1928 wurde diese Anlage auf 22000 m² vergrößert und weitere Erweiterungen auf 30000 m² sind im Zuge. Trotzdem die endgültige und durchgreifende Regelung der Abwärmewirtschaft erst nach vollendetem Ausbau erfolgen soll, wird jetzt schon, soweit dies eben lohnend ist, Abwärme des Kraftwerkes für gewisse Zwecke verwertet. So z. B. wird durch eine unterirdische Bewässerungsanlage das 30gradige Kühlwasser der 6 Turbogeneratoren von zusammen 19500 kVA zur Bodenerwärmung durchgeleitet. Eine andere Verwertung von Abfallprodukten ist

¹⁾ Schon vor dem Kriege wurde beispielsweise in Vorträgen und Veröffentlichungen darauf hingewiesen, daß die Stadt Wien sich von der Frühgemüse-Einfuhr aus Italien vollkommen frei machen könne, wenn sie die Abwärme ihres Simmeringer Elektrizitätswerkes zur Beheizung von Glashäusern verwenden würde.

die Heranziehung der Kohlensäure aus den Rauchgasen zur Düngung. Versuche nach dieser Richtung reichen schon weiter zurück. So wurden schon im Jahre 1923 in der Gärtnerischen Versuchsanstalt in Friesdorf Gurkenhäuser durch-gast¹⁾. Es konnte dabei nicht nur ein Mehrertrag, sondern auch eine Zeitverkürzung bis zur Reife der Früchte hergestellt werden. In Wiesmoor haben sich diese Vorteile bestätigt, wobei beispielsweise ein Mehrgewicht von 13% gegenüber einem unbegasteten Haus festgestellt wurde; außerdem wurden von begasteten Pflanzen Früchte mit höherem spezifischen Gewicht hervorgebracht.

Eine ähnliche, allerdings bedeutend kleinere Anlage wurde in Schöningen in Braunschweig errichtet. Sie hat eine Größe von etwa 3500 m² und liegt etwa 200 m vom Kraftwerk der Braunschweigischen Elektrizitätsgesellschaft entfernt. Dieses gibt täglich rund 25000 kg Abdampf zur Beheizung der Gewächshäuser ab; das Kondensat wird vollständig dem Kesselhaus zurückgeführt. Neben Gurken

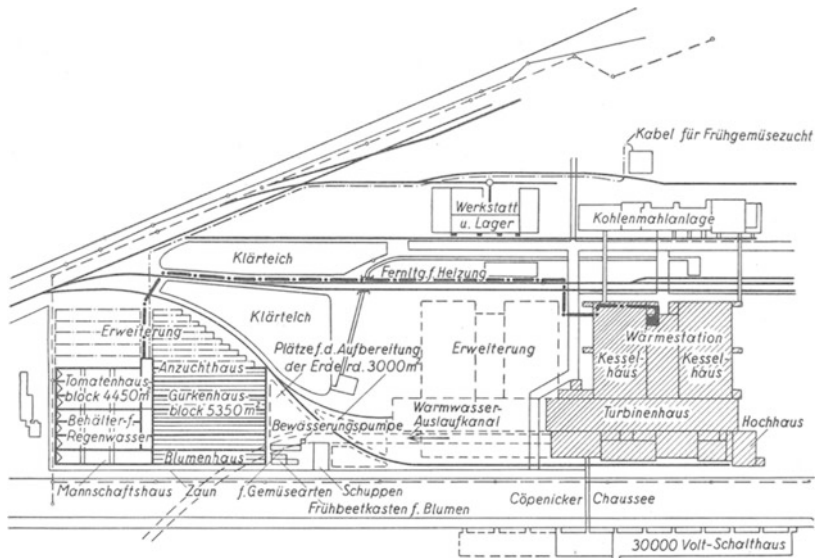


Abb. 84. Beheizung von Gewächshäusern durch Abwärme des Großkraftwerkes Klingenberg.

und Tomaten werden hier auch Radieschen, Kohlrüben, Blumenkohl u. dgl. gezogen. Jedes Gewächshaus wird jährlich dreimal bepflanzt und dreimal abgeerntet²⁾.

Die jüngste größere Anlage dieser Art wurde von der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke A.-G. in ihrem Großkraftwerke Klingenberg errichtet³⁾. Sie besitzt rund 10000 m² bebauter Grundfläche, ist aber auf 15000 m² erweiterungsfähig und dient ebenfalls vorwiegend der Erzeugung von Gurken und Tomaten. Die Beheizung erfolgt mit dem Abdampf der Hausturbine von 2,5 atü. In Gegenstromwärmern wird Warmwasser bereitet, das mittels Pumpen im Umlauf gehalten wird. Die zwei Austauscher besitzen je 55 m² Heizfläche, erwärmen damit das Wasser auf 120° und sind für eine Hauptleistung von 2,5 Mill. WESt

1) Arch. Wärmewirtsch. 1928, Nr. 3. Berlin.

2) Z. öst. Ing.-V. 31. VIII. 1928.

3) V. d. I. Nachr. 22. V. 1929, Nr. 21 und Arch. Wärmewirtsch. September 1929, Nr. 9.

berechnet, wovon auch bei vollem Ausbau und Betrieb noch eine Reserve von 50% bleibt. Das aus den Austauschern abfließende Kondensat wird über einen Messer dem Kraftwerk zurückgepumpt. Den Lageplan dieser Anlage zeigt Abb. 84. Die 2 Pumpensätze können je 60 m³ Warmwasser je Stunde umwälzen. Die Temperatureinstellung geschieht in Mischdüsen durch Zusetzen von Rücklaufwasser. Die Heizflächen sind so bemessen, daß bei einer Außentemperatur von - 20° C im Anzuchthaus und in den Gurkenhäusern + 19° C, in den Tomatenhäusern + 9° C gehalten werden können. Im Anzuchthaus sind 200 m², in den Gurkenhäusern 2090 m², in den Tomatenhäusern 1450 m² Heizfläche untergebracht. Die Einstellung der jeweils notwendigen Temperaturen geschieht durch Ventile; hierdurch wird — ein großer Vorteil dieser Beheizungsart — in den Übergangszeiten die Bedienung ganz bedeutend vereinfacht. Bei vollem Betrieb und - 20° C Außentemperatur sind rund 9000 kg Dampf je Stunde notwendig.

Auch an das Kraftwerk Bleicherode der Überlandzentrale Südharz G. m. b. H. wurde mit bestem Erfolg eine Gewächshausanlage angeschlossen und noch eine weitere Anzahl teils größerer, teils kleinerer Anlagen sind im Betrieb oder im Bau. Ihre Wirtschaftlichkeit ist mit der Verwendung billiger Abwärme enge verknüpft.

Je mehr es gelingen wird, unabhängig von der Natur Wachstum und Ertrag zu beeinflussen, um so mehr wird auch der Erfolg steigen. Wenn es sich auch vorläufig noch um Großversuche handelt, sind die Ausblicke vielversprechend, besonders, wenn auch noch die Wirkung entsprechender Beleuchtung mitberücksichtigt wird: beispielsweise wurde durch elektrische Beleuchtung der Anzucht ein Vorsprung von etwa 14 Tagen erzielt, wobei Nachtstrom zur Verwendung gelangte, der von den Elektrizitätswerken jedenfalls billig abgegeben werden kann. Übrigens kann auch Abfallstrom als Wärmemittel zum Durchheizen des Bodens mit eigenen Bodenheizkabeln verwendet werden, eine Einrichtung, die sich in der genannten Wiesmoor-Anlage ebenfalls sehr gut bewährt u. dgl. m.

II. Fernheizwerke, Heizkraftwerke und ihr Einfluß auf den Städtebau.

Zu den Betrieben, bei denen eine Vereinigung ihrer Kraft- und Wärmewirtschaft große Ersparnisse erzielen läßt, gehören Dampfkraft-Elektrizitätswerke einerseits und Heizungsanlagen andererseits. Erstere brauchen nur Kraft, letztere nur Wärme. Den Heizungsanlagen sind Badeanstalten, die ebenfalls fast ausschließlich Wärme brauchen, gleichzuhalten. Elektrizitätswerke gehören in die erste Hauptgruppe der Zahlentafel 31 (Nr. 9), Bäder und Heizungsanlagen mit überaus großer Kennziffer in die dritte Hauptgruppe (Nr. 30 bzw. 31).

Die ersten Versuche nach dieser Richtung wurden zur Beheizung von Häusern von einem gemeinsamen Wärmezentrum aus gemacht. Vielleicht weniger aus wirtschaftlichen als vor allem aus Gründen der Reinlichkeit und Ruhe hat das Elektrizitätswerk München für die

Wärmeversorgung des Krankenhauses Schwabing eine Lösung gefunden, bei der sich als das Zweckmäßigste die Vereinigung der Wärmebeschaffung für das Krankenhaus mit der Erzeugung von Elektrizität erwies. Der erzeugte Strom kommt nicht nur im Krankenhaus selbst zur Verwendung, sondern wird auch als Überschußenergie an das städtische Leitungsnetz abgegeben. Da die Krankenanstalt über 25 Gebäude, auf einer Fläche von etwa 18000 m² verteilt, umfaßte (Abb. 85) und die Kraft bzw. Wärmezentrale aus den früher angeführten Gründen ganz außerhalb angelegt wurde, ergaben sich Ver-

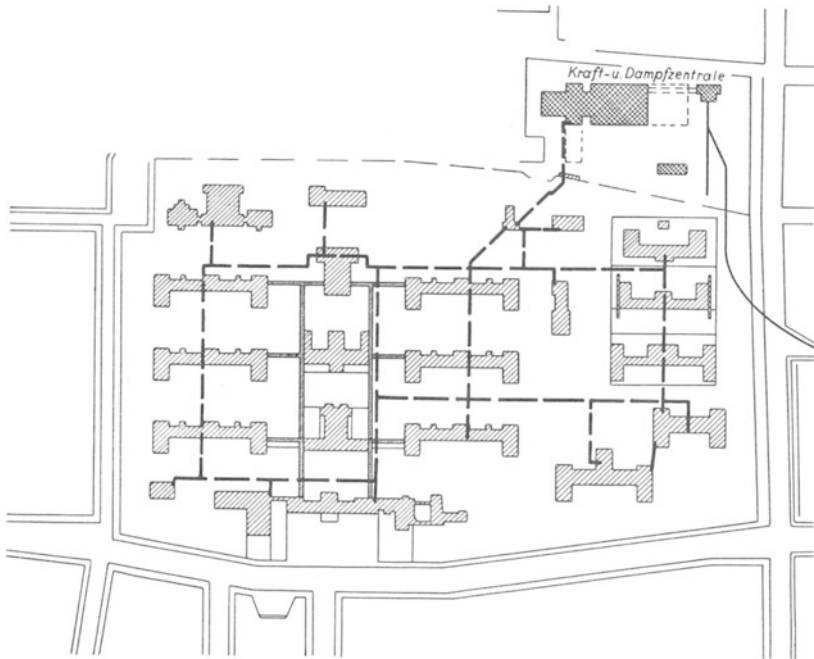


Abb. 85. Erster Ausbau der Wärmeversorgung des Krankenhauses Schwabing.

hältnisse, wie sie zum Großteil überall, wo die Frage der Fernheizung auftaucht, vorgefunden werden, so daß die hier gesammelten Erfahrungen in wärmetechnischer Beziehung richtunggebend waren. Seither ist die Anlage wesentlich ausgebaut und mit einem Ruths-Speicher von 170 m³ Inhalt (42000 kg Speichervermögen) versehen worden. Dem vorerwähnten Beispiel Münchens war vor etwa 20 Jahren das Rudolf-Virchow-Krankenhaus in Berlin gefolgt, das ebenfalls nach dem Pavillonsystem gebaut ist. Die Heizung ist hier eine Pumpenfernwasserheizung, wobei die Wassererwärmung durch den Abdampf von Kraftmaschinen erfolgt ¹⁾. Als

¹⁾ Dietz, Dr. L.: Ergebnisse und Fortschritte des Krankenhauswesens. Gesundheitsztg. 1912, S. 637 und 1913, S. 61.

ein anderes Beispiel aus der ersten Zeit dieser Entwicklung (vor etwa dreißig Jahren) kann das Fernheizwerk in Dresden bezeichnet werden. Bei dieser Anlage werden 11 Gebäude mit Heizdampf und 20 Gebäude mit Kraft- und Lichtstrom von einer gemeinsamen Zentrale aus versorgt. Es handelt sich hier vorwiegend um Staats- und öffentliche Gebäude, bei denen in erster Linie das Bestreben ausschlaggebend war, die Feuerherde mit Rücksicht auf die Gefahr für die großen Kunstschätze aus den Gebäuden zu entfernen.

Trotzdem auch hier gute Ergebnisse erzielt wurden, war doch das Gebiet nicht so weit geklärt, daß plötzlich umstürzende Fortschritte möglich wurden. Vor allem war es schwer, die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen, die sich naturgemäß weiterhin nur als Erwerbsunternehmungen ähnlich den Gas- oder Elektrizitätswerken entwickeln konnten, nachzuweisen. Die Entwicklung ging aber stetig weiter und mit dem Fernheizwerk Hamburg, Abb. 86, und später Kiel, waren Anlagen großen Stils geschaffen worden. Dem Beispiel dieser beiden Städte

folgten bald zahlreiche andere in Deutschland nach.

In Amerika ist die Städteheizung bereits seit vielen Jahren eingeführt. Dort handelt es sich vornehmlich um große Heizzentralen, die in weitem Umkreise die Gebäude beheizen. Eine Kupplung der Wärme-

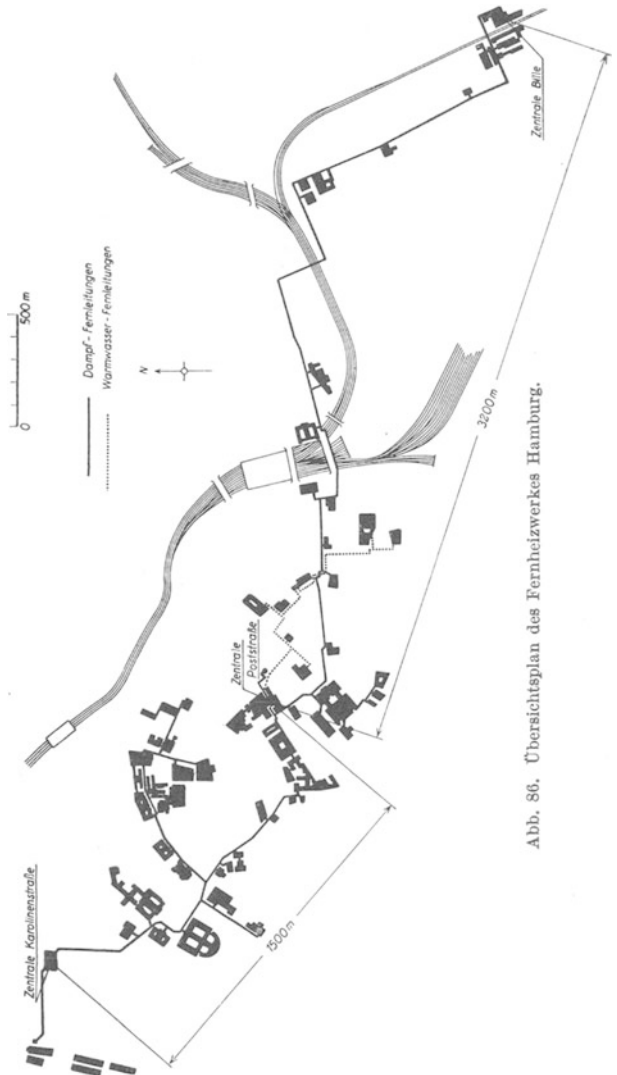


Abb. 86. Übersichtsplan des Fernheizwerkes Hamburg.

erzeugung mit der Erzeugung elektrischer Energie in Dampfmaschinen oder Dampfturbinen unter gleichzeitiger Verwertung der Abwärme findet sich dort nur im geringen Maße. In unseren Ländern tritt jedoch eben diese energiewirtschaftliche Verkuppung in den Vordergrund, denn nur die gleichzeitige Verwertung des Dampfes zur Krafterzeugung und Beheizung schafft jene Verbilligung des Betriebes, die erforderlich ist, um den verhältnismäßig hohen Kapitalsdienst der Heiz-Kraft-Zentralen und insbesondere der dazugehörigen ausgedehnten Leitungsanlagen zu tragen. Wenn trotz der großen Vorteile die Fernheizwerke bei uns noch nicht jene allgemeine Verbreitung gefunden haben, wie sie sie im Hinblick auf die großen Vorteile, die sie bieten, verdienen, so liegt eben der Grund hierfür in dem hohen Kapitalerfordernis, das um so schwerer befriedigt werden kann, als noch das notwendige Verständnis für Anlagen dieser Art fehlt. Während es nämlich allseits geläufig ist, das Erzeugen und Fortleiten von Elektrizität oder Gas als Erwerbszweig zu betrachten, ist das Verkaufen von Wärme in diesem Sinne ein ziemlich unbekanntes Gebiet. Jeder Laie weiß zwar, daß es möglich ist, die von ihm verwendete Strommenge zu messen, wenn er sich auch von der Art der Meßvorrichtung und vielfach auch von der Einheit der Strommenge kein richtiges Bild macht; die wenigsten aber können sich vorstellen, daß sie die Wärme, die sie zur Beheizung ihrer Räumlichkeiten brauchen, in gleicher Weise behandeln. Obwohl die Verwendung der Wärme viel älter ist, als jene des elektrischen Stromes, findet man über den Begriff der Wärme erstaunlicherweise in Laienkreisen oft noch viel weniger zutreffende Vorstellungen als über die Elektrizität. Abgesehen davon, ist aber auch — wie noch im folgenden dargelegt werden wird — die Messung der Wärmemengen für praktische Zwecke, wie sie hier vorliegen, nicht einfach.

In den Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke vom Jahre 1914 berichtete Obering. Schulze über die Entstehungsgeschichte, die Ausführung und den Betrieb des mit der Erzeugung der elektrischen Energie verbundenen Fernheizwerke Dresden und entrollt ein Zukunftsbild über den voraussichtlichen Entwicklungsgang derartiger Werke, indem er Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke zum Vergleich heranzieht.

„Diese wurden zu Anfang auch als Privatunternehmungen gebaut, irgendeine Gesellschaft, zuerst wohl eine englische, ließ sich auf eine Reihe von Jahren die Konzessionen geben und setzte nun das Gas, den Strom oder was es sonst war, ab, bewirkte die Propaganda für die neue Sache, erweckte vielfach erst das Bedürfnis durch billige Preise usw., bis die Lieferungen endlich zu einem unentbehrlichen Bedürfnis wurden, so daß mit dem Betriebe des Werkes gar kein Risiko mehr verbunden war. Dann wurden die Werke von den Gemeinden aufgekauft, monopolisiert und zum Nutzen des Stadtsäckels weiter

betrieben. Ebenso wie diese alten Anlagen größeren Umfang angenommen haben, wird das auch bei Heizwerken der Fall werden, und wir werden, das hoffe ich, in der allmählichen Entwicklung der großstädtischen Verhältnisse in nicht zu langer Zeit öffentliche Heizwerke haben, an welche man sich bei Bedarf anschließen läßt und welche die Wärme in unbegrenzten Mengen liefern. Ebenso wie jetzt vierteljährlich die Gas- und Elektrizitätsrechnung erscheint, erscheint in Zukunft die Heizrechnung.“

13 Jahre später konnten dem Kongreß für Heizung und Lüftung bereits wertvolle darstellerische und ziffernmäßige Unterlagen über eine Reihe ausgeführter Anlagen vorgelegt werden¹⁾. Inzwischen hatte sich die Zentralheizung immer mehr entwickelt und der Kachelofen ist trotz der Anhänglichkeit, mit der der Bürger beharrlich an ihm hing, immer mehr und mehr durch den unscheinbaren eisernen Heizkörper verdrängt worden. Die Anerkennung der großen Vorteile der Zentralheizung (bessere Brennstoffausnutzung, Vermeidung von vielen einzelnen Feuerstellen, einfache Bedienung, gleichmäßige und einheitliche Erwärmung aller Räume, Vermeidung der mit der Kohlen- und Aschenbeförderung zusammenhängenden Belästigung und Gefährdung u. v. a.) ist natürlich die Grundbedingung für den weiteren Ausbau von Städteheizwerken. Schließlich ist die Veranlassung zur Errichtung von Heizkraftwerken oft auch durch die Unverläßlichkeit bereits bestehender Stromversorgungsanlagen gegeben; so hat sich die Stadt Winniberg, die normalerweise durch ein Wasserkraftwerk aus 117 km Entfernung mit Strom versorgt wird, veranlaßt gesehen, wegen der Störungen, denen die Belieferung ausgesetzt war, ein Heizkraftwerk zu errichten, um einerseits im Falle von Störungen einen Ersatz zu besitzen, andererseits die im Umkreise gelegenen Gebäude mit Heißdampf zu versorgen. Das Werk beliefert 184 Abnehmer. Der Heißdampf hat im Ausgangspunkt 4 at und wird mit 9,8 Mk. je Tonne bezahlt²⁾. Aber weit mehr als alle hygienischen Vorteile und mehr als die Bequemlichkeit, gilt heute die Wirtschaftlichkeit. In dieser Richtung ist aber für die Frage der Städteheizung die Vereinigung mit der Krafterzeugung von ausschlaggebender Bedeutung.

Das Schaubild (Abb. 87) gibt eine Gegenüberstellung des Wärme-preises bei verschiedenen Arten der Heizung, wobei lediglich der Verbrauch an Betriebsstoff, nicht aber die zusätzlichen Kosten für Kapitaldienst, Bedienung u. dgl. berücksichtigt sind.

¹⁾ Margolis, Dipl.-Ing. A., Geschäftsführer der Fernheizwerke Hamburg G. m. b. H.: Grundlagen der Städteheizung. Bericht über den XII. Kongreß für Heizung und Lüftung, 8.—11. September 1927 in Wiesbaden. Verlag R. Oldenbourg.

²⁾ Ring, Ing.: Z. V. d. I. 5. Nov. 1929, S. 609.

Auf der Horizontalen sind die Preise des Betriebsstoffes in Pfennigen je Einheit (also für Leuchtgas in Pfennigen je m^3 , für Kohle und Koks in Pfennigen je kg und für elektrische Heizung in Pfennigen je kWst) angegeben. Auf den zugehörigen Ordinaten findet sich dann der Wärmepreis je 1 Million WE in Mark. Die hierbei zugrunde gelegte Wärmeausnützung bei den verschiedenen Heizungsarten ergibt sich aus der Zusammenstellung im Schaubild. Die hier angenommenen Heizwerte und Wirkungsgrade entsprechen durchschnittlichen Verhältnissen. Es können aber natürlich Abweichungen, insbesondere hinsichtlich der für Kachelöfen gemachten Annahmen, vorkommen. Im übrigen sind alle auftretenden Verluste hierbei berücksichtigt und es ist der in der letzten

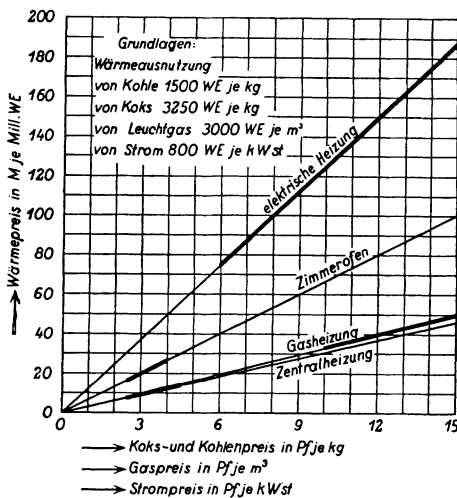


Abb. 87. Wärmepreis verschiedener Heizungsarten.

Kolonne angegebene Bedarf zur Erzeugung von 1 Million WE auf die beheizten Räume selbst bezogen.

Das Schaubild ermöglicht, für jeden beliebigen Preis des Betriebsstoffes bei der einen Art der Heizung, den gleichwertigen Preis des Betriebsstoffes für jede andere Art der Heizung festzustellen. So ergibt beispielsweise die Zentralheizung bei einem Kokspreis von 4,5 Pf. je kg (d. s. 45 Mk. je t im Kesselhaus) einen Wärmepreis von 14,— Mk. je 1 Million WE, was bei Gasheizung einem Leuchtgaspreis von etwa 4,2 Pf. je m^3 und für den Kachel-

ofen einem Kohlenpreis von nur 2,1 Pf. je kg entspricht. Bei elektrischer Heizung ist ein Wärmepreis von 14,— Mk. nur erzielbar, wenn die Kosten für den elektrischen Strom nur etwa 1,1 Pf. je kWst betragen.

Wenn nun die Wärme aus einem Fernheizwerk bezogen und verwendungsbereit gleichsam ins Haus gestellt wird, kann die Angemessenheit des vereinbarten Wärmepreises an Hand dieses Schaubildes leicht überprüft werden. Hier sind aber noch die Kosten für den Kapitaldienst, die bei den verschiedenen Arten der Heizung in Frage kommen, sowie die Kosten der Bedienung zu berücksichtigen. Beim Vergleich des Wärmebezuges aus dem Fernheizwerk mit dem Betrieb der Zentralheizung mit eigener Kesselanlage ist zu berücksichtigen, daß der Kapitaldienst entsprechend den für die Kesselanlage erforderlichen und hier wegfallenden Anschaffungskosten geringer und auch die Bedienung auf ein Mindestmaß beschränkt ist. Wenn also der Wärmepreis beim Betrieb

der eigenen Zentralheizung bei einem Kokspreis von 4,5 Pf. etwa 14 Mk. je 1 Million WE beträgt, wäre für den Bezug der Wärme aus dem Fernheizwerk noch ein wesentlich höherer Wärmepreis zulässig; tatsächlich bewegen sich die Wärmepreise bei ausgeführten großen Stadtheizungsanlagen innerhalb der Größenordnung von 12 bis 16 Mk. je 1 Million WE, und es werden Verträge über die Lieferung von Wärme in ähnlicher Form, wie sie für Lieferung von Strom gang und gäbe sind, abgeschlossen. In den Bedingungen¹⁾ für die Lieferung von Wärme des Fernheizwerks Hamburg G. m. b. H. ist beispielsweise der Wärmepreis für 1 Million WE festgelegt durch die Formel: „RM 5 + 2,5facher Brennstoffwärmepreis von 1 Million WE Magerstückkohle frei Werk Karolinenstraße.“ Bei einem Preis von 2,2 bis 2,5 Pf. je kg Kohle von 7000 WE ergibt diese Formel einen Wärmepreis von etwa 12,9 bis 14 Mk. je 1 Million WE.

In diesem Wärmepreis müssen alle festen und veränderlichen Betriebskosten, also außer den Kohlenkosten und dem Kapitaldienst für Fernheizwerk und Leitungsnetz, die Kosten der Verwaltung und Bedienung enthalten und überdies sämtliche Wärmeverluste bis zur Anschlußstelle berücksichtigt und schließlich auch ein Gewinn für das Fernheizunternehmen eingerechnet sein. Die eingehenden Darlegungen Margolis (a. a. O.) ergeben bei Anlagekosten von 50000 Mk. je 1 Million WE Stundenleistung, Gestehungskosten von etwa 11 Mk. je 1 Million WE. Je größer aber das Versorgungsgebiet ist, und je höher infolgedessen mit Rücksicht auf die größeren Verluste die Dampfspannung in der Heizzentrale gehalten werden muß, desto höher werden die Anlagekosten auf die Wärmeleistung bezogen. Eine Erhöhung der Anlagekosten um 20 bis 30000 Mk., wie sie bei Hochdruckdampf gegenüber niedergespanntem Dampf erforderlich würde, hat aber eine Steigerung des Wärmepreises um 3 bis 4 Mk. je 1 Million WE zur Folge, wodurch fast immer die zulässige Preisgrenze überschritten wird. Die Wirtschaftlichkeit kann infolgedessen meist nur durch Erzeugung von Vorschaltkraft erzielt werden. Je größer die Heizzentralen für die Städteheizung werden, desto mehr ist ihre Vereinigung mit der Stromerzeugung aus Wirtschaftlichkeitsrücksichten geboten. Die beste Lösung wird sich dann ergeben, wenn die Heizzentralen gleichzeitig als kleine Elektrizitätswerke ausgebildet werden. Es können dann neben je 1 Million WE, die zu Heizzwecken verwendet werden, etwa 80 kWst, gegebenenfalls noch etwas mehr an elektrischer Energie miterzeugt werden, durch deren Verkauf sich die Gestehungskosten der Heizwärme wesentlich verbilligen.

So hat beispielsweise das Hamburger Fernheizwerk laut dem in der Hauptversammlung der Vereinigung der Elektrizitätswerke im Jahre

¹⁾ Margolis: a. a. O.

1928 erstatteten Bericht im vorangegangenen Jahre außer 76 Milliarden WE an Wärme, rund 6 Millionen kWst als Abfallstrom geliefert. Der Referent errechnete aber, daß, wenn statt mit der Dampfspannung von 11 atü mit Höchstdruck, von etwa 100 at gearbeitet werden würde, das zweieinhalbfache dieser Strommenge verfügbar wäre, weswegen die Frage der Aufstellung von Höchstdruckdampfkesseln in ernste Erwägung gezogen wird.

Um nun diese Vereinigung der Kraft- und Wärmewirtschaft bei der Städteheizung zu verwirklichen, müßten im Mittelpunkt einzelner Stadtteile Fernheizkraftwerke zur Erzeugung von Strom und Wärme aufgestellt werden.

Nun hat aber die Entwicklung der Dampfkraftelektrizitätswerke die gegenteilige Richtung eingeschlagen: die großen wirtschaftlichen Vorteile, welche die Zentralisierung bietet, haben zu Großkraftanlagen von gewaltigen Ausmaßen geführt, die womöglich außerhalb der Städte oder zumindest an der Grenze des Stadtgebietes errichtet wurden. Elektrizitätswerke älterer Zeit, die sich im Stadtinnern befinden, werden in der Regel im Sinne dieser Entwicklung aufgelassen oder nur als Ersatz beibehalten. Derartige Werke sind aber als Heizkraftzentralen sehr gut brauchbar und es sind auch tatsächlich die größten ausgeführten Anlagen dieser Art (Hamburg, Kiel, Braunschweig, Barmen, Steglitz u. v. a.) an ältere Elektrizitätswerke angegliedert. Eine große Anzahl verschiedener Vorschläge verfolgt in ähnlicher Weise die Verwertung älterer Anlagen.

Von großer Bedeutung für die Bearbeitung dieser schwierigen Aufgaben ist die „Wärmedichte“, ein Begriff, der überhaupt in diesem Sinne erst durch das Fernheizwesen ins Leben gerufen wurde; er bezeichnet den stündlichen Wärmebedarf auf einem km² Stadtfläche. Margolis gibt die „Wärmedichte“ für Hamburg (a. a. O.) mit 130 Millionen WEst im Innern der Stadt, mit 70 Millionen WEst in geschlossenen Wohnvierteln und mit 10 bis 30 Millionen WEst im Villengebiet an. Ebenso hat sich in der Heiztechnik der aus der Elektrizitätswirtschaft stammende Begriff des „Anschlußwertes“ eingebürgert; der Anschlußwert wird für Hamburg mit 16 Millionen WE je km Fernleitung in der Innenstadt und mit 10 bzw. 3 Millionen WE für die geschlossenen Wohngebiete bzw. die Villengebiete angegeben.

Die Wärmedichte bzw. der Anschlußwert sind für die Wirtschaftlichkeit der Fernleitungen von großer Wichtigkeit, da nicht nur der Kapitaldienst auf die Wärmemengeneinheit bezogen bei größerer Dichte kleiner wird, sondern auch die prozentuellen Wärmeverluste in der Leitung abnehmen, je größer der Leitungsdurchmesser und die geförderte Wärmemenge ist.

Von den Anlagekosten einer vollständigen Städteheizungsanlage entfällt der größte Teil auf die Einrichtungen zur Fortleitung der

Wärme (wie übrigens auch bei großen elektrischen Zentralen zur Versorgung von Stadtgebieten die Fernleitungs- und Verteilungsnetze den teuersten Teil der Gesamtanlage darstellen.) Hierunter erfordern wieder die Bauarbeiten bei Verlegung der Rohrnetze die größten Kosten. Bei der Charlottenburger Anlage der Berliner Fernheizwerke haben diese Bauarbeiten allein 40,32%, die Rohrleitungen an und für sich 27,4% und die Isolierungen 7,4%, das ganze Netz somit rund 75% der Gesamtanlagekosten betragen¹⁾.

Die Wärmeverluste sind dem Durchmesser der Leitung ungefähr verhältnisgleich, die geförderte Wärmemenge nimmt aber mit dem Quadrat des Durchmessers der Leitung zu. Wenn sich also aus einer gegebenen Fördermenge ein Leitungsdurchmesser von 70 mm als notwendig ergibt und die Verluste hierbei 16% der geförderten Wärmemenge betragen, so würde bei Förderung der vierfachen Menge, wozu ein Leitungsdurchmesser von etwa 140 mm notwendig wäre, ein Verlust von nur 4% und bei der 16fachen Menge in einem Rohr von etwa 280 mm ein Verlust von nur 2% der geförderten Wärmemenge auftreten. Es sind hier ähnliche Wirtschaftlichkeitserwägungen anzustellen, wie in der Leitungstechnik anderer Fachgebiete und es kommt auch hier außer auf die Verringerung der Verluste noch darauf an, daß das Heizmittel auch von seiner Wirksamkeit möglichst wenig verliere, d. h., daß am Ende der Leitung noch die erforderliche Temperatur vorhanden sei. Auf je höherem Temperaturniveau die Förderung der Wärme vorgenommen wird, desto größer werden aber die Wärmeverluste, wenn sie nicht durch entsprechend besseren Wärmeschutz, für den wieder durch die höheren Kosten eine wirtschaftliche Grenze gesetzt ist, auf ein geringeres Maß heruntergedrückt werden. Jedenfalls reicht die Wärmedichte von Großstädten aus, um Leitungsverhältnisse für die Wärme zu schaffen, die bei Anwendung des wirtschaftlichsten Wärmeschutzes die Größenordnung von Verlusten auf jenes Maß bringen, wie es bei Kabel- und Gasleitungen üblich und zulässig ist.

Wenn man neben der „Wärmedichte“ auch die „Strombedarfsdichte“ der einzelnen Stadtteile betrachtet, wird sich eine Einteilung des Stadtgebietes zum Zwecke wirtschaftlichster Deckung des Strom- und Wärmebedarfes treffen lassen. Einem derartigen ideellen Plan für die Energiebewirtschaftung der Stadt, müßten sich die tatsächlich zur Durchführung kommenden Anlagen möglichst nähern.

Hieraus folgern aber ganz neue Richtlinien für den Städtebau. Jahrhundertlang waren für die Entwicklung der Städte die verschiedenartigsten Rücksichten, darunter zum großen Teile Rücksichten künstlerischer Art maßgebend. Die Anordnung der Gebäude, die Schaffung von

¹⁾ V. d. I. Nachr. Jg. 8, Nr. 2.

Plätzen ist vielfach nur im Hinblick auf Kirchen, Denkmäler oder Großbauten erfolgt. Wenn Zweckmäßigkeitsgründen irgendein Einfluß auf den Städtebau zugebilligt wurde, so handelte es sich vornehmlich um die Befriedigung der zunächstliegenden Bedürfnisse der Bevölkerung (entsprechende Anordnung der Märkte, Verkehrsrücksichten, Bequemlichkeiten aller Art). Die Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung der Bevölkerung ist erst in den allerletzten Jahren überhaupt in Erwägung gezogen worden und hat bis heute noch nicht jenen Einfluß auf den Städtebau erhalten, der dieser Frage als mitbestimmendem Hauptpunkt zukommt. Das ganze Fernheizwesen und insbesondere einer seiner wichtigsten Zweige, die Städteheizung, stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung. Sie wird aber als Forderung des Tages in den nächsten Jahren um so schneller fortschreiten, als die technischen Grundlagen für die zweckentsprechende Anlage und den sichern und wirtschaftlichen Betrieb von Fernheizkraftwerken in allen ihren Teilen bereits geschaffen und in großen Städten in mehrjährigem Betrieb erprobt sind.

Eine der wichtigsten technischen Grundlagen ist die Notwendigkeit, die Wärme über größere Entfernungen ohne namhafte Verluste fortzuleiten zu können. Solange die Wärmeschutztechnik die Lösung dieser Aufgabe nicht ermöglichte, konnte an Wärmefernleitungen nicht gedacht werden. Heute sind alle Voraussetzungen geschaffen; der Einfluß der Schutzmasse und ihre wirtschaftlichste Ermittlung ist bereits in Bd. I S. 89 bis 94 besprochen und die dortigen Ausführungen haben auch für Wärmeleitungen, wie sie für Fernheizwerke in Frage kommen, sinngemäß volle Gültigkeit. Nach dem gegenwärtigen Stande der Wärmeschutztechnik besteht die Möglichkeit, die Wärmeverluste praktisch auf jedes beliebige Mindestmaß zu beschränken, und es handelt sich lediglich darum, daß die Kosten des Wärmeschutzes im Einklang stehen zu der durch Verringerung der Wärmeverluste erzielten Ersparnis.

Die Verwendung der wirtschaftlichsten Schutzstärke ist aber nicht allein ausschlaggebend: besonders dort, wo es sich um lange Fernleitungen handelt, muß nicht nur die Verlegungsart der Leitungen den Dehnungen, Schwingungen und Erschütterungen Rechnung tragen, sondern es muß auch die Schutzmasse diesen Einflüssen gewachsen sein. Wenn derartige Leitungen offen verlegt werden, was ebenfalls vorkommt (s. Abb. 88, darstellend die Fernleitung im Mühlengraben des Heizwerkes Barmen), müssen sie überdies vor Witterungseinflüssen geschützt sein. All dies erheischt besondere Erfahrungen im Leitungsbau.

Die Frage der Wärmefernleitung ist schon in früherer Zeit, allerdings in etwas anderer Form, dort aufgetaucht, wo es sich um Thermalquellen handelt, deren Verwendung auch in einiger Entfernung von der Austrittsstelle ermöglicht werden

soll. So ist schon im Jahre 1828 eine Thermalwasserleitung von dem bekannten Kurort Badgastein nach dem etwa 7 km davon entfernt gelegenen Hofgastein gebaut worden. Diese Leitung bestand einfach aus ausgebohrten Fichten- und Lärchenstämmen; sie war bis zum Jahre 1906 in Betrieb. Die Abkühlung des



Abb. 88. Dampfheizwerk Barmen. Im Mühlgrabenbett verlegte Dampffernleitung.

Wassers war eine sehr große, so daß an den Verbrauchsstellen eine neuerliche Aufwärmung stattfinden mußte, wodurch ein großer Teil der Heilwirkung verloren ging. Im Jahre 1906 wurde dann eine neue Leitung nach dem damaligen Stande der Technik ausgeführt, die bis heute in anstandslosem Betrieb ist und durch die etwa 950 m³ (11 sek/l) Thermalwasser, das an der Quelle eine Höchsttemperatur von 46,8° C hat, nach Hofgastein zur Versorgung des dortigen Netzes geführt werden. Im Sammelbehälter am Ende der Leitung hat das Wasser noch eine

Jahresmitteltemperatur von 44,6° C. Es ist also der Temperaturverlust nur rd. 0,3° C je km Rohrleitung.

Der Unterschied in der Wassertemperatur zwischen Winter und Sommer ist nicht größer als 1° C. Die gußeisernen, innen emaillierten Muffenrohre von 125 mm Durchmesser, in der üblichen Art mit Hanfzöpfen und Blei gedichtet, sind mit Korksteinschalen von 6 bis 7 cm Stärke geschützt und mit in Asphalt getränkten Jutestreifen umwickelt. Die Leitung liegt frei in einem

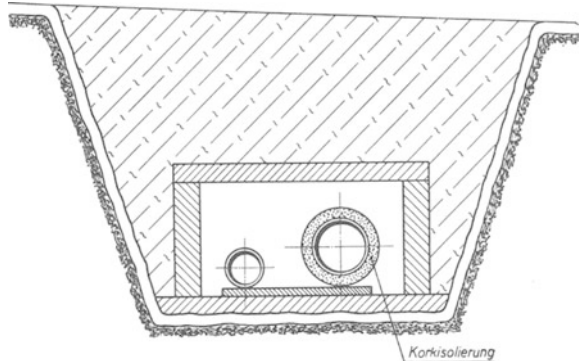
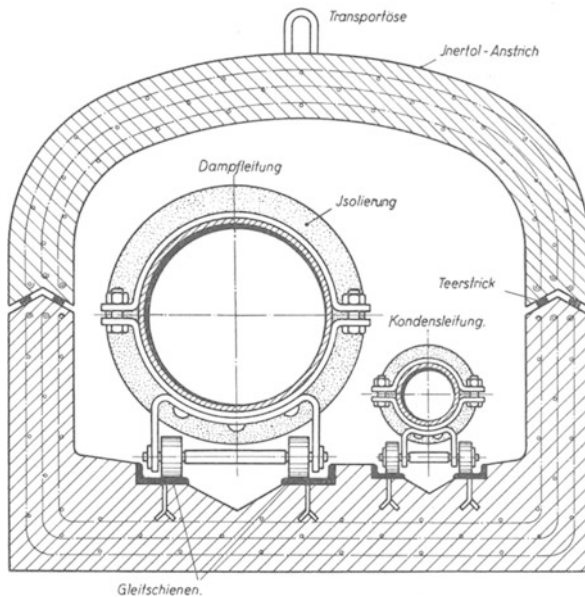


Abb. 89. Thermalwasser-Fernleitung in Gastein.

betonierten Kanal, in verschiedener Tiefe (die tiefsten Stellen etwa 6 m unter Terrain; ganz kurze Strecken der Leitung sogar ober Flur). Die Abb. 89 zeigt einen Typenquerschnitt dieser Rohrleitung. Die kleinere, nicht geschützte Leitung führt gekühltes Thermalwasser. Einzelne Teile der Verteilungsleitungen, die während des Krieges gebaut wurden, sind ohne Korksteinschalen hergestellt; hier liegt die gußeiserne Muffenrohrleitung ungeschützt im Betonkanal, in dem jedoch zwecks Vermeidung jeglicher Luftbewegung in Abständen von etwa 20 m möglichst luftdichte Zwischenwände aufgeführt sind. Diese Art der Verlegung hat sich für kurze Strecken ebenfalls bewährt. Es ist allerdings der Temperaturverlust bei einer etwa 500 m langen Leitung von 80 mm l. W. um etwa $1,5^{\circ}\text{C}$ größer, als in der mit Korkstein umgebenen Leitung.

Die Art der Verlegung größerer Leitungen von Fernheizwerken ist



beispielsweise aus Abb. 90 ersichtlich. Dort ist die Dampf- und Kondensleitung in einem solid ausgeführten betonierten Kanal verlegt. Außer der Ausführungsart des Kanals selbst und dem Wärmeschutz sind auch die Gleitschienen und -rollen, die den Längenausdehnungen und der sonstigen Beweglichkeit Rechnung tragen sollen, ersichtlich.

Abb. 90. Neuzeitliche Verlegungsart von Heizdampffernleitungen.

Auf diese Weise gesellen sich zu den verschiedenen Leitungen aller Art, die unter den Straßen der Städte verlaufen, noch die Leitungen für Wärme hinzu, und es liegt nahe, dieses ganze Adernetz der Stadt möglichst zu vereinfachen und zu vereinheitlichen. Schon im Jahre 1918¹⁾ wurde ein Bild eines unterirdischen Kanales, in welchem die Leitungen für die verschiedensten Zwecke zusammengefaßt werden, entworfen. Im Deutschen Museum in München befindet sich ein idealer Querschnitt durch den Untergrund einer modernen Straße. Seit dem Jahre 1924 ist in Hamburg ein Teil der Fernleitung in einem solchen Kanal, der schon früher als Versuchsstrecke

¹⁾ Gerbel: Die Entwicklung der Kraft- und Wärmetechnik in ihrem Einfluß auf den Wohnhaus-, Industrie- und Städtebau. Z. öst. Ing.-V. v. 27. Sept. 1918.

ausgeführt worden war, verlegt (s. Abb. 91). Dort sind außer der Wärme- (Dampf-) Leitung, die in fachgerechter Weise hängend ausgeführt ist, Wasserleitungs- und Gasstränge, dann aber auch die Kabel für Starkstrom und für Fernschreibe- und Fernsprechzwecke unter der Straße verlegt. Der Vorteil eines derartigen

Sammelkanales liegt darin, daß er, weil er eben vielen Zwecken dient, entsprechend groß gemacht und zweckmäßig ausgeführt werden kann, so daß auch besonders den Bedürfnissen, die mit der Über-

wachung zusammenhängen, und den Anforderungen, die Instandsetzungsarbeiten bequem durchführen zu können, voll Rechnung getragen ist.

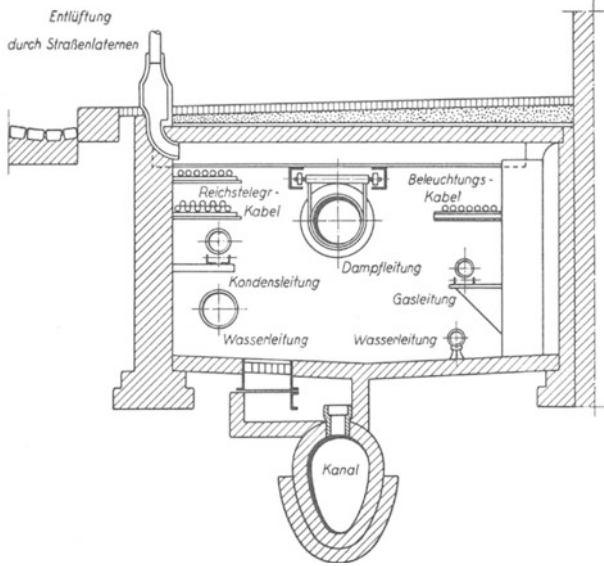


Abb. 91. Straßenkanal für Wärme-, Strom-, Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen in Hamburg (Margolies).

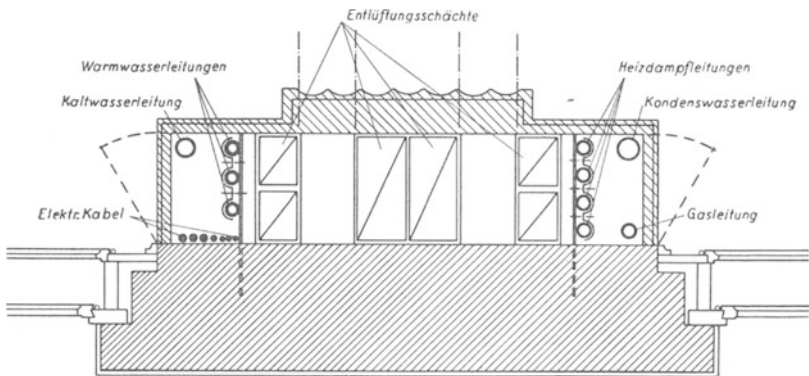


Abb. 92. Anordnung von Entlüftungsschächten, Rohrleitungen und elektrischen Kabeln an den Mauerfeilern eines Gebäudes.

Im neuzeitlichen Hochbau finden diese Grundsätze bereits in ausgedehnterem Maße Anwendung. Der Baufachmann, der die energie-wirtschaftlichen Bedürfnisse gebührend berücksichtigt, nützt die durch

die Betonbauweise sich von selbst ergebenden Zwischenräume zweckentsprechenderweise dazu aus, die Wärme-, Kraft-, Wasser-, Stark- und Schwachstromleitungen hineinzulegen (s. Abb. 92 und 93, aus den Plänen von Oberbaurat Leopold Bauer, Wien, für das Gebäude der österr. Nationalbank). Er schafft auf diese Weise ein Adernetz im Bau, das dem Adernetz in einem organischen Gebilde ähnlich ist. Auch hier zeigt sich die Wichtigkeit der Zusammenarbeit der Fachleute der verschiedenen Fachgebiete.

Von den in Europa in Betrieb befindlichen und zum Teil schon genannten Städteheizwerken ist das Hamburger Werk derzeit das größte. Bei einer Netzlänge von 13,5 km und einer größten Ausdehnung von 6,5 km versorgt es 100 Wärmeverbraucher mit einer Wärmemenge von 90 Millionen WEst. Der Grad der Entwicklung ist daraus ersichtlich, daß es im Jahre 1921 mit einem Anschlußwert von 7 Millionen WEst gebaut wurde und der Anschlußwert im Jahre 1927

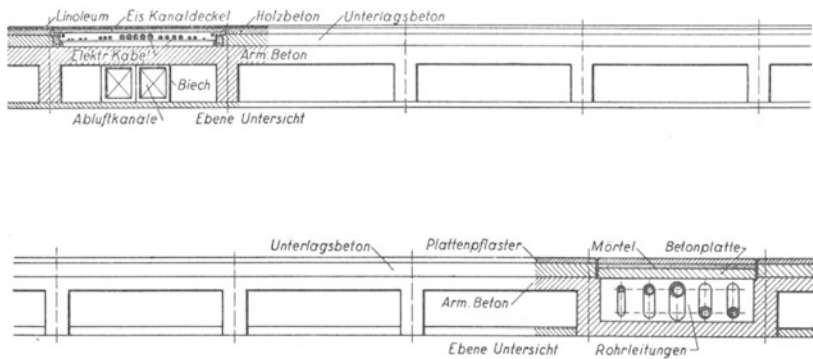


Abb. 93. Anordnung von Luftkanälen, Rohrleitungen und elektrischen Kabeln in den Decken eines Gebäudes.

bereits 72 Millionen WE je Stunde betrug; es ist auch gegenwärtig in ständiger Erweiterung und Vergrößerung begriffen. Hinsichtlich der Anzahl der angeschlossenen Verbraucher steht das Fernheizwerk in Barmen (300 Anschlüsse) an erster Stelle. Das Fernheizwerk Leipzig hat bei einer Netzlänge von 9,5 km 110 Anschlüsse. Insgesamt sind heute in Deutschland viele Hundert Kilometer Wärmeleitungen bereits vorhanden. Die Anlagen arbeiten meist mit Abdampf von Turbinen oder Dampfmaschinen, in denen zunächst eine Umsetzung in elektrische Energie erfolgt. Abb. 86 gibt ein Bild von der Ausdehnung des von der Firma Rudolf Otto Meyer gebauten Hamburger Stadtheizwerkes. Die Wärmeversorgung erfolgt von 3 Zentralen aus („Karolinenstraße“, „Poststraße“ und „Bille“) und die Fernleitungen führen sowohl Dampf als auch Warmwasser zu. Aus dem Bild ist aber auch ersichtlich, daß noch große Teile innerhalb der von den Wärmeleitungen erreichbaren Grenzen für die Wärmeversorgung frei sind und es ist die Grenze der Bedarfsdeckung somit noch nicht erreicht und die Möglichkeit einer weiteren gewaltigen Ausdehnung noch nicht erschöpft.

Die Art des Anschlusses einer Zentralheizungsanlage in einem zu beheizenden Gebäude an das Leitungsnetz in Hamburg ist durch die Abb. 94 dargestellt.

Der Dampf kommt vom Straßenhauptrohr in der Anschlußleitung in das Gebäude, wird durch das Druckminderventil auf den Heizungsdruck entspannt,

geht weiter in den Hausverteiler und von hier zu den Verbrauchern. Die Dampfrohre müssen sowohl entlüftet, als auch entwässert werden können, wofür auch zweckentsprechende Einrichtungen vorgesehen sind. Das Kondensat der einzelnen Verbraucher sammelt sich in der Kondensatleitung, geht durch den Schlammreiniger in den Kondensatmesser und fließt aus diesem in einen Behälter ab, von dem es die selbsttätig gesteuerte Pumpe in die Rückführung des Straßennetzes hebt.

Ist in einem Gebäude bereits eine Niederdruckheizung mit eigenen Kesseln oder eine Warmwasserheizung vorhanden, so kann trotzdem der Anschluß mit

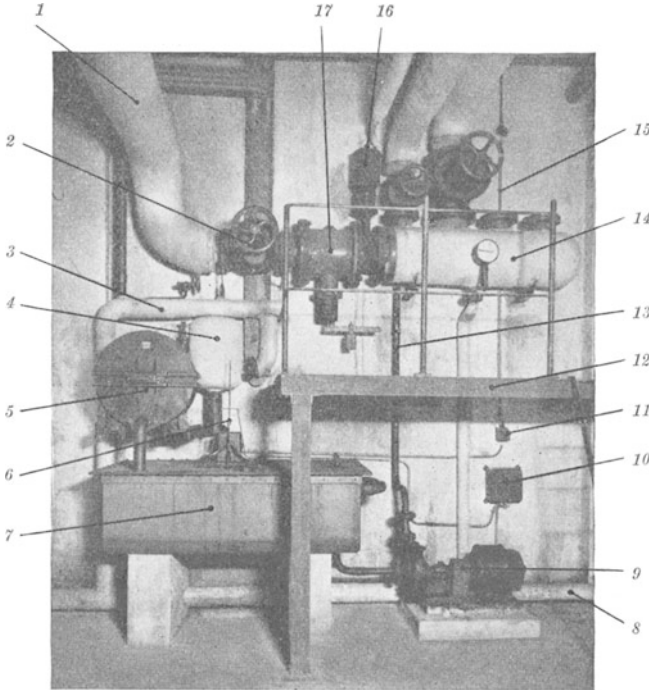


Abb. 94. Anschluß der Zentralheizung eines Gebäudes an die Fernheizung.

1 Anschluß an die Fernheizung, 2 Hauptabsperrentil, 3 Kondensatleitung, 4 Schlammreiniger, 5 Kondensatmeßapparat, 6 Schwimmerfernausschalter, 7 Kondensatsammelbehälter, 8 Kondensatleitung, 9 Kondensatpumpe, 10 Schaltautomat, 11 Hebelschalter, 12 Bedienungssteg 13 Zum Kraftwerk, 14 Hausverteiler, 15 Elektr. Zuleitung, 16 Entlüfter, 17 Reduzierventil.

der gleichen Einrichtung erfolgen. Im ersten Fall wird die Niederdruck-Dampfleitung in die Kesseldampfleitung eingebunden und eine Verbindung der Kondensatleitungen hergestellt. Mit der vorhandenen Anlage kann dann im Bedarfsfall unabhängig vom Fernheizwerk der Betrieb aufgenommen werden. Im zweiten Fall ist die Dampfleitung an den Warmwasserbereiter angeschlossen und das Kondensat fließt von diesem dem Schlammreiniger zu. Wenn das Heizwerk mit niedrigem Druck in den Hauptleitungen arbeitet und der Wasserbereiter diesem Druck angepaßt ist, wird bei der Anschlußstation die Druckmindereinrichtung überflüssig.

So groß die hinsichtlich des Heizwerkes Hamburg genannten Ziffern (90 Millionen WEst entsprechend einer stündlichen Dampfmenge von etwa 180 t) er-

scheinen mögen, die Wärmemengen, die durch amerikanische Fernheizwerke bewältigt werden, sind wesentlich größer. Das Fernheizwerk New-York, das, wie bereits erwähnt, als reines Frischdampfheizwerk arbeitet, liefert 1800 t Dampf je Stunde in die Verteilungsleitungen. Diese größte Städteheizanlage der Welt hat erst kürzlich eine Vergrößerung vorgenommen, nach der 11 Kessel von je 1340 m² Heizfläche mit 18 atü arbeiten. Hier wird nur jene Kraft, die das Werk selbst benötigt, in Gegendruckturbinen (es sind 5 Turbodynamos von je 3000 kW vorgesehen) erzeugt, während der übrige Dampf auf 7,5 bis 12 atü in Druckminderventilen entspannt und unmittelbar den Verteilungsleitungen zugeführt wird. Überdies wird auch noch Abdampf von anderen großen Zentralen zur Weiterverteilung gekauft.

Die Messung der verbrauchten Wärme geschieht durch den Kondensatmesser. Dies ist heute noch die verlässlichste Art der Verbrauchsbestimmung und bei weitem genauer als die Dampfmessung, deren Ergebnis vom Druck abhängt und deren Fehler mit sinkendem Druck beträchtlich größer werden. Allerdings haftet der Kondensatmessung neben der unvermeidlichen Fehlanzeige noch der weitere Nachteil an, daß die Verluste an Dampf oder Wasser, die sich innerhalb des Gebäudes ergeben, nicht erfaßt werden können und daher dem Wärmelieferanten zur Last fallen. Auf Grund der Erfahrungen, die bei Anlagen gesammelt wurden, sind diese Verluste jedoch unbedeutend und fallen nicht so sehr ins Gewicht, wenn nur die Anlage einwandfrei ausgeführt wurde. Ausgenommen sind natürlich die Fälle, bei denen es sich um widerrechtliche Kondensat- oder Dampfantnahme mit Umgehung des plombierten Zählers handelt. Gegen solche Vorkommnisse schützen sich jedoch die Heizwerke so weit als möglich durch entsprechende Bestimmungen in den Verträgen, so daß diese Verluste bei Bedienung durch aufmerksames Personal keinen zu großen Umfang annehmen können.

Wesentlich schwieriger ist die Messung der verbrauchten Wärme, wenn sie in Form von Warmwasser der Verbrauchsstelle zugeführt wird. Hier muß einerseits die durchfließende Wassermenge, andererseits aber auch der Temperaturunterschied des Wassers beim Eintritt und beim Austritt aus dem betreffenden Gebäude möglichst genau festgestellt werden. Die Mittel zu einer möglichst genauen Wärmemengenmessung sind noch in Entwicklung begriffen. Aber es sind auch heute schon brauchbare Einrichtungen in Verwendung.

Am allerschwierigsten ist die Bestimmung der verbrauchten Wärme in jenen Fällen, wo es sich nicht um mittelbare Heizung handelt, sondern der Wärmeträger selbst hierbei verloren geht. Dies ist bei allen Vorgängen, wo Dampf eingeblasen wird, der Fall. Hier ist ausschließlich die Dampfmessung unter Verwendung von Dampfmessern möglich. Wenn nun auch die Bauart und die Herstellung von Dampfmessern so weit ausgebildet ist, daß sie für praktische Versuche und für Zwecke der Betriebsüberwachung bei entsprechender Obsorge ein bereits wertvolles

Betriebsmittel darstellen, treten doch unter den Verhältnissen, wie sie bei den Dampfabnehmern herrschen, oft Beeinflussungen auf, die ihre Genauigkeit wesentlich beeinträchtigen. Insbesondere leiden die Messer unter stark schwankenden Betriebsverhältnissen, bei denen auf Dampfverbrauchspitzen ein gänzliches Aussetzen der Entnahme folgt, und es haben sich bei Versuchen, die Eberle¹⁾ in seinem Institut unter derartig erschwerenden Betriebsverhältnissen vorgenommen hat, Fehler in den Anzeigen bis zu 30 % gezeigt. Die größten Fehler treten jedoch bei kleinen Belastungen auf, so daß sich die für die Gesamtheit gemessenen Dampfmenngen in verringertem Maße ausdrücken. Immerhin erreicht die Dampfmesung mit solchen Instrumenten nicht den Genauigkeitsgrad, wie er bei Kondensatmessung mit guten Wassermessern erzielt wird. Es ist aber auch die Technik der Dampfmeserherstellung in ständiger Entwicklung begriffen und es wird gewiß nicht mehr lange dauern, bis auch hier jene Genauigkeit und Betriebssicherheit erreicht sein wird, die für die Zwecke der Feststellung des Wärmeverbrauches erforderlich sind.

Der größte wirtschaftliche Nachteil von Fernheizwerken, die ausschließlich zu Beheizungszwecken dienen, liegt darin, daß ihre Ausnützung auf die Wintermonate beschränkt ist, die gesamte Ausnützungsdauer mithin 1500 bis 2500 Stunden beträgt und der Kapitaldienst, der natürlich in den Sommermonaten weiter läuft, während verhältnismäßig weniger Betriebsstunden hereingebracht werden muß. Eine Verbesserung der Ausnützung ist nur dann möglich, wenn an die Heizleitungen auch solche Verbraucher angeschlossen sind, die unabhängig von der Jahreszeit einen Wärmeverbrauch haben. Dies sind industrielle Verbraucher. Unter diesen wieder sind jene am wertvollsten, die einen großen und gleichmäßigen Verbrauch aufweisen. Durch das Einbeziehen industrieller Betriebe in das Wärmeversorgungsgebiet wird auch die Vereinigung der Kraft- und Wärmewirtschaft in der Zentrale erleichtert, da durch die einzelnen industriellen Wärmeverbraucher auch gleichzeitig Kraftverbraucher gewonnen werden, bei denen der Bedarf an Kraft und Wärme auch einigermaßen zeitlich zusammenfällt.

Industrie-Kraftheizwerke dieser Art sind erst eine Erscheinung der allerletzten Zeit, und noch vor etwa 10 Jahren waren solche Zentralen, von denen aus mehrere Industrien mit Wärme und Kraft versorgt wurden, fast gar nicht vorhanden. Über die Ursache der schleppenden Entwicklung dieser für die gesamte Volkswirtschaft bedeutungsvollen Einrichtungen wird noch gesprochen werden. Sie lagen in früherer Zeit zum Teil auch in der mangelnden Einheitlichkeit der Stromverhältnisse

¹⁾ Nach einem Vortrag, gehalten in der österr. Gesellschaft für Wärmewirtschaft im Jahre 1929.

und in dem mangelnden Verständnis für die Vorteile der Verbundwirtschaft.

Abb. 95 zeigt den Lageplan eines im Jahre 1921 gebauten Kraftheizwerkes für 2 Textilfabriken, die etwa 338 m auseinander liegen. In der Mitte zwischen den beiden Fabriken befindet sich die Kraftzentrale, von der aus beide Anlagen mit Dampf und Strom versorgt werden.

Eine Anlage, die eine wesentlich größere Betriebsgruppe zusammenfaßt, ist in Abb. 96 dargestellt. Es handelt sich hier um ein schwedisches Industriegebiet mit Textil- und Papierfabriken, welche allerdings ziemlich nahe beieinander liegen. Von einem gemeinsamen Kesselhaus sollen einerseits Spinnereien, Färbereien, eine Baumwoll- und Wollweberei, andererseits eine Anzahl von Papiermaschinen mit Dampf, der auch Kraftzwecken dient, versorgt werden. Der gesamte Dampfbedarf, der im Winter 70 t je Stunde beträgt, verteilt sich zu etwa 70% auf die

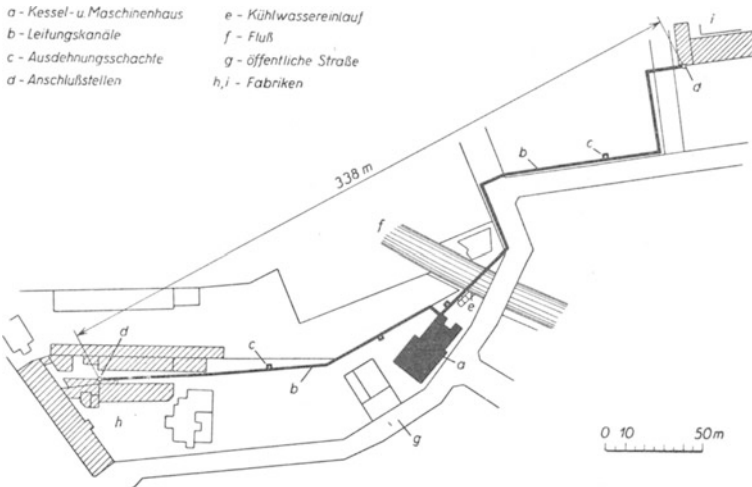


Abb. 95. Kraftheizwerk für zwei Textilfabriken.

Papierfabriken und etwa 30% auf die Textilfabriken. Diese Fabrikgruppe wird gegenwärtig von 7 Kesselhäusern mit etwa 3200 m² Heizfläche mit Dampf versorgt, wobei etwa 30 Mann für die Bedienung erforderlich sind. Nach dem neuen Vorschlag werden 4 in einem Kesselhaus untergebrachte Kessel von 2200 m² Heizfläche und 25 at Betriebsdruck bei 350° Dampftemperatur, sowie ein mit Holzabfällen geheizter Dampfkessel mit 300 m² Heizfläche, den ganzen Wärmebedarf decken. Das Schaltschema für diese energiewirtschaftliche Vereinigung zeigt Abb. 97. Es ist dort für den gesamten Komplex der Textilfabriken ein Ruths-Speicher eingeschaltet, der bei 425 m³ Rauminhalt ein Druckgefälle zwischen 6 und 3 at verarbeitet und 15 t Speicherfähigkeit hat. Hierdurch wird ermöglicht, trotz des stark schwankenden Dampfverbrauches der Textilfabrik, eine ziemlich gleichmäßige Leistung der vorgeschalteten Gegendruckturbine zu gewinnen (Abb. 98).

Die Vorteile der Kupplung dieser 7 Fabriken sind folgende:

Die Kesselheizfläche, die gegenwärtig in Betrieb ist, wird um mehr als 40% verringert, wobei überdies statt 7 einzelnen Kesselhäusern nur ein einziges in Betrieb zu halten ist. Hierdurch werden die Unterhaltungskosten geringer, der

Kohlen- und Aschentransport einfacher und eine Leuteersparnis von etwa 20 Mann erzielt. Die Vereinigung ermöglicht überdies 4000 bis 5000 kW an Gegendruckkraft zu gewinnen, was bisher nicht der Fall war, da die einzelnen Betriebe mit

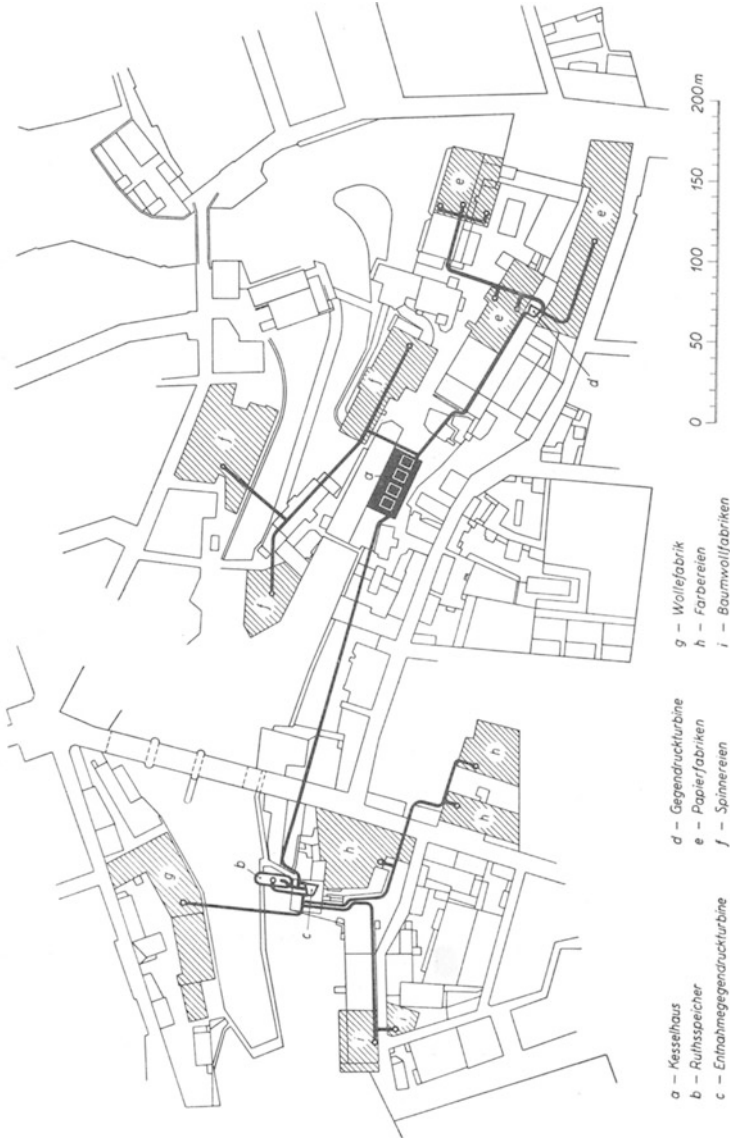


Abb. 96. Entwurf eines Kraftheizwerkes für ein schwedisches Industriegebiet.

kleinen Kondensationsmaschinen und zum geringen Teil nur im Gegendruckbetrieb arbeiten. Die Vereinigung der großen Anlage mit einem Speicher ermöglicht es, die Gegendruckkraft möglichst gleichmäßig und fast unabhängig von den Schwankungen im Wärmebedarf zu erzeugen.

Eines der größten Industrie-Heizkraftwerke ist gegenwärtig in Brünn im Bau. Es wird von der Westmährischen Elektrizitätswerke A.-G („WEAG“) hergestellt und ist durch seine Lage inmitten einer großen

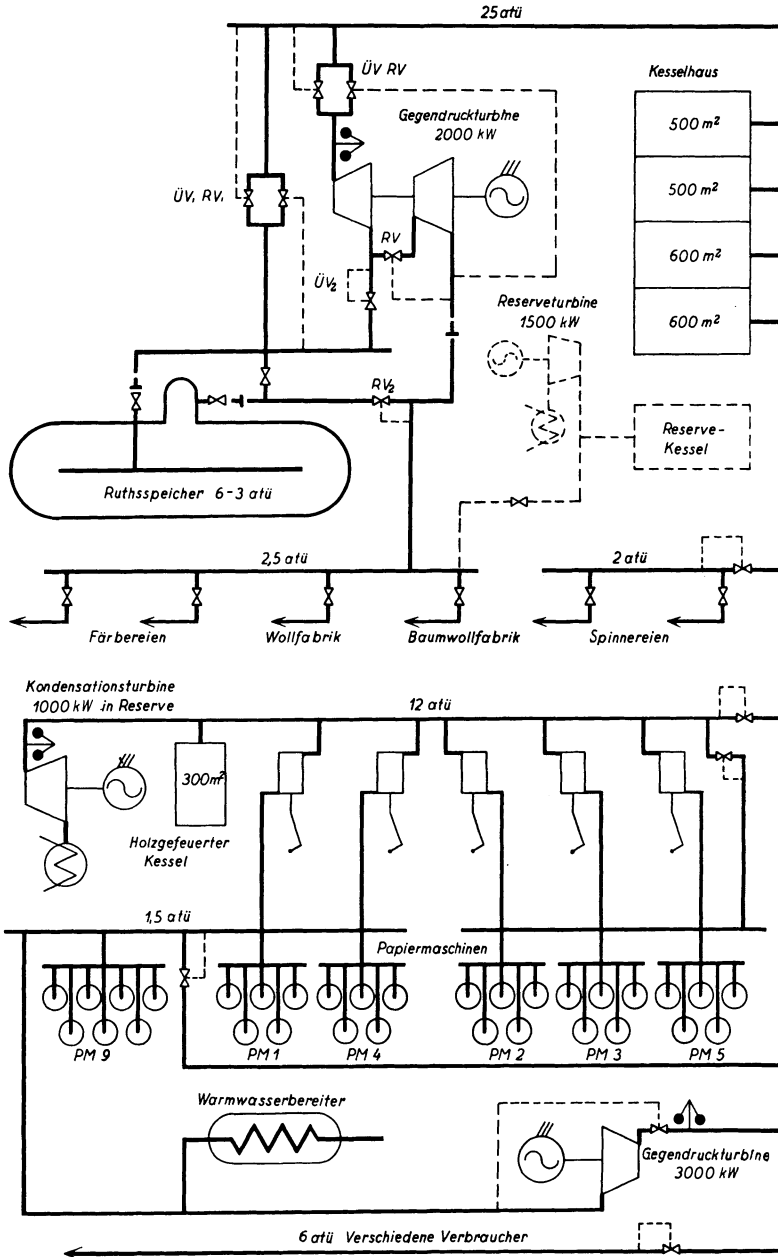


Abb. 97. Schaltungsschema zu Abb. 96.

Zahl von Textilfabriken und sonstigen industriellen Anlagen zur Abgabe von Abwärme besonders geeignet. Der erzeugte elektrische Strom wird in das Stadt- bzw. Überlandnetz der Elektrizitätsgesellschaft gespeist. Entlang der geplanten Trasse der Wärmeleitungen von etwa 6,5 km Länge liegen gegenwärtig 51 Kamine (s. Abb. 99), welche die Heizgase von 110 Dampfkesseln von zusammen 17,335 m² Heizfläche abführen. In diesen Kesseln werden gegenwärtig jährlich rund 70 000 t Kohle zur Erzeugung von Kraft- und Nutzdampf verfeuert. Die gesamte bisher in diesen Anlagen erzeugte Kraftmenge betrug nur 8 Millionen kWst. In der neuen Zentrale, die den Dampfbedarf aller dieser Industrien von 300 000 t im Jahre decken wird, werden als Vorschaltkraft 30 Millionen kWst erzeugt werden, wobei insgesamt nur 60 000 t Kohle zur Verheizung kommen. Es werden also 10 000 t Kohle erspart und 22 Millionen kWst gewonnen, die in den angeschlossenen Betrieben nicht verbraucht, sondern in das Hauptnetz gespeist werden.

Außer der Kohlensparnis und dem großen Gewinn an nahezu kostenlos erzeugter elektrischer Energie sind aber die großen hygienischen Vorteile der Anlage von ausschlaggebender Bedeutung für ihre Errichtung gewesen. Statt 51 Kaminen (im Plan durch weiße Punkte kenntlich gemacht), welche die Abgase der mit besserem oder schlechterem

Nutzeffekt verbrannten Kohlen aus den vielen Fabriken abführen, wird jetzt nur eine einzige Anlage in Betrieb stehen, die unter den günstigsten Verhältnissen arbeiten wird. Der wirtschaftliche Leitgedanke, der dem Werke zugrunde lag, stützte sich zunächst ausschließlich auf die Versorgung der Industrien. Es handelt sich um verschiedenartige Betriebe: 34 Tuchfabriken, 4 Färbereien, 2 Teppichfabriken, 1 Filzfabrik, 1 Hutfabrik und 1 Bandweberei. Diese im Planbild schwarz bezeichneten Betriebe bilden den Grundstock der Wärmeversorgung. Für einen späteren Bauabschnitt ist dann erst die Versorgung jener Gebäude mit Wärme vorgesehen, die nichtindustriellen Zwecken dienen, und im

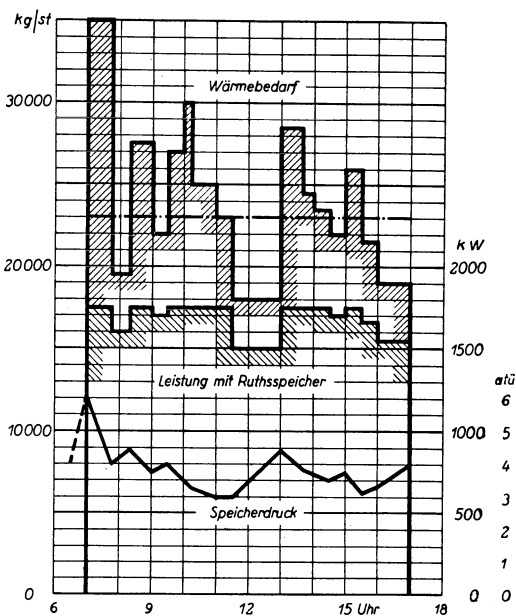


Abb. 98. Die Deckung des Wärmebedarfes des Industriegebietes (Abb. 96) durch das Kraftheizwerk mit Ruthsspeicher.

Plane durch Schraffierung vermerkt sind, insbesondere öffentliche Bauten, wie die Handelskammer, Theater, Justizpalast, Spitäler u. dgl.

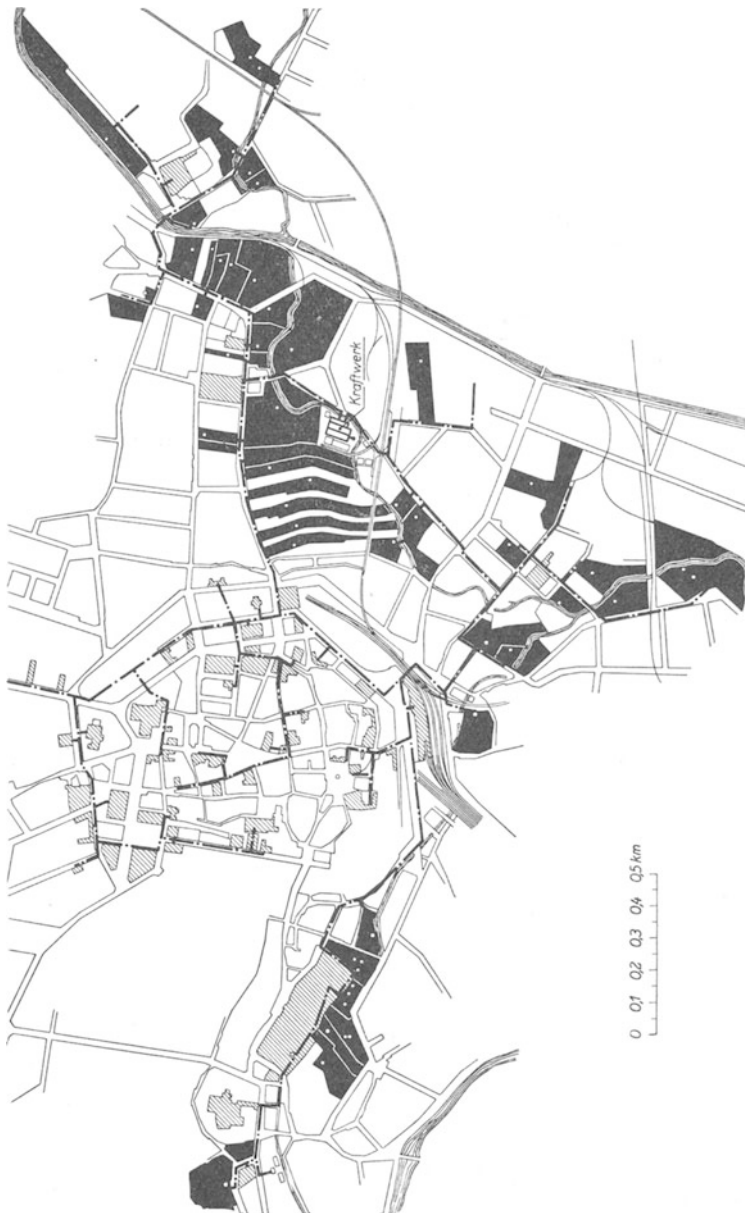


Abb. 99. Lageplan des Industrie-Heizkraftwerkes Brünner.

Daß die Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zunächst die Industrierversorgung war, ist dadurch veranlaßt, daß es sich hierbei um

eine Belieferung über das ganze Jahr handelt. Die Versorgung anderer Gebäude mit Heizdampf wird dann erst allmählich in den Kreis der Erwägungen gezogen werden.

Der Plan, Abb. 99, zeigt auch die wichtigsten Rohrstränge, die von dem Kraftwerk ausgehen. Der entfernteste bisher zur Wärmeversorgung in Aussicht genommene Betrieb ist etwa 6 km von der Zentrale entfernt. Abb. 100 zeigt ein Schema der Einrichtungen der Zentrale. Die Kessel arbeiten mit 66 at und 425° C. Der Dampf wird zunächst in Gegendruckturbinen von zusammen 18000 kW auf 9 at entspannt und in das Wärmeverteilungsnetz geleitet. Die überschüssige Dampfmenge von 9 at wird in einer Kondensationsturbine von 6000 kW weiterver-

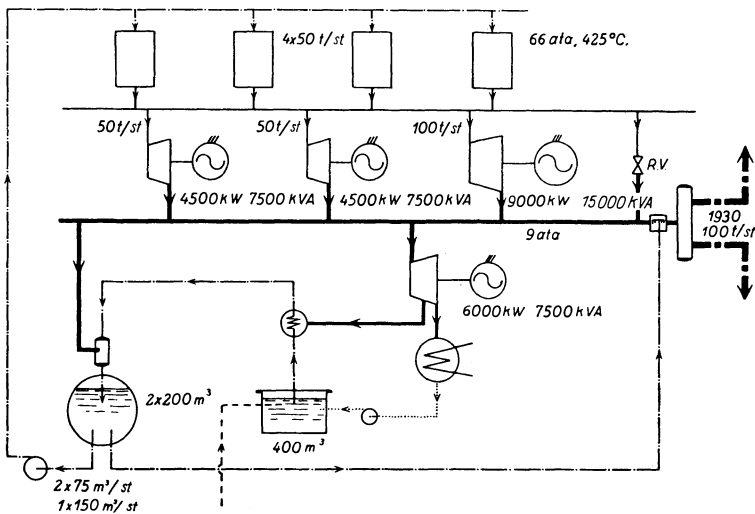


Abb. 100. Schema der Heizkraftzentrale, Brünn.

wertet. Bei der Anordnung des Kraftheizwerkes (Abb. 101) ist für entsprechende Vergrößerung der Kessel- und Maschinenanlage Vorsorge getroffen.

Dr. Ing. A. Weiner, Leiter der „WEAG“ hat im Anschluß zu den Studien, die über dieses industrielle Kraftheizwerk gepflogen wurden, die Dampfleistung, auf den laufenden Meter bezogen, als ein wichtiges Kennzeichen für die Wirtschaftlichkeit der Wärmeleitung dargestellt. Dieses Kennzeichen hängt mit der bereits früher erwähnten Wärmedichte insofern zusammen, als sich aus dieser der Bedarf ergibt, der durch die Dampfleistung der Wärmeleitung gedeckt werden soll. Nach seinen Studien beträgt die jährliche Dampfleistung je lfm Leitungsnetz im Fernheizwerk New York 18 t, in Detroit 26,8 t, in Hamburg 6,15 t, in Kiel 2,65 t, während das Brüner Werk eine Dampfleistung von 40 t je lfm und Jahr aufweisen wird. Die große Dampfleistung in Brünn,

welche die Wirtschaftlichkeit auch bei verhältnismäßig niederm Wärmepreis sichert, ist eben nur durch die Heranziehung der vielen industriellen Betriebe erreichbar und auch hier nur wegen der dichten industriellen Besiedelung in den versorgten Stadtteilen.

Der Strombedarf des gesamten Netzes der Westmährischen Elektrizitätswerke A.-G. wird nach Fertigstellung des Brünnner Kraftheizwerkes in folgender Weise von verschiedenen Stellen (s. Plan Abb. 102) gedeckt werden:

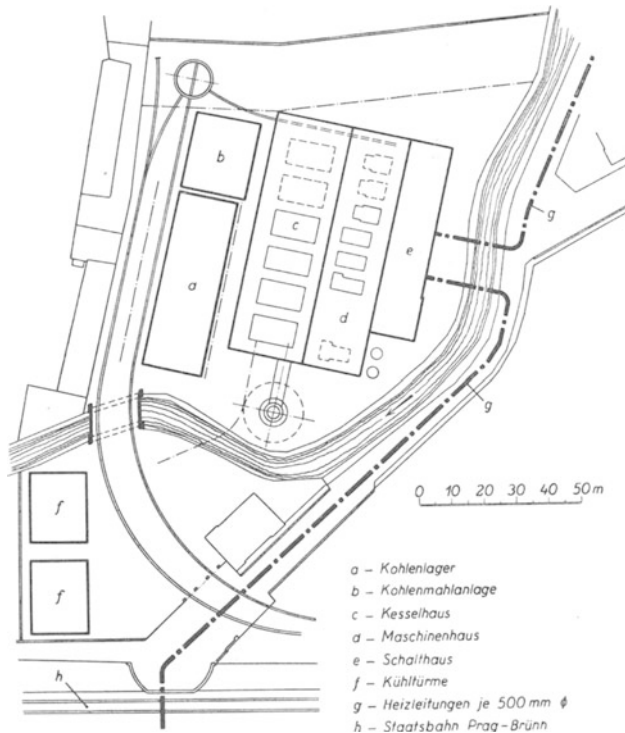


Abb. 101. Anordnung des Krafthauses des Heizkraftwerkes, Brünn.

1. Die Überlandzentrale Oslavan, in der die minderen Kohlensorten der in der Nähe befindlichen Rossitzer Kohlenwerke verheizt werden, wird die Grundbelastung übernehmen.

2. Das Kraftheizwerk in Brünn dient zur teilweisen Deckung des Tagesbedarfes und zur teilweisen Verringerung der Abendspitze.

3. Die Wasserkraftanlage mit der Talsperre bei Frain a. d. Thaya wird — abgesehen von der infolge des normalen Abflusses sich ergebenden gleichmäßigen Dauerleistung — dem Netze durch Ausnützung der aufgespeicherten Frühjahrshochwässer die in der Som-

merszeit durch die landwirtschaftlichen Verbraucher hervorgerufenen Mehrerfordernisse abnehmen müssen.

4. Die Abfallenergielieferung aus den Zuckerfabriken Rohrbach und Grusbach wird während der Kampagne, d. h. also während der Wintermonate, den Spitzenbedarf zu decken haben.

5. Die Malomersitzer Zementfabrik, sowie

6. zwei kleinere Wasserkraftanlagen werden ihre Überschußenergie ebenfalls in das Netz abgeben.

Die Gesamtheit dieser Anlagen mitsamt den Überland- und Verteilungsnetzen gibt ein Bild großzügiger, moderner Verbundwirtschaft,



Abb. 102. Plan des Stromversorgungsgebietes der Westmährischen Elektrizitätswerke A.-G. (WEAG).

durch die (s. Abb. 102) ganz Westmähren mit Strom versorgt wird. Obwohl das Versorgungsgebiet, wenn es auch ein abgeschlossenes Ganzes bildet, im Verhältnis zu den Versorgungsgebieten, die durch Reichsammelschienen und ähnliche wirtschaftliche Einrichtungen zu einem Ganzen verschmolzen werden sollen, verhältnismäßig klein ist, verdient es im Zusammenhang der vorliegenden Ausführungen hauptsächlich deswegen eine besondere Erwähnung, weil hier gezeigt ist, in welcher Weise die verschiedenartigsten Kraftquellen zur Versorgung eines Gebietes vereinigt werden können, wobei sich gleichzeitig ein ausgedehntes Wärmeversorgungsnetz organisch in das ganze Gebilde einreicht. Da die der Verwertung zugeführte Wärme Abwärme von Kraftmaschinen ist bzw. ein großer Teil des erzeugten Stromes aus Vorschaltkraft gewonnen wird, ist in dieser Verbundwirtschaft (Vereinigung von Wasser-

kraft mit kalorischen Elektrizitätswerken mit gleichzeitiger Abwärmeverwertung und Angliederung verschiedener Großindustrien zur Abgabe von Überschubkraft) die Abfallenergieverwertung in allen ihren Vorteilen zur Geltung gebracht.

Bei den vorerwähnten beiden Zuckerfabriken in Rohrbach und Grusbach ist die Lieferung von Abfallenergie während der Kampagnezeit in ähnlicher Weise zur Anwendung gebracht, wie es bei der in der Literatur vielfach besprochenen Anlage der Nestomitzer Zuckerfabrik¹⁾ als eine der ersten in Europa zur Einführung gekommen ist. Die Erzeugung von Vorschaltkraft in Zuckerfabriken bzw. die Verwertung ihrer Abfallkraft hat seither weitere Fortschritte gemacht, die sich nicht nur auf die Zahl der Fabriken mit derartiger Energielieferung, sondern auch auf die Grundsätze, nach denen sie erfolgt, beziehen. Rohzuckerfabriken arbeiten bekanntlich 70 bis 100 Tage, Raffinerien und Feinzuckerfabriken länger. Jedenfalls liegt aber die Einrichtung der Zuckerfabrik durch viele Monate des Jahres hindurch still und es kann somit normalerweise eine Verwertung von Vorschaltkraft nur während einer verhältnismäßig kurzen Zeit des Jahres erfolgen. Die neuen Bestrebungen gehen nun dahin, den kostspieligsten Teil der Kraftanlage von Zuckerfabriken, d. i. die Kesselanlage, auch während der übrigen Zeit des Jahres zu verwerten. Zur Krafterzeugung, die während der Kampagnezeit in Gegendruckturbinen erfolgt, wird für die Zeit des Stillstandes der Zuckerfabrik eine eigene Kondensationsturbine vorgesehen und es arbeitet die Zuckerfabrik dann während dieser Zeit als reines Elektrizitätswerk. Es hat einen gewissen Kampf gekostet, mit der althergebrachten Meinung, wonach die Betriebspause der Zuckerfabriken zur Wiederinstandsetzung, zur Reinigung und Pflege der Betriebsmittel unbedingt benötigt wird, zu brechen. Die große Wichtigkeit, die dem absolut sicheren und ungestörten, von Beginn bis zum Schluß durchlaufenden Kampagnebetrieb der Zuckerfabrik beigegeben wird, hat es der Zuckerfabrikleitung als unmöglich erscheinen lassen, in der Zwischenzeit auch noch einen Betrieb zu führen. Nun stört aber die Verwertung der Kraftzentrale in der kampagnefreien Zeit die sorgsamsten Instandsetzungsarbeiten an der eigentlichen Zuckerfabrikeinrichtung nicht; im Gegenteil, es ist im lebenden Betrieb vielleicht noch leichter, die erforderlichen Werkstättenmaschinen in Gang zu halten. Andererseits ist das Kesselhaus, das ja bei allen Elektrizitätswerken ununterbrochenen Betrieb ermöglichen muß, für diese Betriebsart, wenn hierauf bei der anfänglichen Einrichtung Rücksicht genommen ist, ohne weiteres geeignet. Übrigens hat sich der Kesselhausbetrieb in der Zuckerfabrikation insofern verbessert, als die Erkenntnis der Unwirt-

¹⁾ Siehe Fußnote S. 153.

schaftlichkeit großer Schwankungen im Dampfbedarf, wie sie früher vorkamen, zu Apparatebauarten geführt hat, bei denen der Dampfverbrauch wesentlich vergleichmäßigt wurde, und die Kessel somit in der Kampagnezeit nicht mehr so schädlichen Überanstrengungen ausgesetzt sind wie früher. Schließlich bietet es einen nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß für das gesamte Kesselpersonal auch in der kampagnefreien Zeit volle Verwendungsmöglichkeit vorliegt und hierdurch in diesem wichtigen Hilfsbetrieb eine Beständigkeit des Personals sichergestellt ist.

Nach diesen Grundsätzen ist die in den Jahren 1928 und 1929 gebaute Zuckerfabrik in Enns (Oberösterreich) mit einer Kraftzentrale ausgestattet worden, die gleichzeitig ein Elektrizitätswerk ist. Der Dampfbedarf zur täglichen Verarbeitung von zunächst 10000, später 14000 dz Rüben wird bei vollkommenem Ausbau des Kesselhauses durch 5 Kessel von zusammen etwa 2100 m² Heizfläche gedeckt werden. Der Dampf wird während der Kampagne in einer Turbine von 3750 kW Leistung vorerst zur Krafterzeugung verwendet. Die Eintrittsspannung beträgt 21 at bei 350° C; die Turbine arbeitet mit 3 at Gegendruck. Da der Dampfbedarf der Fabrik zu etwa 36000 kg je Stunde errechnet wurde, mit dieser Dampfmenge jedoch wesentlich mehr Kraft erzeugt werden kann, als die Fabrik selbst braucht (etwa 1000 kW), können noch 2 bis 3 Millionen kWst während der Kampagne als Überschußkraft abgegeben werden. Diese Kraftmenge wird in dem Ausmaß, in dem sie jeweils anfällt, von der Elektrizitäts- und Straßenbahngesellschaft in Linz (etwa 25 km von Enns entfernt) übernommen. Um aber während der kampagnefreien Zeit die Kesselanlage ebenfalls ausnützen zu können, ist neben der Gegendruckturbine noch eine Kondensationsturbine von 6500 kW aufgestellt. Sie ist so gebaut, daß sie im Notfall als Ersatz für die Gegendruckturbine einspringen kann und hat zu diesem Zwecke eine einfache Anzapfvorrichtung für 10000 kg Dampf von 3 at. Normalerweise arbeitet sie aber im Kondensationsbetrieb und wird in der kampagnefreien Zeit an den vorerwähnten Stromabnehmer, auf Grund eines besonderen Lieferungsübereinkommens, zunächst 7 bis 8 Millionen kWst jährlich, später bis zu 12 Millionen kWst abgeben. Wenn auch Anlagen dieser Art sich aus den Bedürfnissen der Zuckerfabrikation und aus dem Bestreben, die Kesselanlage während der kampagnefreien Zeit zu verwenden, entwickelt haben, ist eine derartige Kraftzentrale eigentlich als ein Elektrizitätswerk zu betrachten, das während des größten Teiles des Jahres in der üblichen Weise Kraft im Kondensationsbetrieb erzeugt, während der Kampagnezeit jedoch zur verbesserten Ausnützung des Dampfes die Erzeugung von verkaufsfähigem Strom mit der Kraft- und Wärmewirtschaft der Zuckerfabrik vereinigt.

Es gibt auch Fälle, wo ein Fernheizwerk für industrielle Betriebe ohne gleichzeitige Krafterzeugung genügende Wirtschaftlichkeit aufweist.

So z. B. wird in Forst (Lausitz) eine Anzahl von Tuchfabriken mit Dampf versorgt, zu dessen Erzeugung eine alte Kesselanlage für 15 atü Dampfspannung verwendet wird. Der Dampf wird auf 6 atü vermindert und mit einer Temperatur von 170° C in 2 Rohrsträngen von 600 und 250 mm l. W. bis auf eine Entfernung von 1,4 km geleitet. Vorläufig werden 4 Fabriken und einige öffentliche Gebäude auf diese Weise mit Dampf versorgt. Die Fabriken bezahlen für den Dampf, den sie mit 5 atü erhalten, Mk. 4,25 je Tonne, während die Gebäude, die lediglich zur Raumbeheizung, also nur während der Winterzeit, Dampf beziehen, Mk. 7,50

je Tonne bezahlen. Diese Preise sind für die Abnehmer eben dadurch erschwinglich, daß nicht nur keinerlei Betriebskosten für Kohle, Löhne u. dgl. aufzuwenden sind, sondern auch alle anderen mit der Dampferzeugung in einer Eigenanlage zusammenhängenden Ausgaben für Kapitaleinsatz, dann aber auch die Unannehmlichkeiten, die mit dem Kesselbetrieb zusammenhängen, entfallen.

Wenn auch beim reinen Fernheizwerk jene Vorteile entfallen, die in der gleichzeitigen Verwendung des Dampfes zur Krafterzeugung liegen und bei Verkauf des Vorschaltstromes eine Verbilligung der abzugebenden Wärme hervorrufen, fällt hier doch andererseits in die Wagschale, daß die Wärmefortleitung in Form von Dampf höherer Spannung erfolgen kann. Die Leitungen für Abdampf, wie er vom Heizkraftwerk anfällt, müssen wegen der geringen Spannung entsprechend groß ausgeführt werden, und es wirken sich trotz der niederen Temperatur die Verluste in einer wesentlich mehr fühlbaren Weise aus, als bei Fortleitung hochgespannten Dampfes. Die hohe Dampfspannung ermöglicht eine große Geschwindigkeit, also verhältnismäßig kleine Abmessungen der Dampfleitungen, und es können wesentliche Verbilligungen in der Wärmefortleitung eintreten, wenn man großen Druckabfall zulassen kann. Das Städteheizwerk in Detroit, welches schon im Jahre 1927 mehr als 2000 Abnehmer mit Heizdampf versorgte, erzeugt in riesenhaften Kesselanlagen (für den letzten Zubau allein sind 12 neue Kessel mit je 3850 m² Heizfläche vorgesehen) Dampf von 10 at, bei dem bis zur letzten Verbrauchsstelle ein Spannungsabfall bis auf 1 at_ü zugelassen wird. Hierdurch sind die Anlagekosten für das Rohrnetz wesentlich verbilligt worden. Diese Verbilligung war auch hauptsächlich dafür maßgebend, daß die Erzeugung von Vorschaltstrom nicht weiter verfolgt wurde. Immerhin kommt dieser Grundsatz nur für besondere Verhältnisse, wie sie dort zu finden sind (sehr großes Verwertungsgebiet mit langen und verzweigten Leitungen, verhältnismäßig billige Kohle u. dgl. m.), in Betracht. Für Verhältnisse wie sie in unseren Ländern vorherrschen, kann in der Regel auf die Verbilligung, welche die Verwertung von Vorschaltkraft bei derartigen Fernheizwerken bietet, nicht verzichtet werden.

Außer der Verwendung von Dampf als Wärmeträger kommt auch Warm- oder Heißwasser in Frage, und es sind ja auch einzelne Fernheizanlagen bereits erwähnt worden, bei denen das Kondensationswasser der Kraftanlagen, die zu diesem Zwecke mit entsprechend schlechtem Vakuum arbeiten, zum Zwecke der Wärmefortleitung verwendet wird. In der ersten Entwicklungsperiode der Fernheizwerke hat man dieser Art der Wärmefortleitung eine größere Bedeutung beimessen zu müssen geglaubt, als ihr auf Grund der praktisch gemachten Erfahrungen tatsächlich zukommt. Die Warmwasserfernleitung ist grundsätzlich nur für die Versorgung von Warmwasserheizungen geeignet,

kommt also in erster Linie für Wohnhäuser in Betracht; die Fernversorgung mit Dampf hat eine viel allgemeinere Bedeutung, da sie ohne weiteres auch die Versorgung von Dampfheizungsanlagen ermöglicht, aber auch die Warmwasserheizungen hierbei nicht ausschaltet, deren Kessel einfach durch einen Boiler ersetzt werden kann. So hat sich beim Kraftfernheizwerk in Leipzig, bei dem vorwiegend Heißwasser von 115 bis 120° C als Wärmeträger verwendet werden sollte und nur ein Teil der Wärmeversorgung durch Dampf geplant war, schließlich gezeigt, daß die Fernverteilung von Dampf als Hauptrückgrat der Fernheizung ausgebaut werden mußte¹⁾. Dadurch soll natürlich der Wert von Heißwasserheizungen, wie sie vielfach schon in den größten Betrieben mit viel Erfolg eingeführt wurden, keineswegs gemindert werden. Vom Standpunkte der Wirtschaftlichkeit ist die weitere Entwicklung und Ausgestaltung nur zu begrüßen, da die Verwendung hochoberwärmten Wassers (z. B. 190° C) unter hohem Druck und dessen Rückführung im geschlossenen Kreislauf wesentliche Vereinfachungen der Anlagen ermöglicht und im Zusammenhange damit auch bedeutende Verlustquellen beseitigt werden. Allerdings beziehen sich die bisherigen praktischen Erfahrungen noch nicht auf ein sehr weites Verwendungsgebiet. Dort aber, wo dieses Verfahren verwendet wurde, hat es sich meist bewährt.

III. Verwertung von Vorschaltkraft und Überschußstrom durch Abgabe an Überlandwerke.

Ebenso wie ein Elektrizitätswerk eine Wärmeversorgungsanlage unter Verwendung der Abwärme der Krafterzeugung darstellen kann, läßt sich jedes Industrieunternehmen, das Kraft braucht, deren Abwärme im eigenen Betriebe keine Verwendung findet, als Heizwerk für die Betriebe der Umgebung ausgestalten. So kann beispielsweise eine Mühle, eine Zementfabrik, eine Eisfabrik oder ein anderer Betrieb jener Art, wie sie in der Gruppe I der Zahlentafel 31, S. 234, verzeichnet sind, als Heizkraftzentrale dienen, und umgekehrt kann jeder Betrieb, der viel Dampf verbraucht, als Elektrizitätszentrale ausgebaut werden und in Form von Vorschaltkraft billigen Strom zum Zwecke des Verkaufes erzeugen, wie bereits für Zuckerfabriken dargelegt wurde.

Über die Bedeutung, welche die Gewinnung derartiger Vorschaltkraft und ihre Verwertung außerhalb des eigenen Betriebes für die Gesamtheit der Wirtschaft hat, kann man sich einigermaßen ein Bild

¹⁾ Mattar: Das Fernkraftheizwerk in Leipzig. Krupp'sche Monatsh. vom Mai 1926.

machen, wenn man die gewinnbaren Kraft- oder Strommengen aus einzelnen Industrien errechnet. In Zahlentafel 33 sind beispielsweise 5 Industrien der Gruppe, bei welcher Vorschaltkraft verfügbar ist (Zucker-, Leim-, Preßhefe-, Alkohol- und Kunstseidenindustrie), angeführt. Dort ist in der ersten Spalte die Jahreserzeugung Deutschlands verzeichnet. (Es sei gleich betont, daß es für den vorliegenden Zweck auf eine genaue Erfassung der Jahreserzeugung nicht ankommt; es ist hier nur ein beiläufiger Durchschnittswert angenommen, da nur auf die Größenordnung des Gesamtergebnisses hingewiesen werden soll.) In den Spalten 2 und 5 ist dann der Dampf- und der Kraftbedarf, der zur Herstellung eines Kilogramm oder eines Liters des betreffenden Erzeugnisses erforderlich ist, angegeben, sowie er sich auch aus den mittleren Angaben der Zahlentafel 31 ergibt. Die Spalte 3 gibt dann den gesamten jährlichen Dampfbedarf dieses Industriezweiges an, während in Spalte 4 verzeichnet ist, welche Kraftmenge in kWst aus dieser Dampfmenge im Vorschalt-, d. h. Gegendruckbetrieb gewonnen werden kann. In Spalte 6 ist dann vermerkt, wieviel von dieser Kraftmenge für den Betrieb selbst als Eigenbedarf verbraucht wird, woraus sich dann in Spalte 7, aus dem Unterschied zwischen Spalte 4 und Spalte 6, die Kraftmenge ergibt, die über den Eigenbedarf hinaus gewonnen und verkauft oder sonstwie verwertet werden kann. Es zeigt sich hieraus, daß diese 5 Industriezweige einen Jahresdampfbedarf von insgesamt rund 14 Millionen kg haben, und daß aus dieser Dampfmenge in vorgeschalteten Gegendruckmaschinen rund 1,55 Milliarden kWst gewonnen werden können. Da jedoch diese 5 Industrien zusammen nur 0,4 Milliarden kWst für ihre eigenen Zwecke verbrauchen, bleiben 1,15 Milliarden kWst als Überschubkraft verfügbar.

Zahlentafel 33.

	Jahres- erzeugung in Mill. kg (bzw. l.)	Dampfbedarf		Hierauf gewinnbare Vorschalt- kraft ¹⁾ in Mill. kWst. je Jahr	Eigenbedarf an Kraft		Über- schuß in Mill. kWst je Jahr
		kg je kg (bzw. l.) Erzeugnis	insge- samt in Mill. kg je Jahr		kWst je kg (bzw. l.) Erzeugnis	insge- samt in Mill. kWst je Jahr	
	1	2	3	4	5	6	7
Zucker . . .	1700	5,5	9350	1040	0,15	255	785
Leim	45	30	1350	150	0,6	45	105
Preßhefe . .	48	18	864	96	0,6	29	67
Alkohol . . .	70	10	700	77	0,1	7	70
Kunstseide .	13	130	1690	188	5	65	123
Summe . . .	—	—	13954	1551	—	401	1150

¹⁾ Entsprechend hohe Kesselspannung und Dampftemperatur vorausgesetzt, so daß im Durchschnitt mit etwa 9 kg Dampf je kWst im Gegendruckbetrieb gerechnet werden kann.

Um eine Vorstellung von dieser Kraftmenge zu gewinnen, sei daran erinnert, daß die gesamten Wasserkraftanlagen Deutschlands in ihrem bisherigen Ausbau von rund 1176000 kW insgesamt etwa 5,8 Milliarden kWst erzeugen ließen¹⁾. Diese 5 Industrien allein geben also als Überschußkraft ungefähr ein Fünftel der Leistung aller bisher ausgebauten deutschen Wasserkräfte; sie stellen aber nur einen kleinen Bruchteil aller jener Betriebe dar, die Überschußenergie abzugeben in der Lage wären. Es sind hierfür geeignete Industriezweige noch in großer Menge vorhanden. Uihlen errechnete in der Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure im Jahre 1927 eine Energiemenge von 2,8 Milliarden kWst, die bei Heranziehung aller hierfür geeigneten Betriebe gewonnen werden könnten. Aber auch diese Ziffer scheint zu gering zu sein.

Die Bedeutung der Gewinnung von Überschußenergie in dieser Weise ergibt sich aus den finanziellen Auswirkungen. Wenn normale mittlere Drücke, wie sie in älteren Anlagen vorherrschen, angenommen werden, lassen je 12 kg Dampf, die in diesen 5 Industriezweigen für den Betrieb verwendet werden, ungefähr 1 kWst als verkäufliche Überschußkraft gewinnen; je Tonne Dampf könnten somit 80 kWst verkauft werden. Dies ergibt, wenn der Erlös für die kWst noch so gering angenommen wird, eine namhafte Verbilligung des Dampfpreises. Wenn normalerweise eine Tonne Dampf Erzeugungskosten von z. B. 3,50 RM aufweist und für die verkaufte kWst nach Abzug des anteiligen Kapitaldienstes für die Vorschaltanlage nur 1½ Pf. hereingebracht werden, verbilligt sich der Dampfpreis um 1,20 RM je 1000 kg, das sind etwa 33%. Dies wirkt natürlich auch auf die Gesteungskosten des Erzeugnisses zurück und kann dort, wo das Dampfkonto auf die Einheit bezogen stark in die Wagschale fällt, eine Verringerung der Gesteungskosten um mehrere Hunderteile bewirken. Legt man aber hohe Kesseldrücke zugrunde, welche die Erzeugung einer kWst im Gegendruckbetrieb mit nur 6 kg oder noch weniger Dampf ermöglichen, so ist die durch Verkauf der Vorschaltkraft erzielbare Verbilligung des Nutzdampfes natürlich noch wesentlich größer.

Die Anlagekosten bei Neuerrichtung von Betrieben werden durch die Vorkehrungen für möglichst große Gewinnung von Vorschaltkraft nicht wesentlich beeinflußt, wenn man mit der Kesselspannung nur auf jene Höhe geht, welche die wirtschaftliche Bestleistung in der Gesamtheit der Kraft- und Wärmewirtschaft erzielen läßt. Mehrkosten kommen fast ausschließlich bei der Kesselanlage durch die Verwendung des entsprechend höheren Dampfdruckes in Frage; dafür ermöglicht aber der Gegendruckbetrieb die Verwendung billiger Gegendruck-Dampfmaschinen oder -Turbinen.

¹⁾ Nach Angaben der Weltkraftkonferenz: Power resources of the world, S. 47.

Wenn man zur Erzeugung der als Überschußenergie gewinnbaren Kraftmenge Dampfkraft-Elektrizitätswerke bauen wollte, müßten diese ein vielfaches dessen kosten, was die Umwandlung der vorhandenen Betriebe zum Zwecke der Gewinnung von Überschußenergie erfordern würde. Die Kondensationsanlagen allein würden bei einer Anlage von etwa 300000 kW, die bei etwa 4000stündiger Benützung die gleiche Kraftmenge geben würde, wie sie aus den 5 vorbezeichneten Industrien als Überschußenergie gewonnen wird, 15 Millionen Mark kosten, abgesehen von den laufenden Betriebskosten der Kondensationsanlagen. Der Kohlenbedarf zur Erzeugung von 1,3 Milliarden kWst in einem neuzeitlichen Elektrizitätswerke ist mit etwa 100000 t je Jahr anzunehmen. Der Mehrverbrauch an Kohle in den Industrien, welche die gleiche Kraftmenge als Überschußkraft erzeugen, dürfte nur etwa 10000 t betragen und ist, auf die kWst bezogen, fast zu vernachlässigen. Nicht viel anders, eher aber noch günstiger erscheinen die wirtschaftlichen Vorteile der Verwertung von Überschußenergie, wenn man sie mit Strom aus Wasserkraftanlagen vergleicht.

Daß die vorstehend herausgegriffenen Industrien nur als ein kleiner Bruchteil aller hier in Betracht kommenden Betriebe anzusehen sind, ergibt sich daraus, daß beispielsweise die Badeanstalten Deutschlands allein nicht viel weniger Überschußenergie abzugeben in der Lage wären, wie diese 5 Industriezweige gemeinsam. Aus Zahlentafel 31 ist ersichtlich, daß eine Badeanstalt je Besucher im Mittel 55 kg Dampf benötigt; hierbei genügt eine ganz niedere Dampfspannung, und es kann der in den Kesseln erzeugte Dampf in Vorschaltmaschinen ziemlich weit ausgenützt werden. Unter diesen Umständen werden sich aus den 55 kg Dampf schon bei mittleren Spannungen etwa 5,5 kWst gewinnen lassen. Da aber der Selbstbedarf der Badeanstalt, wie ebenfalls aus Zahlentafel 31 ersichtlich, nur etwa 0,3 kWst je Besucher beträgt, können 5 kWst je Besucher als Überschußenergie abgegeben werden. Rechnet man mit insgesamt nur 200 Millionen Badebesuchern je Jahr, so ergibt sich hieraus eine Überschußenergiemenge von 1 Milliarde kWst. In der Größenordnung nicht sehr verschieden wird die Energiemenge sein, die in der gleichen Weise aus den Wäschereien gewonnen werden könnte; ebenso würden die Färbereien als Überschußkraftlieferanten größten Stils in Frage kommen u. v. a. m.

Die einfachste Verwertung würden diese Energiemengen finden, wenn sie, wie bereits erwähnt, in Überlandnetze eingeleitet würden. Da jedoch dann diese Netze nicht wie bisher nur von einer oder von wenigen großen Zentralstellen aus, sondern auch von vielen kleinen Stromlieferanten mit Strom versorgt würden, wären die Überlandwerke nicht mehr wie bisher nur Erzeuger und Verkäufer von Elektrizität, sondern auch Stromabnehmer und es müßte die Organisation dieser

Werke zum Zwecke des Kleineinkaufes von Strom entsprechend ergänzt oder umgewandelt werden. Der Notwendigkeit einer derartigen Umstellung steht ein gewisses Trägheitsmoment entgegen, das gewiß mit daran schuld ist, daß das großzügige Einsammeln von Überschußstrom größerer und kleinerer Betriebe bisher nicht in jenem Ausmaße durchgeführt wird, wie es seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung entspräche. Die zentralisierte Elektrizitätserzeugung und ihre Einlieferung in ein großes Netz von wenigen großen Zentralen aus ist natürlich einfacher als die mühevollte Obsorge für eine große Zahl kleinerer Elektrizitätslieferanten mit allen dazugehörigen Beaufsichtigungen und Verrechnungen. Begreiflicherweise wird hiervon weniger gesprochen, dahingegen werden vielfach von maßgebenden Stellen Gründe technischer Natur für die Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit der Aufnahme von Überschußkraft in die gemeinsamen Netze angeführt.

Technisch unlösbare Schwierigkeiten bestehen aber für die Lösung aller hier in Betracht kommenden Aufgaben kaum mehr. Das Einleiten verschiedener kleinerer und größerer Strommengen in ein großes Netz ohne Gefährdung der an das Netz angeschlossenen Einrichtungen ist nicht nur technisch durchführbar, es hat sich in vielen Fällen sogar gezeigt, daß hierdurch Vorteile für die Gesamtheit der Elektrizitätsversorgung erzielt werden können¹⁾.

Als weitere Schwierigkeit für die Aufnahme von Überschußstrom wird die Tatsache angeführt, daß diese Strommengen eben zu jenen Zeiten aufgenommen und verwertet werden müssen, zu denen sie anfallen. Diese Tatsache besteht zurecht, kann aber natürlich auf die Gesamtheit der Versorgung keinen anderen Einfluß ausüben, als die Verschiedenheit der Stromentnahme durch verschiedene Stromabnehmer. Die Rückwirkungen auf den Gesamtbetrieb können bei plötzlicher Einschaltung einer Lieferung ins Netz keine anderen sein als die plötzliche Entnahme der gleichen Strommenge; es müßten infolgedessen auch keine anderen Vorkehrungen für die Stromlieferung in dieser Hinsicht getroffen werden, als sie für die Stromentnahme bereits gang und gäbe sind. Der Einfluß des „Verschiedenheitsfaktors“ ist für die Stromentnahme nach allen Richtungen hin untersucht. Insbesondere ist festgestellt worden — übrigens ist es auch einleuchtend —, daß Betriebszufälligkeiten, die bei einzelnen Verbrauchern auftreten, einen um so geringeren Einfluß ausüben, je mehr Einzelverbraucher an das Netz angeschlossen sind. „Der Verschiedenheitsfaktor wird am günstigsten bei Betrieben, bei denen zwar die Benutzungsdauer jedes einzelnen Abnehmers gering, der Zeitpunkt der Benutzung aber frei ist, d. h. durch keinerlei bestimmte regelmäßig wiederkehrende Umstände be-

¹⁾ Arch. Wärmewirtsch. Jg. 1924, H. 12, S. 228 u. f.

dingt wird. Derartige Teilnehmer wirken sich in ihrer Gesamtheit durchaus günstig für das Elektrizitätswerk aus“ . . .¹⁾.

Bei kurzer Benutzungsdauer und einer genügenden Zahl gleichartiger Abnehmer gleichen sich die Einzelbelastungen so aus, daß sie im Werk wie ein Abnehmer mit größerer Benutzungsdauer wirken. Aber auch wenn die Anschlußwerte der einzelnen Abnehmer wesentlich voneinander abweichen, tritt doch auch hier ein gewisser Ausgleich ein, vor allem natürlich bei großen Überlandzentralen mit Tausenden von Abnehmern. Dadurch verbessern Abnehmergruppen mit hohem Verschiedenheitsfaktor unmittelbar den Belastungsfaktor eines Werkes und puffern starke Belastungsspitzen nicht unerheblich ab. Das gleiche gilt natürlich auch für Stromlieferanten, und es ist von diesem Gesichtspunkte aus gerade die vielfach gefürchtete große Anzahl kleiner Stromlieferanten vielleicht noch gegenüber einer kleineren Anzahl von großen Stromlieferanten vorzuziehen. Übrigens hat die Verwertung der Überschubenergie in größeren Überlandnetzen, wie sie bisher als Anfang einer hoffentlich rasch vorwärts strebenden Entwicklung bereits eingeführt ist, zu irgendwelchen Mißständen, die eine grundsätzlich ablehnende Haltung rechtfertigen würden, keine Veranlassung gegeben.

IV. Verbundwirtschaftlicher Zusammenschluß; Reichssammelschiene.

So sind denn alle Voraussetzungen für jene große energiewirtschaftliche Vereinigungen gegeben, die in der Elektrotechnik durch den Begriff der „Sammelschiene“ gekennzeichnet werden und im Gesamtgebiet der Kraft- und Wärmetechnik in dem noch umfassenderen Wort der „Verbundwirtschaft“ ihren Ausdruck finden. Während noch gelegentlich der Verfassung der früheren Auflagen des vorliegenden Buches einzelne Beispiele für die Verwertung von Überschubkraft oder Abwärme des einzelnen industriellen Betriebes über den Rahmen seiner eigenen Grenzen hinaus nur mühselig zusammengetragen werden konnten, zeigen schon die vorstehenden Ausführungen, wie sehr die Verbundwirtschaft in des Wortes umfassendster Bedeutung in kurzer Zeit immer größere Kreise zog. Dies bezieht sich, wie aus den hier beschriebenen Anlagen ersichtlich, nicht nur auf die Verschiedenartigkeit und Vielgestaltigkeit der Vereinigung energiewirtschaftlicher Aufgaben, sondern auch auf Größe und Umfang der in den Bereich dieser großen Vereinigungen einbezogenen Einzelanlagen und schließlich auch darauf, daß auch in der Literatur die Frage der Verbund-

¹⁾ Hausfelder: Zur Frage der Reserve-Stromlieferung von Elektrizitätswerken. Techn. Wirtsch. 1929, H. 11, S. 300.

wirtschaft bereits eingehend und von verschiedensten Gesichtspunkten beleuchtet wird.

Von größter Wichtigkeit ist, daß sich die früher einseitig eingestellten Denkungsarten der Fachleute verschiedener Arbeitsgebiete durch die gemeinsame Bearbeitung der Teilfragen in vorteilhafter Weise gegenseitig ausgeglichen haben. Die Gegnerschaft der Wärmetechniker gegen einen zu umfassenden Wasserkraftausbau und die Geringschätzung, welche die Wasserkrafttechniker den Fragen der Dampfkraftwirtschaft früher vielfach entgegenbrachten, hat sich mehr hemmend als aufbauend ausgewirkt. „Heute ist wohl auch dieser Bruderkrieg zwischen schwarzer und weißer Kohle ziemlich überwunden und Fachleute von Einsicht und wirtschaftlichem Weitblick von beiden Lagern erkannten, daß die Höchstaussnutzung nicht in einem Wettkampf beider Energieträger um die Elektrizitätserzeugung, sondern in einer wohl durchdachten Aufgabenteilung auf dem Gesamtgebiet der Energie- und Wärmewirtschaft liegt. Nur so können die besonderen Eigenschaften von Kohle und Wasserkraft wirtschaftlich ausgewertet werden“¹⁾. Diese Erkenntnis der Fachleute muß allerdings noch den Weg bis zu den Wirtschafts-, Verwaltungs- und Finanzkreisen, deren einseitige Einstellung noch nicht ganz überwunden ist, finden. In jedem einzelnen Fall, gleichgültig, ob es sich um die Errichtung einer Wasserkraftanlage oder um die Beschaffung billigen Stromes aus Dampfkraftwerken oder um die Einrichtungen zur Verwertung von Vorschalt- oder Überschußstrom industrieller Betriebe handelt, muß unabhängig von der durch Schlagworte oft einseitig beeinflussten öffentlichen Meinung, zunächst die Wirtschaftlichkeitsrechnung den ihr zukommenden maßgebenden Einfluß auch in der Frage der Bereitstellung der Kapitalien erhalten. Dabei sind allerdings nicht nur Bedürfnisse des Augenblickes und Forderungen des Tages, sondern planmäßige Voraussicht für die Zukunft unter Bedachtnahme auf alle Entwicklungsmöglichkeiten zu beachten. Große, bereits vorhandene, verbundwirtschaftliche Vereinigungen weisen den Weg hierzu und die möglichste Verbreitung der Kenntnis ihrer technischen Grundlagen und wirtschaftlichen Erfolge, sowie ihres großen Nutzens für die Gesamtheit werden die angestrebten Ziele in hoffentlich nicht allzu langer Zeit erreichen lassen.

Eine der größten verbundwirtschaftlichen Vereinigungen dieser Art ist das Rheinisch-Westfälische Elektrizitäts-Werk A.-G., Essen (R.W.E.), das im Geschäftsjahr 1927/1928 eine nutzbare Stromabgabe von nahezu 1,5 Milliarden kWst aus dem eigenen und den Tochterunternehmungen aufwies. Hierzu kommt aber noch eine Strommenge von etwa 700 Mil. kWst, die aus jenen Unternehmungen abgegeben wurde, bei denen das

1) Ornig, I.: Österreichs Energiewirtschaft. Wien: Julius Springer 1927.

Rheinisch-Westfälische Elektrizitäts-Werk maßgebend beteiligt ist. Mit der Abgabe von insgesamt 2,1 Milliarden kWst stand dieses Unternehmen schon im Jahre 1928 an erster Stelle Deutschlands; es ist aber noch in stetiger weiterer Entwicklung begriffen. Diese Gesellschaft, deren Stromlieferungsgebiet den ganzen Westen Deutschlands umfaßt, hat auch schon im Jahre 1922 mit der ersten Leitungsstrecke für eine Spannung von 220000 V begonnen. Durch diese Leitung soll der ganze westliche Teil Deutschlands von der holländischen Grenze nach Süden bis zu dem in Errichtung befindlichen Wasserkraftwerke Vermunt der Vorarlberger Illwerke in den österr. Alpen durchzogen werden. Insgesamt verfügt das R.W.E. heute schon über viel mehr als 2000 km Höchstspannungsleitungen von 110000 und 220000 V. Die Stromerzeugung erfolgt zum großen Teil in eigenen reinen Dampfkraft-Elektrizitätswerken, dann aber auch in industriellen Betrieben, die Vorschalt- oder Abfallenergie abgeben, und schließlich in Wasserkraftanlagen, von denen die bereits erwähnten Illwerke zu den größeren gehören.

Mitteldeutschland wird durch die, wenn auch nicht ebenso große, so doch den Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerken in ihrer Vieltätigkeit ebenbürtige Elektro-Werke A.-G. mit Strom versorgt. Die größte Zentrale dieser Gesellschaft in Zschornowitz ist im Jahre 1926 schon auf 230000 kW ausgebaut gewesen, und es werden dort mehr als eine Milliarde kWst erzeugt. Diese und die meisten anderen zu diesem Konzern gehörigen Dampfkraftzentralen haben die mitteldeutsche Braunkohle zur Grundlage, hängen aber auch ihrerseits wieder mit den Bayrischen Wasserkraft-Elektrizitätswerken zusammen.

Wenn dann auch noch die geplante Verbindung der Elektro-Werke mit dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk hergestellt sein wird, wird die Verwirklichung des Gedankens der deutschen Reichssammelschiene in großzügiger Weise in die Wege geleitet sein. Berücksichtigt man noch, daß das R.W.E. sich außer mit der Erzeugung und dem Vertrieb von Elektrizität auch noch mit der Gasfernversorgung im westlichen Deutschland befaßt, indem es seine Vertriebsseinrichtung auch in den Dienst der Gasfernlieferung stellt (schon im Jahre 1928 wurden weit mehr als 10 Mill. m³ Gas im Versorgungsgebiet des R.W.E. verkauft), so zeigt sich hier eine Zusammenfassung energie-wirtschaftlicher Fragen, wie sie weit über die kühnsten Gedanken der Männer hinausgeht, die den Begriff der Reichssammelschiene geschaffen haben.

Und noch ehe die Verbundwirtschaft im Sinne der Reichssammelschiene voll zur Auswirkung kam, trat schon die Aufgabe der Verwertung der Energien über die Grenzen der Staaten hinaus in Erscheinung. Die Stromausfuhr, in wasserkraftreichen Ländern schon vor Jahren

eine zeitgemäße Frage, bildet bei den großen Kraftmengen, mit denen jetzt gerechnet werden muß, den Gegenstand zwischenstaatlicher Verhandlungen von größter Bedeutung. Die Bedingungen des Verkaufes von Strom an das Ausland beschäftigen die Behörden und die Verwirklichung großer technischer Entwürfe hängt von den diesbezüglichen Entscheidungen ab. Aus rein privatwirtschaftlichen Anfängen hat sich die Deckung des Energiebedarfes zu einer Hauptaufgabe der Volkswirtschaft entwickelt; sie dehnt sich allmählich zu einer Lebensfrage der Weltwirtschaft aus.

Sachverzeichnis.

(Dieses Verzeichnis gilt auch für den I. Band.

Die römischen Zahlen vor den Seitenhinweisen geben den Band an.)

- Aalberg-Ofen II, 202.
Abbrand(kohlen) I, 16, 50.
Abbrandverluste I, 16.
Abbrennen II, 173.
Abdampf I, 205, II, 214.
Abdampfentölung II, 35.
Abdampfheizung I, 5, 181, 208, 212, 213.
Abdampfkochung II, 35.
Abdampfregler siehe Regeleinrichtung.
Abdampfüberschuß II, 241.
Abdampfverwertung I, 22, 42, 65, 176, 199—201, 205—219, II, 216—230.
Abfallenergie II, 69, 74, 219, 234, 271.
Abfallenergieverwertung II, 70.
Abfallkraft I, 170, II, 69, 228, 230, 231.
Abfallstoffe II, 177.
Abgaskanal II, 256.
Abgastemperatur bei Drehöfen II, 202.
Abgasverwertung II, 107.
Abgaswärme II, 106, 107.
Abgaswärme, Ausnützungsgrenze I, 174.
Abgaswärme, zur Warmlufterzeugung II, 198.
Abhitzeanlagen I, 22, II, 180, 197, 203.
Abhitzeausnützung II, 198.
Abhitzedampf II, 181.
Abhitzekessel I, 80, II, 79, 80, 198, 208.
Abhitzeverwertung I, 22, 42, 175, II, 180, 188, 198, 204.
Abkühldauer, Herabsetzung der II, 199.
Abkühlkurve II, 193.
Abkühlzeit II, 192.
Abkühlzone II, 187.
Abkühlung(verluste) I, 16, II, 134.
Ablauge II, 163.
Ablaugespiritus II, 108.
Ablaugewärme II, 107.
Abläutern II, 165.
Ablufttemperatur, Einfluß der II, 19.
Absatzgebiete I, 28.
Abschlacken I, 68.
Abschreibung I, 10, 13, 248, 254, 260.
—, Quote (Sätze) I, 11, 12, 14, 123.
Absorptions-Kälteanlage siehe Aufsaug-Kälteanlage.
Abwärme I, 21, II, 231.
— von Auspuffgasen I, 219, 221.
Abwärmebetrieb II, 230.
Abwärme des Dieselmotors I, 220.
Abwärmefluß I, 190, II, 80.
Abwärme in der Keramik siehe Abhitzeanlagen.
— des Kiesofens II, 103.
Abwärmemenge im Kühlwasser I, 219.
Abwärmeträger II, 218.
Abwärmetrocknung II, 183.
Abwärmeverlust II, 220, 225.
Abwärmeverwertung I, 3, 6, 43, 114, 167—222, II, 176, 271.
Adiabatische Expansion II, 217.
Admissionsspannung siehe Eintrittsdruck.
Aggregatzustand II, 256.
Akkumulatorenbatterie (Umformungsverluste) I, 9, 14, 107.
Aktiengesellschaft I, 11.
Alkohol II, 171—175, 308.
Alkoholbrennen, Kraftbedarf II, 175.
Altwert I, 12, 13.
Aluminium II, 10, 234.
Ammoniak (-Kompressor) II, 10, 159, 160, 211, 212, 215.
Amortisation siehe Tilgung.
Anfangsspannung I, 44, 57, 60, II, 218, 225, 227.
Anfangsüberhitzung, Wahl der I, 57.
Angären II, 140.
Angebote (Angaben) I, 36, 132, 147, 167, II, 245.
Anheizen I, 5, 16.
Anheizkohlen I, 50.

- Anheizkosten bei Raumheizung I, 214.
 Ankochzeit II, 120, 133.
 Anlagekosten I, 9, 10, 147—167, II, 243, 250, 309.
 —, Dampfanlagen I, 157.
 —, Dampfkraft E.-Werken II, 62.
 —, Dampfmaschinen I, 155.
 —, Dampfspeisepumpen I, 152.
 —, Dieselmotoren I, 158.
 —, Elektromotoren I, 165.
 —, Elektr. Zentralen I, 10, 165.
 —, Gaserzeugungsanlage I, 158.
 —, Gegendruckmaschine II, 249.
 —, Halbgasfeuerung I, 154.
 —, Höchstdruckkessel I, 150.
 —, Kessel I, 148, 149, 151.
 —, Kesselanlagen I, 152.
 —, Kesseleinmauerung I, 151.
 —, Kleindiesel I, 160.
 —, Lokomobile I, 156.
 —, Niederdruckdampfheizung I, 232 bis 235.
 —, Sauggasanlage I, 158.
 —, Schornstein I, 153.
 —, spezifische I, 10.
 —, Turbodynamo I, 155.
 —, Überhitzer I, 152.
 —, Verbrennungskraftmaschine I, 161.
 —, Wasserreiniger I, 152.
 —, Wanderrost I, 149, 154.
 —, Wurfbeschicker I, 154.
 —, Zwischendampfmaschine II, 249.
 Anschaffungskosten I, 9, 234, II, 203.
 Anschlußleistung I, 245.
 Anschlußstation II, 293.
 Anschlußwert II, 53, 286, 292.
 Ansnüren II, 128.
 Anstellhefe II, 171, 176.
 Anzapfbetrieb I, 198, II, 116, 236.
 Anzapfdampf-Vorwärmung I, 44.
 Anzapfdruck siehe Entnahmedruck.
 Anzapfmaschine I, 193, II, 240, 244.
 Anzuchthaus II, 279.
 Apold-Fleissner Erzröstverfahren II, 78.
 Appretur II, 129, 272.
 Arbeiterzahl, Keramik II, 7, 179.
 Arbeitsvermögen des Dampfes I, 183, II, 219.
 Aroma II, 162.
 Aschengehalt I, 47, II, 274.
 Aschenentfernung I, 73.
 Ätzkalk II, 205.
 Aufbäumen II, 128.
 Aufbereitung in der Keramik II, 181.
 Aufkocher II, 152.
 Aufnahmefähigkeit von Wasser I, 213, 214, II, 214, 257, 258.
 — von Luft II, 19.
 Aufnehmerdruck I, 194—196.
 Aufroller II, 118.
 Aufsauge-Kälteanlage II, 157, 159, 160, 213—215.
 Aufspeisen II, 254.
 Aufteilungsschlüssel II, 268.
 Aufzüge I, 5, 6, 27, II, 101, 164.
 Augenblicksspitzen II, 266.
 Augenblicksreserve siehe Momentanreserve.
 Ausbau einer Anlage I, 27, 249.
 Ausbaugröße einer Wasserkraftanlage II, 57.
 Ausbeute bei Getreide II, 139.
 — bei Holz II, 103.
 — bei Kartoffelschnitzel II, 155.
 Ausdehnungsverhältnis II, 226, 228.
 Ausgaben, fortlaufend I, 24.
 Auslaugegefäß II, 144.
 Auslaugung II, 149.
 Ausnützung I, 6, 10, 13, 16, 29—31, 40, 172, 248, 253, II, 54, 59—64.
 — der Anlage II, 52.
 — in Bahnwerken II, 65.
 Ausnützungsdauer von Fernheizwerken II, 295.
 — österr. E.-Werke II, 65.
 — des Kapselraumes II, 194.
 Auspuff II, 239, 244.
 Auspuffdampf, Unwirtschaftlichkeit II, 247—250.
 Auspuffverwendung I, 200, 201, 212 bis 215.
 Auspuffmaschine I, 39, 178, 248, 253, II, 218.
 Ausrüstung II, 129.
 Ausschußziffer, Einfluß der II, 194.
 Außenfeuerung II, 207.
 Außentemperatur, Einfluß der I, 214.
 Austauscher II, 278.
 Austreiber II, 213.
 Automatische Feuerungen I, 69, II, 254.
 Autoklaven II, 109.
 Bäckerei II, 140, 141.
 Backfähigkeit II, 139.
 Backofen II, 267.

- Backtemperatur II, 141.
 Badeanstalten I, 254, II, 234, 279, 310.
 Ballenbrecher II, 124.
 Bandweberei II, 299.
 Bankzinsfuß I, 10.
 Bast II, 124.
 Batteriekessel I, 76.
 Baukosten I, 9.
 Baumégrade und spez. Gewicht II, 45.
 Baumwolle II, 123.
 Baumwollumpen II, 115.
 Bayernwerk II, 69.
 Becheraufzug II, 164.
 Bedarfsschwankungen II, 252.
 Bedienungskosten für versch. Kraftanlagen I, 120—123.
 Bedienungspersonal I, 2.
 Begichtungssäule II, 206.
 Beharrungszustand I, 17.
 Belastungsbild I, 15.
 Belastungsdauer (höhe) I, 4.
 Belastungsfaktor I, 131.
 Belastungsgebirge von E.-Werken II, 67, 68.
 Belastungsgrad I, 16, 25, 26.
 Belastungskurve II, 260.
 Belastungsspitzen, Deckung durch Fremdstrom I, 248.
 Belastungsstufen, kennzeichnende I, 5.
 Beleuchtung I, 4, 5.
 Bemessung der Anlage I, 1.
 Benützungsdauer siehe Ausnützung.
 Benzin I, 114.
 Benzinmotor, Betriebskosten für I, 259.
 Benzol I, 114.
 Beratung, fachmännische I, 1, 37, 263.
 Beschauelung I, 57.
 Bessemer-Verfahren II, 82.
 Betätigungsleitung II, 251.
 Betonbauweise II, 292.
 Betonkanal II, 289—291.
 Betriebsbild I, 6, 7, 8, 34, 249.
 Betriebserfahrung I, 4.
 Betriebsführung, ideale I, 201.
 Betriebsgruppen II, 296.
 Betriebskonstante II, 296.
 Betriebskontrolle siehe Überwachung.
 Betriebskosten I, 3, 4, 6, 15, 30, 33, 123, 258, 259, 260, II, 55, 61, 285.
 — eines Dieselmotorkraftwerkes I, 31.
 —, Ermittlung, Schema für I, 254.
 —, feste I, 11, 15, II, 55, 61.
 Betriebskosten bei Fremdstrombezug I, 41, 247.
 —, jährliche I, 9.
 — für Niederdruckdampfheizung I, 233.
 —, spezifische I, 17.
 —, veränderliche I, 15, 256, II, 55, 61.
 —, Vergleich I, 249.
 — eines Wasserkraftwerkes I, 31, II, 55—57.
 — für eine 10000-kW-Zentrale I, 30.
 Betriebskraft, Wahl der wirtschaftlichen I, 35.
 Betriebsrapport II, 268.
 Betriebssicherheit I, 1, 2, 84, 249, 264.
 Betriebsstörung I, 2.
 Betriebsstundenzahl, höchstmögliche I, 29.
 Betriebsüberwachung siehe Überwachung.
 Betriebsverhältnisse für Economiser I, 81.
 — für Einzelöfen II, 187.
 Betriebszeitfaktor II, 54.
 Betriebszuschläge I, 16, 17, 143.
 Bewässerungsanlage II, 277.
 Bierbrauerei I, 5, 6, 24, 27, 42, 199, 216, 237, II, 163, 210, 234, 235.
 Bindungen II, 128.
 Bisulfitlauge II, 102.
 Bituminöser Brennstoff I, 102.
 Blasenapparat II, 173, 174.
 Blechummantelung für Kessel I, 74.
 Bleichen (Kraftbedarf) II, 111, 128.
 Bleichholländer II, 110.
 Bleichkessel II, 129, 133.
 Bleirohrkühler II, 102.
 Blindstrom I, 242.
 Blockeis II, 157.
 Bodenertrag II, 8, 279.
 Bodenerwärmung II, 277.
 Bodenheizkabel II, 279.
 Brandführung II, 184, 186.
 Brandrisse II, 182.
 Brandverlauf, Beobachtung II, 189.
 Brauerei siehe Bierbrauerei.
 Brauereiabdampfbetrieb II, 201.
 Braupfanne II, 165.
 Blechmühle II, 101.
 Brennapparat II, 177.
 Brenndauer in der Keramik II, 190, 192, 193, 199.
 Brennen von Kalk II, 205.

- Brennerei (Alkohol) I, 7, II, 108, 172, 177.
 Brennfehler II, 184.
 Brenngut II, 181.
 Brennhilfsmittel II, 181, 185.
 Brennmaterialverbrauch siehe Brennstoffverbrauch.
 Brennöfen II, 180, 183—186, 187, 193, 201, 202.
 Brennraum, Ausnützung des II, 194.
 Brennstoff, fest, flüssig, gasförmig I, 20.
 Brennstoffaufwand, unmittelbarer I, 23.
 Brennstoffausnützung I, 44, 172, II, 283.
 — bei Braupfannen II, 165.
 — bei Dampfbraupfannen II, 166.
 — bei Einzelöfen II, 185.
 — bei Porzellanrundöfen II, 185.
 Brennstoffbedarf bei Zementöfen II, 200.
 Brennstoffersparnis I, 136, 172, II, 185.
 Brennstoffförderung I, 9.
 Brennstoffkontrolle siehe Überwachung
 Brennstoffkosten I, 9, 16, 34, 123—127, 137, 146, II, 273.
 Brennstofflagerung I, 9.
 Brennstoffpreise für Betriebsmittel I, 19, 52, 53, II, 63.
 Brennstoffverbrauch I, 4, 97, 139, II, 74.
 — bei Drehöfen II, 203.
 — bei E.-Werken II, 62.
 — bei Leistungsänderung I, 139, 141.
 — für Porzellan II, 194.
 — von Kleinmotoren I, 146.
 Brennstoffverluste I, 49, 142.
 Brenntemperatur von Kalk II, 205.
 Brennvorgang II, 184.
 — in der Keramik II, 180.
 — bei Zement II, 202.
 Brennzone (feststehend, wandernd) II, 185.
 Brikett I, 143, 216, II, 109.
 Broterzeugung II, 138.
 Bruchkörner II, 164.
 Brüden (dampf) II, 42, 109, 151, 153, 162.
 Brunnen I, 9.
 Buchwert I, 13.
 Carborundum II, 10.
 Chamotte siehe Schamotte.
 Charakteristik, wirtschaftliche II, 54.
 Chemische Industrie I, 24, 199, II, 7.
 Chlorkali II, 10.
 Chlorat II, 10.
 Chlorerzeugung, elektrolytisch II, 111.
 Chlorkalk II, 116.
 Converter-Birne II, 82.
 Cowperapparat II, 78.
 Dabeg-Zylinderentwässerung II, 27.
 Dachziegel II, 188.
 Dampfabnehmer II, 295.
 Dampfanlage, Überlastbarkeit I, 28.
 Dampfbackofen II, 142.
 Dampfbedarf siehe Dampfverbrauch.
 Dampfbildung II, 256.
 Dampfblasen II, 34, 256.
 Dampfbraupfannen II, 165.
 Dämpfen II, 103, 104, 129.
 Dampfentnahme, widerrechtliche II, 294.
 Dampfentölung I, 65, 189.
 Dampferzeugung I, 45, II, 267.
 Dampfersparnis siehe Ersparnis.
 Dampffahne II, 250.
 Dampfgebläse II, 79.
 Dampfgeschwindigkeit II, 254, 306.
 Dampfheizbetrieb II, 197.
 Dampfkessel siehe Kessel.
 Dampfkochung II, 32, 166.
 Dampfkompressor II, 176.
 Dampfkraftanlagen I, 39, 41—96.
 Dampfleistungen von Kesselanlagen I, 77.
 —, maximale I, 76.
 — der Wärmeleistung II, 301.
 Dampfmaschine I, 3.
 —, Anlagekosten I, 3.
 —, Vorteile der I, 188.
 Dampfmessung I, 7, 8, 43, II, 255, 269, 270, 294, 295.
 Dampfnässe I, 178.
 Dampfpreise I, 45, 48—54, II, 248, 309.
 — bei verschiedenen Brennstoffen I, 54.
 — bei Zellpechfeuerung II, 110.
 Dampfpriessgrenzen für versch. Kohlenarten I, 52.
 Dampfpumpe I, 96, II, 174.
 Dampfreinheit I, 189.
 Dampfsammler II, 253.
 Dampfspannung, Nachteile fallender II, 254.
 Dampfspeicher siehe Speicher.
 Dampfspeicherung siehe Speicherung.
 Dampfspeisepumpen, Kosten von I, 152.
 Dampfstöße II, 256.
 Dampfstrahlunterwind II, 208.

- Dampftechnik, Perioden der I, 55.
 Dampfuhr siehe Dampfmesser.
 Dampfumformer I, 96.
 Dampfverbrauch, Änderung bei Turbinen I, 59.
 — einer Brauerei I, 6, II, 167.
 — zum Dämpfen II, 98, 104.
 — für Dampfmaschinen I, 55, 124 bis 137, 187, 188, 196—198, II, 226.
 — eines Destillierapparates II, 49.
 — für Entkeimen II, 157.
 — für Fertiggapier II, 117.
 — bei Gegendruckbetrieb I, 188.
 — von Gerbfässern II, 89.
 — einer Hammerschmiede I, 7.
 — der Heißdampfmaschine I, 124.
 — für Heizung II, 159.
 — der Idealmaschine II, 128, 220, 227.
 —, Kälteerzeugung II, 158, 214, 215.
 —, Kammertrockner II, 132.
 — für Kochung II, 106, 107, 108, 274.
 — bei Kondensation I, 188, II, 247.
 — von Kondensationsmaschinen I, 195 bis 197, II, 158.
 — für Laugeneindickung II, 109.
 — der Ledererzeugung II, 90.
 — bei Leistungsänderung I, 136.
 — für Mehl II, 139.
 — von Molkereien II, 159, 160.
 —, Papiermaschine II, 116.
 — von Raffinerien II, 154.
 —, Rindenverarbeitung II, 88.
 — für Röhrenbündeltrockner II, 179.
 — für Rohrzucker II, 154.
 — der Satttdampfmaschine I, 124.
 — von Schmierfässern II, 89.
 — einer Spiritusfabrik I, 6, 108.
 Dampfverbrauchspitzen (Täler) II, 259.
 Dampfverbrauch, Textilbetriebe II, 127, 131, 132, 136, 137.
 — beim Trocknen II, 20.
 — von Turbinen I, 129, 130, 135, 191, 199.
 — bei Überhitzung I, 126.
 —, Verminderung des I, 56.
 — für Zellstoff II, 256.
 Dampfverbrauchsnummer II, 270.
 — für Zucker II, 154.
 — bei Zwischendampfentnahme I, 196, 198.
 — von Zylindertrockenmaschine II, 132.
 Dampfverhältnisse in den Zwischen-
 dampfmaschinen II, 245.
 Dampfverteilungsplan II, 259.
 Dampfverwendung, wirtschaftliche I, 45.
 Dampfzentrale, Rücksichten auf II, 253.
 Darretrocknung II, 163, 164.
 Dauerleistung I, 140, II, 252.
 „Decken“ II, 146.
 Deckenheizung II, 118.
 Deflegmator II, 174.
 Dekatierung II, 129.
 Destillation, Dampfverbrauch der II,
 174.
 — von Speisewasser I, 86.
 Destillierapparat II, 113, 172, 176.
 Destillieren II, 41, 48.
 Destillieren, Kraftbedarf II, 174.
 Destillierblase II, 48.
 Deutscher Ofen II, 185.
 Dextrin II, 236.
 Dezentralisation I, 112, 139.
 Dickmaischverfahren II, 234.
 Dieselmotor, Betriebskosten eines
 I, 31.
 Dieselmotor I, 14, 21, 40, 98—100,
 109—114, 144, II, 140, 177, 240, 251.
 —, Abwärmeverwertung I, 114, 219.
 —, Anlagekosten I, 158.
 —, Betriebskosten für I, 111, 260.
 —, Kapitalkosten I, 33, 34, 40.
 —, Konzessionspflicht I, 113.
 —, Nachteile I, 113.
 —, Ölverbrauch I, 138.
 —, Raumbedarf I, 113.
 —, thermische Brennstoffausnutzung
 I, 111.
 —, Überlastungsfähigkeit I, 111.
 —, Vorteile I, 112, 139.
 —, Wartung I, 112.
 Dietzcher Etageofen II, 202.
 Diffusionsgeschwindigkeit II, 183.
 Diffusor I, 57, II, 144.
 Dinglersche Formel I, 197.
 Dividende I, 11.
 Doppelbodenkocher II, 37.
 Doppelrohr-Gegenstrom-Verflüssiger
 II, 212.
 Doppelwirkende Maschine I, 100.
 Draht II, 124.
 Drehofen II, 201, 203, 208.
 Drehrostgenerator I, 103.
 Drehscheibe II, 182.

- Dreiachsensystem II, 227, 245, 246.
 Dressler Ofen II, 188.
 Drosselventil II, 211, 213.
 Druckerei II, 272.
 Druckgas I, 103.
 Druckheißwasser II, 40.
 Druckluft II, 144.
 Druckluftanlagen II, 155.
 Druckluftanlasser I, 106.
 Druckminderventil II, 262, 292, 294.
 Druckölsteuerung II, 262.
 Druckregler siehe Regeleinrichtung.
 Druckstufen I, 182.
 Druckvolumen-Schaubild II, 246.
 Düngemittel II, 175, 277.
 Dünnsaft II, 146.
 Durchlüften II, 176.
 Durchschießen II, 128.
 Durchschnittsbelastung bei Kessel II, 254.
 Durchschnittswerte I, 4, 5.
 Durchwirbelung, mechanische II, 36.
 Edelkraft II, 58.
 Eigenkraftanlage I, 241—248, II, 51.
 Einheitszinssatz I, 11.
 Einmaischen II, 163.
 Einsäuern II, 145.
 Einschlagen II, 128.
 Einsetzen von Kalk II, 206.
 Einsetzweise, Einfluß der II, 194.
 Eintauchkühler II, 171.
 Eintrittsdruck, Einfluß des I, 44, 57, 60, II, 218, 225, 227.
 Einzelluftapparat I, 209.
 Einzelantrieb I, 236, 237, II, 129.
 Einzelwirkungsgrad I, 169.
 Einzelofen II, 184.
 Einzylinderlokomobile, Betriebskosten für I, 261.
 Eis II, 11, 157, 234.
 Eisbildung II, 210.
 Eiserzeugung I, 6, II, 167, 212, 307.
 Eisfarben II, 131, 216.
 Eiskeller II, 209.
 Eiswerke II, 210.
 Eisenbeton II, 200.
 Eisengehalte II, 82.
 Eisenhüttenwerke I, 253, II, 77—85.
 Ekonomiser I, 48, 75, 80—83, 174, II, 203.
 Eldred-Verfahren II, 208.
 Elektrische Verluste I, 238, II, 72.
 — Zentralen, Anlagekosten I, 155, 166.
 Gerbel-Reutlinger. Wärmewirtschaft II.
 Elektrizität II, 11, 234, 276, 311.
 Elektrizitätsverbrauch im Haushalt II, 3.
 — in der Industrie II, 5.
 — in der Landwirtschaft II, 4.
 Elektrizitätswerke II, 310.
 — Rußlands II, 61.
 Elektrobacköfen II, 140, 142.
 Elektrochemische Industrie II, 233.
 Elektro-Chloralkali II, 10.
 Elektrodampferzeugung I, 246, II, 96, 266.
 Elektrolyse (Wasser) II, 10, 70, 71.
 Elektrolytische Reinigung I, 117, II, 109.
 Elektromotore, Anschaffungskosten I, 164—167.
 —, Wahl der I, 3, 250.
 Elektroporzellan II, 180, 194.
 Elektrostahl II, 78.
 Elektrostahlofen, Wärmebedarf II, 81, 82.
 Emulsion II, 156.
 Endtemperatur bei Garbrand II, 188.
 Energie II, 1, 52.
 Energiebedarf der Industrien II, 3, 234.
 Energieerzeugung, Steigerung der II, 2.
 Energie aus Flußläufen II, 57.
 Energieplan I, 4.
 Energie, Sonnen II, 2.
 Energieüberschuß I, 172.
 Energievergeudung II, 1.
 Energieverluste I, 238.
 Energieversorgung II, 288.
 Energiewirtschaftliche Kennziffer II, 230—237.
 Entgasung I, 85.
 Entkeimen II, 156.
 Entladung II, 257, 258, 260.
 Entlüftung von Heizungen I, 205.
 Entnahmedampf II, 269.
 Entnahmedruck (spannung) I, 194, 195, II, 243, 246.
 Entnebelung II, 26, 134.
 Entölung I, 65, 189, II, 35, 121, 130.
 Entstaubungsanlage I, 231.
 Entropie-Diagramm (Tafel) II, 227, 246.
 Entwässerung II, 30, 100, 111, 116, 119.
 Entwertung der Anlage I, 11, 14.
 Entwurf einer Neuanlage I, 9.
 Ergin I, 114, 147.
 Erhaltungskosten II, 269.

- Ermittlung des Dampfverbrauches, rechnerisch I, 8, 197.
 Ersatzteile, Bereitstellung I, 1.
 Ersparnis im Dampfverbrauch I, 184 bis 187, II, 248, 251.
 Erzeugungssteigerung in der Keramik II, 199.
 Erzeugungswärme I, 62, 63, 177, 178, 182.
 Erzeugungsziffer in der Zementindustrie II, 200.
 Erzröstung II, 77.
 Erzverarbeitung, elektrische II, 82.
 Essengasverluste I, 49.
 Estner-Ladewig-Speicher II, 256.
 Etageöfen II, 185.
 Evolventenverzahnung I, 66.
 Expansion II, 217.
 Explosionsmotor I, 3, 39, 40, 98.

 Fabrikationswärme I, 21.
 Fabrikheizung I, 205—215, 222—235.
 Falschluff II, 186.
 Färberei I, 5, 23, 65, 190, 199, 216, 254, II, 130, 234, 272, 299.
 Fäulniserreger II, 210.
 Faustformel II, 116, 126, 231.
 Fehlerquellen bei Messungen II, 269, 294, 295.
 Feinkeramik II, 179, 180.
 Feinspinnen II, 124.
 Feinzeugholländer II, 114.
 Feldspat II, 181.
 Fernheizwerke I, 263, II, 279—295.
 Fernleitungsnetz II, 287.
 Fernleitungsverluste I, 31, 238, II, 71, 72.
 Ferrosilizium II, 10.
 Feste Betriebskosten II, 55, 61.
 Feuchtigkeitsgehalt I, 17.
 Feuchtigkeit, Ofeneinsatz II, 183.
 —, Rohweizen II, 139.
 —, Spinnsälen II, 125.
 —, Trockengut II, 29.
 —, Trockenluft II, 23.
 —, Trockenschnitte II, 145.
 Feuchtigkeitstrocknung II, 183.
 Feuerbrücke I, 71.
 Feuergas-Trocknung II, 155.
 Feuerkochung II, 33, 41, 166, 235.
 Feuerraum II, 254.
 — bei Kohlenstaub I, 72.
 Feuerraumkühlung I, 72.
 Feuerschieber II, 254.

 Feuerung, Anpassung an den Brennstoff I, 20.
 Feuerungsarten I, 46, 69.
 Feuerung, Wahl der geeigneten I, 69, 71.
 —, automatische, siehe selbsttätige.
 —, geeignete I, 20.
 —, selbsttätige I, 69, II, 254.
 Feuerungsverluste I, 49.
 Fichtenrohre II, 289.
 Filtergrube II, 143.
 Filterpresse II, 176.
 Filzfabrik II, 299.
 Filztrockenzylinder II, 116.
 Filztuchpresse II, 111, 179.
 Flachs II, 124.
 Flammrohrkessel I, 73, 148.
 Flaschenfüllung II, 166.
 Flaschenreinigung II, 170.
 Fleissner-Verfahren II, 26.
 Fließarbeit II, 139.
 Flockenerzeugung II, 236.
 Flottentemperatur II, 130, 134.
 Flugasche I, 20, II, 145.
 Flügelspinnmaschine II, 124.
 Flüssigkeitswärme I, 176.
 Flyer II, 124.
 Forcierung I, 143.
 Fördereinrichtung II, 156, 164, 177, 241.
 Fördermaschinen, Abdampf-speicherung von II, 255.
 Formung in der Keramik II, 181.
 Fortlaufende Ausgaben I, 9, 24.
 Fortleitung des Stromes II, 71.
 Frachtermäßigung für Brennstoffe I, 20.
 Fremdstrom II, 166.
 —, Betriebskosten bei I, 241.
 —, Nachteile des I, 243.
 —, Vorteile des I, 235.
 —, Bezug I, 40, 235—248, II, 240.
 —, Preise I, 244.
 Frigorien II, 209.
 Frischdampfzusatz II, 240.
 Frischlauge II, 112.
 Frischmaische II, 174.
 Füllstoff II, 115.
 Füllungsregler II, 116.
 Futterschnitte II, 145.

 Garantie I, 38.
 Garantiewerte (zahlen) I, 16, 76, 125, 127, 128, 129, 130, 134, 137.
 Gärbottich II, 166, 171.
 Garbrand Endtemperaturen II, 188.

- Garbrennen II, 208.
 Garn II, 128.
 Gärraum II, 141.
 Gärungsindustrie II, 163—179.
 Gärungstemperatur II, 171.
 Gartenbau II, 276—279.
 Gasbackofen II, 141.
 Gaserzeugung I, 101, 158.
 Gasfernleitung II, 314.
 Gasfeuerung II, 206.
 Gasheizung II, 284.
 Gaskammerofen II, 193.
 Gaskühler II, 102.
 Gasmaschinen II, 79.
 Gasöl I, 109.
 Gasometer II, 79.
 Gaswirtschaft II, 81.
 Gautschen II, 111.
 Gebäudeinstandhaltung I, 122.
 Gefällespeicher I, 88, 202, II, 135, 138, 148, 259, 266.
 Gegendruck II, 224.
 Gegendruckbetrieb I, 200, II, 116, 162, 238—251, 309.
 Gegendruckmaschine I, 39, II, 92, 158, 218, 272.
 —, Dampfverbrauch der I, 125, II, 158, 226, 228.
 Gegendruckturbinen I, 132, 133, II, 229, 242, 296, 301.
 Gegenstromkochung II, 37.
 Gegenstromtrockner II, 23.
 Gegenstromvorwärmer II, 157, 278.
 Gekuppelte Kraft- und Wärmewirtschaft II, 222.
 Gemüsebau II, 277—279.
 Genehmigungspflicht I, 42.
 Generatorgas I, 80.
 Generator, Doppelfeuer- I, 102.
 Gerbebrühe II, 86, 87.
 Gerbfässer II, 87, 89.
 Gerbrinde II, 86.
 Gerbstoff(bedarf) II, 86 u. f.
 Gerbstoffgehalt der Brühe II, 88.
 Gerste II, 163.
 Gesamtanordnung, Wahl der I, 1.
 Gesamtkosten, jährliche I, 3.
 Gesamtwärmeinhalt des Dampfes II, 224.
 Gesamtwirkungsgrad I, 169.
 Geschirrfabrik, Kraftbedarf II, 182.
 Geschwindigkeitsregler I, 194.
 Gesteungskosten der Dampfkraftanlage II, 62.
 — der Krafteinheit II, 52.
 — bei Laufwerken II, 60.
 — bei Wärmekraftanlagen II, 61.
 — der Wasserkraftanlagen II, 55, 62.
 Gesteingefüge II, 205.
 Getreide II, 163.
 Getreideausbeute II, 139.
 Getreidehefe II, 176.
 Getreidewäsche II, 139.
 Gewächshäuser II, 276—279.
 Gewichtsverhältnis von Kapsel zur Ware II, 194.
 Gichtgase II, 78.
 —, bilanzmäßige Verteilung II, 81.
 Glashäuser siehe Gewächshäuser.
 Glasurbrand II, 188.
 Glattbrand II, 188.
 Gleichdruckspeicher I, 202, II, 135.
 Gleichförmigkeitsgrad I, 105.
 Gleichstromkochung II, 37.
 Gleichstrommaschine I, 27, 56, 128.
 Gleichstromtrockner II, 24.
 Gleichzeitigkeitsfaktor II, 54.
 Gleitkupplung II, 128.
 Gleitrollen II, 290.
 Gleitschienen II, 290.
 Gliederkessel, Vorteile der I, 233.
 Glockenspeicher I, 86, II, 256.
 Glühöfen I, 21.
 Glührohrzündung I, 114.
 Glühzone I, 105.
 Grammerofen II, 179.
 Granuliert II, 146.
 Granulierrohre I, 72.
 Graphit II, 10.
 Grenzleistung I, 134.
 Grenzleistungsturbine I, 58.
 Grenzwerte I, 4.
 Grobkeramik II, 179, 180.
 Großbäckerei II, 139.
 Großgasthöfe II, 210.
 Großkraftanlagen II, 286.
 Großkraftschleifer II, 98.
 Großkraftwerk I, 44, II, 278.
 Großmolkerei II, 156, 158.
 Großwasserraumkessel I, 76, II, 253.
 Größenbestimmung von Maschinen I, 5.
 Grundbelastungsenergie II, 54.
 Grundgebühr I, 245.

- Grundwerk II, 115.
 Grüngewicht der Haut II, 88.
 Grünmalz II, 163, 164.
 Gruppenantrieb I, 236, 237, II, 124.
 Gruppenindizierung I, 26.
 Gruppenöfen II, 185, 197.
 Gurken II, 277, 278.
 Güte des Erzeugnisses II, 253.
 Gütegrad I, 55, 56.
- H**
 Hackmaschine II, 100.
 Häckselmaschine II, 114.
 Hadern(stoff) II, 96, 115.
 Hafermalz II, 171.
 Haftwasser des Trockengutes II, 18.
 Halbgasfeuerung I, 73, 154, II, 206.
 Halbzeugholländer II, 114.
 Handputzerei II, 101.
 Hanf II, 124.
 Hänge, Dampfverbrauch II, 132.
 Hauptheizbedarf I, 5.
 Hauptsätze der Wärmelehre II, 211.
 Hausturbine II, 278.
 Hausverteiler II, 293.
 Hefe II, 163, 175—177.
 Hefeansatzkocher II, 171.
 Hefebrei II, 176.
 Hefeeinpackmaschine II, 176.
 Hefemaische II, 171.
 Hefepilze II, 163.
 Heißdampf-Erzeugungswärme I, 178.
 — -Heizung II, 39.
 — -Kochung II, 33.
 — -Kühler I, 96.
 — -Maschine, Dampfverbrauch I, 124.
 — -Öl I, 118.
 — -Verbund-Lokomobile, Betriebskosten für I, 262.
 Heißkühlung I, 220.
 Heißlaufen I, 118.
 Heißlufizerzeuger II, 164.
 Heißlufttrockner II, 21, 22.
 Heißwasser I, 23, 171, II, 162.
 Heißwasserbereitung I, 215, II, 130.
 Heißwasserheizung I, 211, II, 40, 307.
 Heißwasserkochung I, 211.
 Heißwasserspeicher I, 87, II, 130, 364.
 Heizanlage I, 1, 178, 205—215, 222 bis 235, II, 248, 279.
 Heizbedarf I, 33, 192.
 Heizdampfbedarf II, 268.
 Heizflächenbedarf für Rübenverarbeitung II, 148.
- Heizflächenreinigung II, 37, 105.
 Heizgase, Verwendung von II, 14.
 Heizgasmenge I, 81.
 Heizkörper, Wärmeabgabe von I, 179.
 Heizkraftmaschine II, 244.
 Heizkraftwerke II, 295—303.
 Heizleistung, Einfluß von Verunreinigungen auf II, 38.
 Heizmängel II, 37.
 Heizrohrkessel I, 76.
 Heizschlangen I, 9, 110, II, 165, 174, 213.
 Heizrechnung II, 283.
 Heizversorgung, billigste I, 3.
 Heizwert von festen Brennstoffen I, 79, 101.
 — von flüssigen Brennstoffen I, 109, 115, 146, 161.
 — von Gichtgas II, 78.
 — von Kohle II, 274.
 — von Lohe II, 93.
 —, mittlerer I, 19.
 — von Schwefel II, 102.
 — von Zellpech II, 110.
 Heizwirkung I, 179.
 Heizzentralen II, 281.
 Heizung in Molkereien II, 159.
 Heizungsanlagen siehe Heizanlagen.
 Heizungsanschluß II, 292.
 Heizungsarten II, 284.
 Henzedämpfer II, 171, 172, 176.
 Herdofen II, 84.
 Hochbehälter I, 9.
 Hochdruckdampf I, 62, II, 169, 236, 253, 257, 286.
 Hochdruckpresse II, 111.
 Hochdruckvorwärmer II, 203.
 Hochheizkurve II, 193.
 Hochleistungskessel I, 74.
 Hochleistungsbackofen II, 141.
 Hochofen II, 77, 79, 80.
 Hochspeicherbecken II, 59.
 Höchstdruck I, 80, 177, II, 232, 265.
 Höchstdruckdampf I, 39, 48, 55, 57, 263, II, 253, 257, 286.
 Höchstdruckkessel, Anlagekosten I, 150.
 Höchstdruckmaschine, Dampfverbrauch I, 127.
 Höchstleistung (vorübergehende) I, 26, 259, II, 252.
 Höchstleistungskessel II, 254.
 Hoffmannscher Ringofen II, 206.

- Holländer I, 248, II, 100, 114, 115.
 Holzabfall II, 101, 109.
 Holzkohlengas I, 101, 102.
 Holzputzen(schälen) II, 101, 111.
 Holzschleifer II, 75, 98.
 Holzschliff II, 98.
 Holzsortieren II, 111.
 Holzstoff II, 11, 116, 234.
 Holzstoffindustrie II, 11, 96—100.
 Hopfensud II, 32, 165.
 Horden II, 164.
 Hotfluß II, 133.
 Hutfabrik II, 299.
 Hüttenwerk siehe Eisenhüttenwerk.
 Hydratwasser II, 192.
 Hygienische Vorteile der Städteheizung II, 283, 299.
- Ideale Betriebsführung I, 201.
 Ideale Maschine II, 217, 219, 223, 225.
 Idealkurve(Temperatur)II,184,189,190.
 Impulsleitung II, 259, 261—263.
 Inbetriebsetzung I, 38.
 Indizierung I, 6, 7.
 Industriebau II, 290.
 Industriebau I, 40.
 Industrie-Kraftheizwerke II, 295.
 Industriekraftwerke II, 169.
 Infektion II, 173.
 Informationsversuche I, 4.
 Ingot II, 84.
 Innenrippen-Konstruktion II, 27, 118.
 Ilgneraggregat II, 85.
 Instandhaltungskosten I, 120—123, II, 269.
 Isolierung siehe Wärmeschutz.
 I—x-Tafel für Trockenvorgänge II, 21.
- Jahresabschluß I, 19.
 Jahresbetriebskosten siehe Betriebskosten.
 Jahresersparnis bei Abdampfheizung I, 213.
 Jahreskosten je KW II, 56.
 Jahresmittel im E-Werk II, 54.
 Jahrespferdestärke I, 32.
 Jahrespferdestärke I, 32.
 Johnson-Ofen II, 201.
 Jute II, 124.
- Kabelleitungsverluste II, 287.
 Kabelkosten II, 71.
 Kacheln II, 180.
 Kachelofen II, 267, 283.
 Kaffee II, 162.♦
 Kakaoindustrie II, 162.
 Kalandr II, 118, 132.
 Kaliumchlorid II, 179.
 Kaliumsulfat II, 179.
 Kalk II, 109, 114, 204—209.
 Kalkbrennen II, 205.
 Kalkbruchstein II, 102.
 Kalkindustrie II, 204—209.
 —, Rohstoffe der II, 205.
 Kalkofenbauarten, Vergleichsuntersuchung II, 208.
 Kalksodareiniger I, 85.
 Kalkspat II, 208.
 Kalkstein II, 175.
 Kalkstickstoff II, 234.
 Kälte I, 6, 21, 27, II, 157—162, 163, 169.
 Kälteanlage II, 167, 212, 214.
 Kältebedarf I, 5, II, 157, 159, 169, 270.
 — in Molkereien II, 157, 159.
 Kälteerzeugung I, 27, II, 157, 209—216.
 Kälteleistung II, 158, 213.
 Kältemittel, Siedepunkt von II, 211.
 Kältespeicherung II, 161, 169, 215.
 Kälteverbrauch siehe Kältebedarf.
 Kältevorgang II, 211.
 Kalziumkarbid II, 234.
 Kalziumkarbonat II, 206, 208.
 Kammerofen II, 183, 201.
 Kammerschnellstrom-Verdampfer II, 150.
 Kammertrockner, Dampfverbrauch II, 132.
 Kammgarnspinnerei II, 124.
 Kampagnebetrieb II, 142, 143, 177, 236, 303, 304, 305.
 Kanalschachtofen II, 201.
 Kanaltrockner II, 182.
 Kaolin II, 181.
 Kapillarwasser des Trockengutes II, 18.
 Kapitaldienst (Kosten) I, 10, 24—38, 40, 43, 68, 174, 241, 248, 251, 254, II, 55, 248, 249, 283, 313.
 Kapsel(raum) II, 181, 184, 187, 194, 197.
 Kapselverdichter II, 212.
 Karbid II, 10, 175, 234.
 Karbidalkohol II, 174.
 Karbonisierung II, 124, 132.
 Karden II, 124.

- Kartoffel II, 163, 171.
 Kartoffelbrennerei II, 172.
 Kartoffelertrag II, 175.
 Kartoffelflocken II, 155.
 Kartoffelsirup II, 237.
 Kartoffelspiritus II, 171.
 Kartoffelstärke II, 234, 236.
 Kartoffeltrocknung II, 154, 155, 236.
 Kartoffelwäsche II, 175.
 Kasselerofen II, 185.
 Kastner-Verdampfer II, 150.
 Karton II, 118.
 Karussell-Wärmeschrank II, 162.
 Keimvorgang II, 164.
 Kennziffer II, 77, 241, 251, 279.
 —, energiewirtschaftliche II, 230—237.
 — der Wärmeleitung II, 301.
 Keramische Industrie II, 179—200.
 — —, Abhitzeverwertung I, 22, II, 188, 197.
 Kesselanlage I, 76.
 —, Entwertung der I, 14.
 —, Kosten einer I, 148—154.
 Kesselbauarten (Wahl der) I, 73, II, 252.
 Kesselböden II, 174.
 Kesselinheit (Größe), Wahl der I, 20, 70, 201.
 Kesselmauerung, Anlagekosten I, 151.
 Kesselsolierung I, 74.
 Kesselpersonal I, 43, 121, II, 253.
 Kesselreinigung I, 68.
 Kesselreserve I, 2.
 Kesselstein I, 43, 84.
 Kesselsysteme siehe Kesselbauart.
 Kesselwirkungsgrad I, 43, 48.
 Kette II, 128.
 Kiesselbach-Speicher I, 204, II, 264.
 Kiesofen II, 103, 111.
 Kiesofenabwärme II, 103.
 Kippmaschine II, 156.
 Klareis II, 163.
 Kleie II, 138.
 Kleindampfturbine I, 25.
 Kleindieselmotor I, 36, 115, 160.
 Kleinofen siehe Ofen.
 Kleister II, 128.
 Klinker II, 188, 200.
 Knetmaschine II, 176, 181.
 Knotenfänger II, 114.
 Knüppeln II, 77.
 Kochen I, 21, II, 14, 15, 31—41, 103 bis 107, 165.
 Kocher II, 102, 162, 168.
 Kocherausbeute II, 103.
 Kocherdruck II, 104.
 Kocherlaugenpumpe II, 111.
 Kocherleerung II, 100, 106.
 Kochertemperaturen II, 103.
 Kocherzahl II, 120.
 Kochgut II, 105.
 Kochdampfentölung II, 35.
 Kochtemperatur II, 114.
 Kochung II, 33, 104, 107.
 Kochzeit I, 5, II, 15, 105.
 Kohle, weiße II, 61, 313.
 Kohlenanteil an Textilerzeugnissen II, 122.
 Kohlenbedarf für das Brauen II, 166.
 — für Dampferzeugung II, 229.
 Kohlenbeschaffenheit, Einfluß der II, 270.
 Kohlenbeschickung, mechanisch II, 186.
 Kohlenfrachttarif I, 54.
 Kohlengewinn bei Warmluftabsaugung II, 197.
 Kohlenkonto II, 273, 274.
 Kohlenkosten siehe Brennstoffkosten.
 Kohlenoxyd II, 216.
 Kohlenpreis I, 19, 52, 53.
 Kohlsäure II, 146, 205, 211, 213, 277.
 Kohlenschluß II, 274.
 Kohlenstaubeuerung I, 47, 71.
 Kohlentrocknung I, 72, II, 26.
 Kohlenverbrauch für Dampfmaschinen I, 140, 201.
 — für keramische Erzeugnisse II, 179, 190, 192—194, 196, 197.
 — je nach Ofenbauarten (Größe) II, 193, 196.
 — in der Papierindustrie II, 97.
 — für Rübenverarbeitung II, 147.
 — für Schlemmetrocknung II, 179.
 — nach Setzdichte II, 196.
 — für Stahlofen II, 81.
 Kohlenverdelung I, 19, 263, II, 26.
 Kohlenwasserstoff II, 163.
 Koks I, 101, 161, 232, 234, II, 175.
 Koksbedarf für Roheisen II, 81.
 Koksöfengas I, 22, 253, II, 79.
 Koksöfenerlegung II, 216.
 Kokspreis I, 19, 221, II, 284.
 Kolbenkühlung I, 117.

- Kolbenmaschine (Anwendungsgebiet)
I, 59, 64, 67.
- Kolbenverdichter II, 47, 212.
- Kollergang II, 119, 181.
- Kolonnenapparat II, 48, 173.
- Kompressor siehe Verdichter.
- Kondensat-Messung I, 9, II, 270, 293, 294.
- -Prüfung II, 144.
- -Rückführung I, 9, II, 106.
- Kondensationsanlagen I, 64, 212—215.
- , Einfluß der I, 59.
- Kondensationsmaschine I, 27, 39, 56, 155, 173, 188, 194, II, 218, 240.
- , Dampfverbrauch der I, 197, II, 157.
- Kondensator II, 48, 169, 211, 261.
- Kondensator-Dampfverwendung I, 200.
- Kondensatorheizung I, 209.
- Kondensatorspannung I, 193, II, 243, 246.
- Kondensleitungen, Bemessung von I, 207.
- Kondenstöpfe I, 205, 208.
- Kondenswasserableitung I, 9.
- Konserven I, 42, 199, 201, II, 138, 210.
- Konventionalstrafe I, 38.
- Konzession II, 282.
- Korksteinschalen II, 289, 290.
- Kosten für Brennstoff (siehe Brennstoffkosten).
- von E.-Werken II, 72.
- , fortlaufende I, 9.
- für Instandhaltung I, 9.
- der Leistungseinheit I, 15.
- für Leitungen (Kabel) I, 152, II, 51, 71, 287.
- der Revisionen I, 9.
- für Reserveeinrichtungen I, 3.
- für Schmiermaterial I, 9, 119, 120.
- von Stromnetzen II, 72.
- für Versicherung I, 9.
- für Wartung I, 9.
- Kraft I, 1, II, 52.
- Kraftaufwand, siehe Kraftbedarf.
- Kraftausbeute, theoretische I, 182.
- Kraftbedarf I, 6.
- je 100 Arbeiter II, 7.
- in einer Brauerei I, 27, II, 164, 165.
- für das Destillieren II, 174.
- für elektrochem. Vorgänge II, 9, 111,
- Kraftbedarf für elektro-metallurgische Vorgänge II, 10.
- je Erzeugungseinheit II, 11, 234.
- für Flyer II, 126.
- , Gesamt-, Ermittlung II, 51.
- für Holzaufbereitung II, 101, 111.
- in der Industrie II, 50—74.
- für Kälteerzeugung II, 158, 213, 214.
- von Karden II, 127.
- , Kartoffeltrocknung II, 155.
- in der Keramik II, 182.
- für Lagerräume II, 164.
- für Laugeneindickung II, 109.
- zur Ledererzeugung II, 91, 92.
- einzelner Maschinen II, 51.
- für Mehl II, 139.
- in Molkereien II, 156, 158—160.
- für versch. Papierarten II, 118.
- für Papiermaschinen II, 116.
- für Papiernacharbeit II, 118.
- für Pappe II, 119.
- für Schlemptrocknung II, 179.
- , Schwankungen des I, 106, II, 51, 238.
- in Spinnereien II, 125—127.
- für Spirituserzeugung II, 108, 111, 165, 175.
- für Strohstoff II, 114.
- in der Textilindustrie II, 125—127, 129, 136.
- , Verringerung des II, 52.
- im Walzwerk II, 84.
- für Wasserhaltung II, 101.
- für Webstühle II, 129.
- in der Zellstoffindustrie II, 101, 110, 111.
- für Zement II, 201.
- für Zucker II, 153.
- für Zwirnmaschinen II, 126.
- Krafterzeugung I, 21, 39.
- Kraftfutter II, 163.
- Kraftkosten II, 268.
- Kraftmaschine, Wahl der I, 1.
- Kraftreserven I, 29, 36, 140.
- Kraftüberschuß II, 233.
- Kraftverbrauch, siehe Kraftbedarf.
- Kraftversorgung I, 3, 9, 236.
- Kraftverwertung II, 237, 239, 242.
- Kraftwerk II, 301.
- Kraftwirtschaft II, 75—216.

- Krankenhäuser II, 210.
 Krankenhauswesen II, 280.
 Krankheitserreger II, 210.
 Kreide II, 201.
 Kreiselgebläse II, 176.
 Kreiselverdichter II, 46, 212.
 Kreislaufheizung II, 37.
 Kreissäge II, 119.
 Krempel II, 124.
 Krimpen II, 129.
 Kristalleis siehe Eis.
 Kristallisator II, 146.
 Kristallzucker II, 146.
 Kritischer Druck I, 63.
 Kühler II, 211.
 Kühlschiff II, 166.
 Kühlung II, 157, 247.
 Kühlwasser(pumpe) Verwertung I, 9,
 22, 219—222.
 Kümmel II, 140.
 Kunsteisbahn II, 216.
 Künstlicher Zug I, 20.
 Kunstseide II, 234, 308.
 Kupferraffination II, 10.
 Kupplung von Brennöfen II, 185,
 198.
 — von Energiewirtschaft II, 215—237.
 — von Kraft und Abhitzebetrieb I, 22.
 Kurzschluß I, 3.
- Ladedruck II, 258, 260.
 Lagerraum II, 164, 166.
 Lagerkühlung II, 167.
 Landwirtschaft II, 4, 5, 276.
 Längsreibmaschine II, 162.
 Längsschneider II, 118.
 Lärchenrohre II, 289.
 Lässigkeit II, 220, 222.
 Laufwerk II, 58, 68.
 Laugeneindickung II, 109, 111.
 Laugenpumpe II, 111.
 Laugenverbrennung II, 109.
 Laugenvorwärmung II, 133.
 Läutern II, 176.
 Lebensdauer I, 10.
 Lebensmittel(industrie) I, 65, II, 7,
 138—162.
 Leder II, 87—96, 234.
 Lederausbeute II, 88.
 Lederindustrie I, 24, 42, 199, II, 7,
 237, 266.
 Ledertrocknung II, 90.
- Leerlaufverluste von Transformatoren
 I, 239.
 Leihgeld I, 11.
 Leim II, 115, 128, 234, 308.
 Leistung II, 52.
 Leistungseinheit I, 10, 15.
 Leistungserhöhung, spezifische II, 265.
 Leistungsfähigkeit der Zementindustrie
 II, 200.
 Leistungsfaktor II, 53, 73.
 Leistung der Kraftanlage II, 53.
 Leistungsquerschnitt, Einfluß des I, 180.
 Leistungszähler I, 246.
 Leistungszusicherung I, 20.
 Leitungsbau II, 288.
 Leitungskosten siehe Kosten.
 Leitungsnetz I, 243.
 Leitungsverluste siehe Verluste.
 Leuchtgas (motor) I, 250, 258, 259,
 II, 216, 284.
 Lieferungsverträge I, 243.
 Lignin II, 112.
 Lohe I, 54, II, 86—96.
 Lohefeuerung II, 93, 94, 96.
 Loheheizwert II, 93.
 Lohepressen II, 94.
 Lohetrocknung II, 27, 94.
 Lohewassergehalt II, 93.
 Löhne I, 16, II, 269.
 Lohnorientierung II, 182.
 Lokomobilanlage I, 67, 137, 156.
 Lokalen Verhältnisse, Berücksichtigung
 der I, 38.
 Luftabfuhr bei Leitungen II, 37.
 Luftbefeuchtung II, 124, 129.
 Luftblaseleitung II, 118.
 Luftdarre II, 164.
 Luftherhitzer I, 44, 56, 76, 83, II, 149, 198.
 Luftfeuchtigkeit, Regelung der II, 182.
 Luftfilter I, 209.
 Luftgewicht, erforderliches zur Trock-
 nung II, 19.
 Luftheisanlagen I, 208, 232, II, 197.
 Luftleere siehe Vakuum.
 Luftpressung II, 176.
 Luftsalpeter II, 70, 234.
 Lufttrocknung II, 270.
 Luftüberschuß I, 48, II, 184, 190, 208.
 Luftverdichter I, 112, II, 173, 176.
 Luftvorwärmer II, 117.
 Lumpenhalbstoff II, 114.
 Lütschenapparat II, 27.

- Magarine II, 210.
 Magerkohle I, 46.
 Magermilch II, 156.
 Magnesit II, 180.
 Magnetisierungsverluste II, 72.
 Mahlfineinheit bei Zement, Einfluß der II, 200.
 Maisbrennerei (Spiritus) II, 171—175.
 Maische II, 108, 163, 165, 173.
 Maiseschlempen-Trocknerei, Leistungszahlen einer II, 178.
 Malz II, 163, 171.
 Mälzerei I, 27.
 Mansarden, Dampfverbrauch II, 132.
 Markthalle II, 210.
 Maschinenabwärme, Ausnützung der I, 6.
 Maschineneinheiten, Kosten großer I, 25.
 Maschinengröße, zweckmäßige I, 26.
 Maschinenhaus, Abmessungen I, 164.
 Maschinenölkosten I, 118.
 Matherplatt II, 131.
 Mehl (erzeugung) II, 138—140.
 Mehranlagekosten II, 242.
 Mehrfach-Effektapparat II, 42.
 Mehrkörperverdampfer II, 32, 42, 86, 88, 109.
 Mehrstoffdampfmaschine II, 221.
 Mehrzylinderturbine I, 58.
 Melasse II, 147, 163, 172, 176.
 Melassehefe II, 176.
 Melasseschlempen II, 179.
 Melassespiritus, Kraftbedarf II, 175.
 Membrane II, 261—263.
 Mengenfaktor I, 245.
 Messerwerk II, 115.
 Meßfehler II, 269, 294, 295.
 Meßgenauigkeit (bei elektr. Instrumenten) I, 246, II, 269, 295.
 Meßgeräte (Instrumente) I, 42, 65, II, 189, 269, 270.
 Messungen, wärmetechnische II, 231, 269, 270, 282.
 Metallurgie II, 205.
 Methylchlorid II, 211.
 Milchprodukte II, 138.
 Minderungsstrafen I, 38.
 Mindestabnahme, garantierte I, 245.
 Mischdüsen II, 279.
 Mischfeuerung II, 77, 206, 207.
 Mischholländer II, 115.
 Mischmulde II, 173.
 Mitscherlich-Verfahren II, 104, 105.
 Mitteldruckanlage II, 265.
 Mittelwerte im E.-Werk II, 54.
 Molkereien (Erzeugnisse) II, 138, 155 bis 161, 210.
 Momentanreserve II, 58.
 Montejus II, 177.
 Morawsky-Verfahren siehe O. D.-Verfahren.
 Mosaikplatten II, 180.
 Motorin siehe Treiböl.
 Motorleistung II, 51.
 Muffeln II, 187.
 Mühlen I, 24, 248, II, 138, 181, 271, 272, 307.
 Muldenpressen, Dampfverbrauch von II, 132.
 Muldenvorfeuerung I, 73.
 Nacharbeitmaschinen II, 118.
 Nachkampagne siehe Kampagne.
 Nährflüssigkeit II, 163, 176.
 Nährsalz II, 176.
 Nährstoffe II, 145, 154.
 —, Beibehaltung der II, 145, 154.
 Nahrungsmittelindustrie, siehe Lebensmittelindustrie.
 Naphtalinmotor, Betriebskosten für I, 259.
 Naßaufbereitung II, 181.
 Naßpartie II, 111.
 Naßverfahren bei Zement II, 201.
 Natrium II, 10.
 Natriumhydrat II, 112.
 Natriumsulfat II, 112.
 Natriumsulfid II, 112.
 Natron, Kohlensaures II, 112.
 Natronverfahren II, 113.
 Natureis II, 209.
 Nennleistung I, 26, II, 53.
 Nessel II, 124.
 Netzverluste II, 72.
 Neuwert I, 13.
 Niederdruckanlage II, 265.
 Niederdruckdampfkessel, Brennstoffausnützung I, 233.
 Niederdruckheizung I, 181, 232, II, 293.
 Niederdrucknetz II, 170.
 Niederschlagwasser II, 186.
 Normaldampf I, 50.
 Normalkoks II, 78.
 Normalleistung I, 17, 26, II, 53.

- Normung (Bestrebung) II, 243, 244.
 Nubilosadüse II, 109.
 Nusseltsche Theorie II, 39.
 Nutzdampfbedarf II, 238.
 Nutzeffekt II, 221.
 Nutzenergie II, 219, 221.
 Nutzleistung I, 252.
 Nutzungsdauer siehe Ausnützung.
 Nutzwärme I, 171.
- Oberflächenkondensation** II, 39.
O. D.-Verfahren I, 107, II, 82, 83.
Ofenabwärme II, 195, 197, 198.
Ofenbauart, Einfluß der auf Kohlenverbrauch II, 193.
Ofenbauarten in der Keramik s. Brennöfen.
Ofenbrand II, 183.
Ofeneinsatz II, 183, 185, 186, 194, 196.
Ofenfutter II, 102.
Ofengröße bei Porzellanbrand II, 189.
Ofen, keramische siehe Brennöfen.
 —, Klein- I, 108.
 —, Kupplung in der Keramik II, 198.
 —, Schwefelkies- II, 102.
Offerte (angaben) I, 36, 132, 167, II, 245.
Öffner II, 100, 106, 111, 124.
Ölabscheider II, 212.
Ölbehälter I, 110.
Ölfeuerung I, 73, II, 206.
Ölfreiheit von Abdampf II, 133.
Ölgewinnung aus Kohle I, 263.
Ölverbrauch I, 119, 159, II, 269.
 Opener siehe Öffner.
Oxydation I, 105.
Oxydierapparat II, 132.
Oxydierende Rauchgastrocknung II, 184, 186, 191.
- Papier(fabrik)** I, 24, 199, II, 115, 118, 234, 248, 296.
Papiergeschwindigkeit II, 116.
Papierindustrie I, 42, II, 7, 96, 236.
Papiermaschinen, Antrieb II, 116.
Papierroller II, 118.
Papierverbrauch je Kopf II, 96.
Pappe II, 118, 119.
Paradeversuch I, 17.
Paraffinöl I, 109.
Pasteurisieren II, 156, 167.
Pavillonsystem II, 280.
Perioden der Dampftechnik I, 55.
- Perkins-Heizung** II, 40.
Perkinsrohre I, 211.
Permutitverfahren I, 84.
Petroleum I, 114.
Pflanzenfett II, 138, 162.
Phasenverschiebung I, 242, 245, 247, II, 73.
Pichvorgang II, 166.
Pilee II, 146.
Pintsch-Verfahren I, 102.
Platinenöfen I, 21.
Platzbedarf für Maschinenhäuser I, 162 bis 164.
Platzbedarf von Dampfkesseln I, 79.
Platzverhältnisse, Einfluß der II, 244.
Poetschsche Gefrierverfahren II, 215.
Porionofen II, 179.
Porosität II, 182.
Porzellan-Betriebe-Arbeiterzahl II, 179.
 —, dekoriert II, 184.
 —, Elektro- II, 180.
Porzellanerzeugnisse, Jahreswert II, 179.
 —, Gebrauchs- II, 180.
 —, glasiert II, 184.
Porzellanindustrie, Rohstoffe für II, 181.
Pottasche II, 179.
Pressen, Naß-(Pappe) II, 31, 119, 129, 181.
Preßhefe (erzeugung) II, 163, 175—177, 234, 271, 272, 308.
Preßluft II, 177.
Preßluftheizung II, 141.
Preßluftstampfer II, 103.
Preßsaft II, 178.
Preßspan II, 119.
Preßverfahren für Zucker II, 149.
Probetrieb I, 38.
Psychrometer nach August II, 23.
Puffer, Dampf- II, 257.
Pumpenfernwasserheizung II, 280.
Pumpenspeicherwerke II, 58, 59.
Putzmaterial(verbrauch) I, 24, 118 bis 120, II, 269.
- Qualitätsstahl** II, 77.
Quarz II, 181.
Quebrachoholz II, 89.
Quellreife II, 164.
Quellwasser des Trockengutes II, 18.
Querschneider II, 118.
Querstromtrockner II, 24.
Quetsche II, 171.
Quetschmühlen II, 119.

- Rabattsätze I, 40.
 Raffinerie (Raffinieren) II, 143, 146, 153.
 Rahm II, 156.
 Rateauspeicher II, 257.
 Rauchbelästigung II, 283.
 Rauchgasdarre II, 164.
 Rauchgastrocknung II, 27, 178.
 Rauchgasventilator, Kraftverbrauch II, 178.
 Rauchgasvorwärmer siehe Vorwärmer.
 Raumheizung I, 21, 179, 205, II, 156, 169, 305.
 Raumspeicher, fester II, 255.
 Receiver siehe Aufnehmer.
 Reduzierende Rauchgastrocknung II, 184, 186.
 Regeleinrichtung (Ventile) I, 105, 193, 195, 207, II, 211, 223, 249, 259, 261—263.
 Regelung des Anzapfdruckes I, 193, II, 251.
 — der Luftfeuchtigkeit II, 182.
 Regenerativ-Vorwärmer siehe Vorwärmer.
 Regenerator II, 267.
 Regeneratorkammer II, 83.
 Regenerierung II, 24.
 Regien II, 269.
 Reichssammelschiene II, 303, 312 bis 315.
 Regulierventil siehe Regeleinrichtung.
 Reibungswärme I, 5.
 Reiniger siehe Wasserreiniger.
 Reinigungsperiode I, 2.
 Reis II, 162.
 Rektifikationskolonne II, 49, 174.
 Rektifizieren II, 41, 48.
 Rekuperator II, 84.
 Relais II, 262, 263.
 Rentabilitätsberechnung I, 10.
 Reparaturkosten siehe Instandhaltungskosten.
 Reservens I, 2, 3, 29, 36, 43, 140, 248, 254.
 —, stille I, 15.
 Restverluste I, 49, 74.
 Retourdampf I, 180.
 Revisionspflicht I, 42.
 Riemenwippe II, 129.
 Riesekühler II, 156, 157.
 Ringofen II, 183, 206.
 Ringspinnmaschine II, 124.
 Rißbildung II, 187.
 Ritter-Kellner-Verfahren II, 104, 105.
 Robert-Körper II, 150.
 Roggen II, 171.
 Rohbrand II, 188.
 Roheisen II, 10, 77, 81.
 Rohöl I, 114, 115, II, 140, 251.
 Röhrenbündeltrockner II, 179.
 Röhrenporzellan II, 181.
 Röhrentrockner II, 178.
 Rohrleitungen(netz) I, 89, 159, 205 bis 208, II, 287, 306.
 Rohrzucker II, 142.
 Rohseide II, 124.
 Rohspiritus II, 174.
 Rohstoffe für Kalk II, 205.
 — in der Keramik II, 181.
 — für Zement II, 200.
 Rolandmühle II, 171.
 Rollengang II, 156.
 Rotationspapier II, 118.
 Rostbreiten I, 71.
 Rostgaskühler II, 102.
 Rostgrößen I, 71, 79.
 Röstofen II, 102.
 Rübenschnitzel II, 144.
 Rückdruck I, 206.
 Rückkühlung I, 9.
 Rückkühlanlage I, 117.
 Rücklauf II, 49.
 Rückspeiser II, 264.
 Rührwerktrummel II, 171.
 Rundofen, Wärmeverteilung im II, 195.
 Rußbläser I, 81.
 Russische E.-Werke II, 61.
 Rußkratzer I, 81.
 Ruths-Speicher siehe Speicher.
 Saftgeschwindigkeit II, 151.
 Saftstrom II, 144.
 Salpeter II, 8, 9, 234, 273.
 Sattdampf (Erzeugungswärme) I, 177, II, 224.
 Sättigungslinie II, 228.
 Saturation II, 145.
 Sauerstoff II, 11, 234.
 Sauerteig II, 140.
 Sauggasanlage I, 33, 34, 100—109, 143, 160, II, 101, 142.
 Sauggasanlagekosten I, 158.
 Sauggasanlage, Brennstoff (Kosten) I, 34, 101.

- Sauggasanlage, Nachteile der I, 106, 109.
 —, Revisionsverpflichtung I, 105.
 —, Überlastbarkeit I, 28, 109.
 Saugkasten II, 111.
 Saugzug I, 82, II, 208.
 Schachtofen I, 40, II, 77, 202, 206, 208.
 Schafwolle II, 123.
 Schälmaschinen II, 100.
 Schaltschema von Dampfkraftanlagen
 II, 121, 148, 152, 169, 261, 298, 301.
 Schamotte II, 180, 181.
 Scharfbrand II, 186, 191, 192.
 Schaufelabnutzung, Einfluß der I, 59.
 Scheibenverdampfer II, 112.
 Scheidepfanne II, 145.
 Scheinleistung I, 246, 247.
 Schema I, 22, 190, II, 112, 113, 114,
 121, 137, 148, 149, 152, 168, 169,
 172, 212, 214, 261, 263, 265, 298,
 301.
 Scherbaum II, 128.
 Schiedsgericht I, 38.
 Schiffsfracht für Kohle I, 20.
 Schlackenbildung I, 19, II, 274.
 Schlackenverlust II, 209.
 Schleifenbildung I, 194.
 Schlempe II, 110, 163, 173, 174, 177,
 179, 272.
 Schleuder II, 146.
 Schlichten I, 26, II, 128, 131.
 Schlußbrief siehe Vertrag.
 Schmatolla-Verfahren II, 208.
 Schmauchvorrichtung II, 186.
 Schmelzpunkt II, 205.
 Schmierfässer, Dampfverbrauch II, 89.
 Schmiermittel (verbrauch) I, 118 bis
 120.
 Schmieröleinigung I, 24, 117.
 Schmierölverbrauch s. Schmiermittel.
 Schmierung (kosten) I, 119, 241, 247,
 II, 247.
 Schneckenpresse II, 176.
 Schnellverdampfer II, 113.
 Schnitzelmaschine II, 154.
 Schnitzeltrocknung II, 27.
 Schokoladeindustrie I, 5, 24, 42, II,
 162.
 Schornstein I, 9, 38, 113, 153.
 Schreider-Kamine II, 116.
 Schrotten II, 165.
 Schrühbrand II, 188.
 Schubladentrockner II, 132.
 Schüreinrichtung II, 186.
 Schürweise, Einfluß der II, 194.
 Schürweite II, 189.
 Schwaden I, 168, II, 117, 134, 178.
 Schwankungen im Dampfverbrauch II,
 39, 238.
 — im Kraftverbrauch II, 51, 238.
 — in Molkereien II, 161.
 — der Dampfspannung II, 253.
 —, Wärmekraftzentralen II, 73.
 — in Wasserwerken II, 58.
 Schwefel II, 102.
 Schwefelgehalt bei Schnittetrocknung
 II, 145.
 Schwefelkies (ofen) II, 102.
 Schwefelsäure I, 105, II, 273.
 Schwefelige Säure II, 211.
 Schwemmverfahren II, 143.
 Schwergerbfaßbehandlung II, 89.
 Schweröle I, 109.
 Schwimmsand II, 215.
 Segerkegel II, 189.
 Seide II, 124.
 Seidenpapier II, 118.
 Seife II, 234.
 Seitenfeuerung II, 206.
 Sektional Wasserrohrkessel, Anlage-
 kosten I, 151.
 Selbstkostenberechnung II, 270.
 Selbsttätigkeit des Zementofenbetriebes
 II, 203.
 Selfaktor II, 124.
 Sengerei II, 123.
 Sengmaschine II, 128.
 Separator II, 163, 176, 177.
 Servomotor II, 262.
 Setzweise, Dichte der II, 191.
 Sicherheitsventil II, 254, 255.
 Siebböden II, 164.
 Siebmaschinen II, 140.
 Siebwalze II, 119.
 Siedetemperatur I, 8.
 Siemens-Martin-Verfahren II, 82, 83.
 Silika II, 180, 188.
 Sinterungspunkt II, 205.
 Sirup II, 146.
 Skrubberwasser I, 104.
 Soda-(Reinigung) I, 85, II, 179.
 Solaröl I, 109.
 Sole II, 157, 161, 169, 212, 215, 216.
 Sommermittel im E.-Werk II, 54.
 Spannrahmen-Dampfverbrauch II, 131.

- Spannung in Fernleitungen II, 71.
 Spannungsschwankung II, 253.
 Spannungsverluste I, 239.
 Speicher I, 49, 63, 74, 86—88, 171,
 II, 16, 40, 120, 121, 135, 138, 148,
 161, 169, 242, 259, 266.
 Speicheranordnung I, 5, II, 121, 148,
 170, 261, 265, 297, 298.
 Speicherdampf II, 104.
 Speicherdruckabsenkung II, 258.
 Speichermöglichkeit I, 87, 202—204, II,
 252, 255, 257, 258, 296.
 Speicherfüllung II, 257.
 Speicherladeventil II, 262.
 Speicherleistung II, 121, 260, 280, 296.
 Speicherofen II, 141.
 Speicherproblem II, 243, 251, 252—267.
 Speicherpumpen II, 59.
 Speicherraumkessel II, 253.
 Speicherschaltungen s. Speicheranord-
 nung.
 Speicherturbine II, 261.
 Speichervermögen s. Speicherleistung.
 Speicherwasser II, 257.
 Speicherwerk II, 58, 68.
 Speicherung I, 6, II, 70, 148, 167, 209,
 215, 237, 252—267.
 Speiseeinrichtung II, 255.
 Speisekabel II, 71.
 Speisepumpe I, 83, II, 255.
 Speisepumpekraftbedarf I, 63.
 Speiseraumspeicher I, 87, II, 148.
 Speisewasser II, 255.
 Speisewassermessung II, 270.
 Speisewassertemperaturerhöhung I, 48.
 Speisewasservorwärmer I, 47, 51, 56,
 57, 131, 221.
 Sperrstunden bei E.-Werken II, 60.
 Sperrzeiten I, 40, 242.
 Spez. Gewicht und Baumégrade II, 45.
 Spindelzahl I, 26, II, 126.
 Spindelwiderstand I, 26.
 Spinnerei I, 5, 24, 26, 143, 237, 257, II,
 11, 123, 234, 272, 296.
 Spiritus II, 108, 163, 171, 174, 234.
 Spiritus-Brennen siehe Destillation.
 Spirituserzeugung, Kraftbedarf II, 175,
 271, 272.
 Spitzenbedarf II, 303.
 Spitzendauer II, 260.
 Spitzendeckungsmaschine I, 25, 27,
 112, 254.
 Spitzenenergie II, 54.
 Spitzenhöhe II, 260.
 Spitzenleistung I, 87, II, 53, 240.
 Spritzwasser II, 143.
 Spulmaschine II, 128.
 Städtebau II, 287.
 Stahlöfen, Kohlenverbrauch II, 81.
 Stahlraffination II, 10.
 Stahlwerk II, 77, 82.
 Standort, Wahl des für Industrien II,
 50.
 Stanzen II, 182.
 Staubaufbereitung I, 47.
 Staubfeuerung I, 20, II, 206.
 Staubverlust in Zementöfen II, 201.
 Staubzucker II, 146.
 Staupendel I, 71.
 Steilrohrkessel, Anlagekosten I, 149.
 Steingut II, 180.
 Steinkohledestillation I, 114.
 Steinkohlenwäsche I, 20.
 Steinzeug glasiert II, 188.
 Steinzeugröhren II, 191.
 Sterchamolsteine I, 74.
 Sterotypiepappe II, 119.
 Steuereinrichtung II, 265.
 Steuerorgan II, 259.
 Stickstoff II, 8, 216.
 Stillstand einer Anlage I, 12.
 Stoff (aufbereitung) II, 106—115.
 Stoßöfen, Betriebszahlen von II, 84.
 Stoßweise Belastung I, 5.
 Strahlungstrockner II, 116.
 Strahlungsüberhitzer I, 72.
 Strahlungsverlust II, 220, 223.
 Strahlungswärme I, 75.
 Strangpresse II, 181.
 Streckwerk II, 124.
 Stroh(stoff) Zellstoff II, 98, 114.
 Stromausfuhr II, 314.
 Strombezug I, 235—248, II, 268.
 Stromerzeugung, Industrie der II, 50
 bis 74, 259.
 Stromkosten I, 40, 244, II, 50—74, 240.
 Stromlieferungsgebiet II, 314.
 Stromlosverfahren I, 85.
 Strompreis, Einfluß in (Eisen) Stahl-
 industrie II, 12, 82.
 Stromverlauf im Berliner (Wiener) E.-
 W. II, 66.
 Stromverkauf II, 315.
 Stromversorgungsanlage II, 283.

- Stromvertrag I, 243.
 Sud(e) I, 6, 7, II, 167.
 Sudhaus II, 169.
 Sudmaische II, 146.
 Sulfatverfahren II, 112.
 Sulfitkohle II, 109.
 Sulfitsprit, Dampf- und Kraftbedarf II, 108, 111.
 Sulfitzellstoff II, 100—112.
 Synchronmotor I, 242.
 Syhonanschluß I, 105.

 Tagesbehälter II, 172.
 Tagesdampfverbrauch II, 259.
 Tagesdiagramme II, 238.
 Tagesmittel im E.-Werk II, 54.
 Talbotverfahren II, 82.
 Talsperre II, 302.
 Tank II, 156.
 Tarif(bestimmungen) I, 242—244.
 Tauchverflüssiger II, 213.
 Teeröl I, 109.
 Teig(waren) II, 140, 162.
 Teildruck der Kohlensäure II, 205, 207, 208.
 Teilmaschine II, 140.
 Temperaturniveau II, 218, 221.
 — von gesättigtem Wasserdampf I, 177
 Temperaturverlauf, wirklicher, in der Keramik II, 187, 188, 191, 193.
 —, idealer, in der Keramik II, 192.
 Tenne II, 164.
 Textilfabrik (Industrie) I, 24, 42, 144, II, 71, 122, 296, 299.
 Thermalquellen II, 288.
 Thermalwasserleitung II, 289.
 Thermischer Wirkungsgrad I, 17, 45, 163, 183, II, 220.
 Thermodyn. Wirkungsgrad I, 183, II, 219, 223.
 Thermopneumatische Keimtrommel II, 164.
 Thomas-Verfahren II, 82.
 Tiefkühlung II, 157.
 Tieföfen II, 84, 85.
 Tilgung I, 10, 174, 222, II, 55, 62, 249, 268, 269.
 Tomaten II, 277, 278.
 Ton(mergel) II, 181, 201.
 Töpferei II, 185.
 Torsionsbrenner II, 79.
 Totbrennen II, 205.
 Trägheitsmoment II, 311.

 Transformator I, 14, 166, 246, II, 53, 71.
 Transmission siehe Wellentriebe.
 Trebern II, 163, 177.
 Treiböl I, 109.
 Treppenrost I, 73, II, 95.
 Trockenanlagen I, 168, II, 177.
 — mit Abdampf I, 216—219.
 —, Druckbetrieb bei II, 27.
 —, Saugbetrieb bei II, 26.
 Trockenapparate, Arten von II, 17.
 Trockendampfbedarf für Papier I, 248, II, 117.
 Trockengehalt von Zellstoff II, 111.
 Trockengestelle, Anordnung der II, 182.
 Trockengut, Verhalten von II, 16.
 Trockenkartoffel II, 155.
 Trockenkolonne II, 139.
 Trockenluft, Aufnahmefähigkeit I, 218, II, 19.
 Trockenmaschine II, 100.
 Trockenmilch II, 110.
 Trockenschnitzel II, 144.
 Trockentemperatur, (Einfluß der) I, 217, II, 17, 20.
 —, Kritische II, 28.
 Trockenverfahren II, 16—31.
 — bei Zement II, 201.
 Trockenzyylinder I, 5, II, 27, 111, 177.
 Trockner, Kartoffel- II, 154.
 Trocknung II, 270.
 —, Grad der II, 25.
 — in der Keramik II, 182.
 —, Leder II, 90.
 —, mechanische II, 30, 100, 101, 116, 119, 145.
 — mit Rauchgasen II, 27.
 Trocknungsgeschwindigkeit II, 183.
 Trommeldarre II, 165.
 Trommelreiner II, 163.
 Tuchfabrik II, 199, 305.
 Tunnelöfen II, 183.
 Turbine I, 25, 59, 64, 65, 132, 133, II, 229, 242, 296, 301.
 Turbinenkondensator II, 169.
 Turbine, Vorteile der I, 189.
 Turbinen-Wirkungsgrade I, 61, 131, 167.
 Turbodynamo(generator) I, 155, II, 204.
 Turmpumpe II, 102, 111.

- Überdruckkörper (Verdampfer) II, 43, 150—152.
- Überhitzung I, 39, 60, 136, 152, 177, II, 33, 203, 264.
- für Speicherdampf II, 264.
- Überlandnetze II, 143, 251, 299, 310.
- Überlandwerk(zentrale) I, 40, 235, 302, II, 307—312.
- Überlastbarkeit des Antriebsmotors I, 106, II, 51.
- der Dampfanlage I, 28, 29, 41, 139, 141, 142, 147.
- von Dieselmotoren I, 115, 142.
- von Sauggasanlagen I, 142.
- Überlastung, Einfluß der I, 26.
- Überschlagen der Flamme II, 184.
- Überschußenergie I, 172, II, 280.
- , Deutschland II, 309.
- Überschußkraft(verwertung) I, 6, 202, II, 233, 242, 271.
- Überschußstrom II, 307—312.
- Überschußwärme I, 6, 202.
- Überschwänzen II, 165.
- Übersetzung bei Turbinen I, 66, II, 99.
- Überströmventil siehe Regeleinrichtung.
- Überwachung I, 2, 9, 43, 49, 59, 96, 171, II, 275.
- Umlaufpressen für Lohe II, 94.
- Umlaufreibmaschine II, 162.
- Umluftbetrieb I, 209, II, 19, 22, 25, 133.
- Umlufttrockner II, 22, 25.
- Umroller II, 118.
- Umsatz an Textilerzeugnissen II, 122.
- Umschlingungen II, 128.
- Umsetzung von Wärme II, 223, 224, 225.
- Umwälz-Heißwasserheizung II, 40.
- Umwälzpumpe II, 264.
- Universalf Feuerung I, 20.
- Unkosten(anteil) II, 269.
- Unregelmäßigkeiten im Betrieb II, 254.
- Unterbelastung I, 5.
- Unterdruck-Verdampfer II, 43, 151.
- Unterlastung, Einfluß der I, 26, 115.
- Untersuchung von Kalköfen II, 208.
- Unterteilung der Kraftversorgung I, 5.
- Unterwind I, 20.
- Vakuum I, 39, 59, 64, 67, 142, 209 bis 211, II, 218, 220.
- Vakuum-Dampfheizung I, 209.
- Vakuumdampf I, 58, 64, 185.
- Vakuumpocher II, 32.
- Vakuumentrockner II, 26, 117.
- Vakuumverdampfer II, 43, 88.
- Ventilation, von Fabrikräumen (Kraftbedarf) I, 231, 232.
- Veraltung I, 12.
- Veränderliche Betriebskosten I, 15, 256, II, 55, 61.
- Verbesserung bestehender Anlagen I, 9.
- Verbrennungskraftmaschine I, 97, 114 bis 116, 161.
- Verbrennungseigenschaften I, 19.
- Verbrennungsluft, Erhitzung der I, 48.
- Verbrennungsmotor I, 3.
- Verbrühen II, 144.
- Verbundwirtschaft II, 143, 271, 312 bis 315.
- Verdampfen II, 41—48, 211.
- Verdampfer I, 168, II, 112, 113, 146, 150, 211.
- Verdampfer-Anlage, Temperaturverhältnisse in einer II, 44.
- Verdampfer-Schaltungen II, 151.
- Verdampfungskühlung I, 117.
- Verdampfungsoberfläche II, 252.
- Verdampfungswärme I, 176.
- Verdampfungsziffer I, 45, 46, 50, 79.
- Verdichter I, 106, II, 161, 211, 213.
- Verdichtemaschine II, 157.
- Verdichtungsarbeit bei Brüden II, 47.
- Verdichtungsgrenze bei Motoren I, 99.
- Veredlung II, 123, 129.
- Vereinheitlichung elektr. Antriebe I, 3.
- Verflüssigen II, 211, 213.
- Verfütterung von Abfallstoffen II, 178.
- Vergaser I, 40, 114.
- Vergleichsrechnung I, 4.
- Vergleichsuntersuchung von Kalkofenbauarten II, 209.
- Verglühraum II, 194.
- Vergrößerungsmöglichkeit I, 28.
- Verheizungseigenschaften I, 19.
- Verlegungsart von Leitungen II, 288.
- Verluste, Lässigkeits- II, 220.
- , Leerlauf- von Transformatoren I, 239.
- , Leitungs- I, 31, 89, II, 72, 73, 220.
- , Netz- II, 72.
- , Umformungs- I, 107.
- Verlustlose Maschine II, 217.
- Vermischen II, 171.
- Vernebelung II, 134.

- Verpuffungsmotor I, 98.
 Verschiedenheitsfaktor II, 311.
 Versorgungsgebiete, Energie II, 303.
 Verstärkerkolonne II, 48, 49.
 Versteinung von Heizflächen I, 117, II, 109, 150.
 Verteilung(snetz) I, 236—241, II, 287.
 Vertrag I, 38, 243.
 Verwertung von Kraft II, 153, 237, 271.
 Verzinsung I, 10, 174, 222, 248, 254, 260, II, 55, 62, 249, 260, 269.
 Verzuckerer II, 171.
 Verzuckern II, 176.
 Viertakt (Motore) I, 40, 114.
 Vinzenz-Turek Verdampfer II, 150.
 Viskosität des Wassers II, 31.
 Vollbrand II, 186.
 Volleistung II, 53.
 Volumprocente II, 174.
 Vorbrand II, 188.
 Vorfeuer II, 183, 185, 191.
 Vorkocher II, 150, 152.
 Vormaischen II, 176.
 Vorschaltanlage I, 170.
 Vorschaltkraft II, 157, 228, 230, 239, 271, 285, 304, 307—312.
 —, Verwertung von II, 153.
 Vorschaltmaschine (Turbine) I, 56, 62, 133, 190, II, 228.
 Vorschaltstrom II, 306.
 Vorschubgeschwindigkeit des Rostes I, 71.
 Vorspinnen II, 124.
 Vorwärmer I, 47, 51, 56, 57, 131, 216, 221, II, 144, 152, 203.

 Walchensee Werk II, 69.
 Walzeisen II, 234.
 Walzenpressen II, 94.
 Walzenstuhl II, 165.
 Walzentrockner II, 155.
 Walzenwerksbetrieb I, 254, II, 83—85.
 Wanderrost, Anlagekosten I, 149, 154.
 Wandplatten II, 180.
 Warenausfall II, 189.
 Warmblasen I, 104.
 Warmluftheizung I, 208, 232, II, 197.
 Warmluftspeicher II, 167.
 Warmwasser II, 266.
 Warmwasserbedarf II, 89.
 Warmwasserbereitung (heizung) I, 215 bis 219, II, 222, 276, 293, 306.

 Warmwasserfernleitung II, 306.
 Warmwasserspeicher II, 4.
 Wärmeabgabe I, 179.
 Wärmeäquivalent I, 17, 183, II, 217.
 Wärmeaufwand für Darren II, 165.
 — zum Raffinieren II, 149.
 — für Zementbrennen II, 202.
 Wärmeausnützung siehe Wärmeverbrauch.
 — bei keramischen Öfen II, 186, 187, 202.
 Wärmeaustauscher II, 156, 157.
 Wärmebedarf einzelner Verfahren I, 72, II, 15.
 — des Elektrostahlofens II, 83.
 — der Industrie II, 14—50.
 — für Raumheizung I, 4, 223—227, 230, 235.
 — für Rohzucker II, 146.
 —, Schwankungen des II, 15.
 —, Ursachen der Steigerung II, 12.
 Wärmedichte II, 286, 287.
 Wärmedurchgangsziffer siehe Wärmeleitzahl.
 Wärmefortleitung II, 287, 288, 306.
 Wärmeflußbild II, 80, 152.
 Wärmegefälle I, 55, 62, 187, II, 217.
 Wärmeingenieur II, 275, 276.
 Wärmeinhalt I, 168, II, 217, 218, 223, 224.
 Wärmekosten siehe Wärmepreis.
 Wärmekraftmaschine I, 39—167, II, 50.
 Wärmelehre, Hauptsatz II, 1, 211.
 Wärmeleitzahl I, 92—94, 229, II, 36, 37, 41.
 Wärmelieferungsbedingungen II, 285.
 Wärmemessung II, 282, 294, 295.
 Wärmepreis I, 18, 19, 106, 143, II, 242, 268, 284, 285.
 Wärmepumpe I, 96, II, 46, 47, 109.
 Wärmeschlußrechnung II, 149.
 Wärmeschutz I, 9, 43, 89—95, II, 209, 210, 287, 288—290.
 Wärmespeicher siehe Speicher.
 Wärme, Spez., Beziehung zur Dichte II, 44.
 Wärmeträger, Führung im Trockner, II, 18.
 Wärmeübergang II, 38, 39.
 Wärmeübergangszahl siehe Wärmeleitzahl.
 Wärmeübertragung bei Kesseln I, 75.

- Wärmeübertragung bei Verdampfern II, 42.
 Wärmeverbrauch für Kalkbrennen II, 207.
 — für Kälteerzeugung II, 214, 215.
 — von Maschinen I, 17, 183, 187, 220, II, 218.
 — für Raffinade II, 154.
 — beim Trocknen I, 218, II, 20, 90, 116, 131, 132, 179.
 — für Zellstoff II, 121, 122.
 — für Zucker II, 153.
 Wärmeverbrauchsspitzen I, 5.
 Wärmeverkauf II, 282.
 Wärmeverluste I, 89—95, 218, II, 40, 174, 256, 286, 287.
 Wärmeverteilung im Rundofen II, 195.
 Wärmeversorgung I. 1—38.
 Wärmezug I, 82.
 Wärmer II, 145, 152.
 Waschwolländer II, 114.
 Waschmühlen II, 201.
 Waschtrommel für Preßtücher II, 179.
 Wäscherei I, 216, II, 234.
 Wasserarten im Trockengut II, 18.
 Wasserabscheider I, 68.
 Wasserbedarf für Rübe II, 149.
 Wasserentzug, mechanisch II, 177.
 — im Trockner II, 29.
 Wassergehalt gesättigter Luft I, 217.
 —, Einfluß des II, 30, 93.
 Wasserhaltung I, 4, 9, 24, 116—118, II, 111, 249.
 Wasserhärte I, 84.
 Wasserhaut II, 38.
 Wasserkraftanlagen I, 31, 39, II, 38, 55—61.
 — Österreichs II, 72.
 Wasserkraft, Anwendung der II, 50.
 Wasserkraftausbau II, 313.
 — Deutschlands II, 60.
 — Italiens II, 61.
 — Österreichs II, 60.
 Wasserkraftenergie, Preis II, 61.
 Wassermesser II, 268.
 Wasserpresse II, 119.
 Wasserraum II, 253.
 Wasserreinigung I, 9, 84—86, 152.
 Wasserrohrkessel I, 74, 149, II, 253.
 Wasserstandsglas II, 255.
 Wasserstoff II, 70, 71, 134, 175.
 Wasserverbrauch siehe Wasserhaltung.
 Wasserzersetzung II, 10, 70, 71.
 Weberei I, 199, 237, 254, II, 123, 128, 129, 234, 236, 272, 296.
 Webstühle, Kraftbedarf II, 6, 129.
 Wellentriebe I, 14, 236, 238, 240, II, 101.
 Weifen II, 128.
 Weiße Kohle II, 61, 313.
 Weizenmühle II, 11, 139, 234, 272.
 Weller-Jellinek Verdampfer II, 150.
 Werbeschriften II, 263.
 Wettbewerbsfähigkeit II, 273.
 Wettbewerbsgebiete von Krafterzeugern I, 249—264.
 Wiederverdichtung von Abdampf I, 199.
 Winderhitzer II, 78.
 Windkraftanlage I, 39.
 Wintermittel im E.-Werk II, 54.
 Wirkleistung I, 246, 247.
 Wirkliche Maschine II, 222, 226.
 Wirkungsgrad I, 44, II, 257.
 —, Brennöfen II, 195, 206, 208, 209.
 —, Drehstrommotor I, 239.
 —, Gaserzeugung II, 82.
 —, Kesselanlagen I, 43, 77, 78.
 —, Menschlicher Arbeit II, 6.
 —, Sauggasmotor I, 100.
 —, thermischer I, 17, 45, 168, 183, II, 220.
 —, thermodynamischer I, 183, II, 219, 223.
 —, Turbine I, 61, 131, 167.
 —, Zahnradvorlege I, 66, 238.
 Wirtschaftlichkeit I, 1, 3.
 —, Berechnung I, 35, 123, II, 244, 299.
 —, Gesamtanlage I, 24.
 —, Städteheizung II, 283, 285.
 —, Wasserkraftausbau II, 58.
 —, Zwischendampfentnahme II, 250.
 Wohnhausbau II, 290.
 Wolf II, 124.
 Wurffuerung I, 20, 154.
 Wursterzeugung II, 138.
 Würzede stillation II, 177.
 Würzekochen II, 163.
 Zaggeln II, 77.
 Zähflüssigkeit des Wassers II, 31.
 Zähler II, 294.
 Zahnräder I, 66, 238, II, 99.
 Zechenpreise I, 52.
 Zeitliche Ausnützung I, 32.
 Zeitungsdruck II, 118.

- Zellpech II, 109.
 Zellstoff II, 96, 97, 100—115, 234, 236, 237.
 Zellstoff- Dampfverbrauch II, 107, 108.
 — -Fabrik II, 266.
 — -Industrie I, 42, II, 96, 100—115.
 — -Kochung II, 102—107.
 — -Papier II, 118.
 — -Trockengehalt II, 111.
 Zellulose siehe Zellstoff.
 Zement (Fabrik) II, 11, 179, 234, 303, 307.
 Zementindustrie (Erzeugungsziffern) II, 200.
 — Japans II, 204.
 —, Leistungsfähigkeit II, 200.
 Zementöfen II, 200, 203.
 Zement-Rohstoffe II, 200.
 Zentralheizungen II, 234, 283.
 Zentralisation I, 16, II, 286, 311.
 Zentralmaschine I, 112.
 Zentrifugen, siehe Schleuder.
 Zentrifugalspeisepumpe I, 83.
 Zerlegungsdruck (Temperatur) II, 205.
 Zettel II, 128.
 Ziegelei I, 27, II, 181.
 Zierblumen(pflanzen) II, 276.
 Zinsezins I, 13.
 Zucker II, 138, 154, 234, 308.
 Zuckerfabrik I, 24, 42, II, 303, 304.
 Zuckerfabriken, Arbeitszeit in siehe Kampagne.
 Zuckergehalt der Rübe II, 142.
 Zuckerverluste II, 149.
 Zug, künstlicher I, 20.
 Zugsperanlagen I, 43.
 Zugverlust im Eko I, 82.
 Zugverstärkung II, 198.
 Zündhölzchen II, 234.
 Zusammenarbeit, Energiewirtschaftliche II, 271.
 Zusatzdampf II, 151, 237, 239.
 Zusatzfeuerung I, 72, 80.
 Zusatzkraft II, 237.
 Zusatzmaschine I, 191.
 Zusatzventil II, 256.
 Zündstreifen I, 110.
 Zündung I, 99.
 Zweckmäßigkeit einer Anlage I, 3.
 Zweifeuergenerator I, 102.
 Zweiflammrohrkessel, Anlagekosten I, 148.
 Zweitakt (Motore) I, 40, 99.
 Zwirnmaschine II, 124.
 Zwischenbeheizung II, 133.
 Zwischendampfbetrieb I, 193, 195, 197 bis 200, II, 162, 169, 235, 238—251.
 Zwischendampf-Kochung II, 235.
 — -Verwertung, Vorteile der I, 201.
 Zwischenerhitzung beim Trocknen II, 19, 22.
 Zwischenüberhitzung I, 44, 57, 191.
 Zyklon II, 178.
 Zylinderkühlung I, 117.
 Zylinderölkasten I, 118.
 Zylinderrippen II, 118.
 Zylinder-Trocknung II, 27, 132.
 —, Unterteilung bei Dampfmaschinen I, 58.

Allgemeine Grundlagen der Kraft- und Wärmewirtschaft in der Industrie, enthaltend allgemeine wirtschaftliche Gesichtspunkte. (Erster Band von „Gerbel-Reutlinger, Kraft- und Wärmewirtschaft in der Industrie“.) Von Dr.-Ing. Ernst Reutlinger, Vorstand der Ingenieurgesellschaft für Wärmewirtschaft A.-G., Köln, unter Mitwirkung von Oberbaurat Ingenieur M. Gerbel, beh. aut. Zivil-Ing. für Maschinenbau und Elektrotechnik, Wien. Gleichzeitig dritte, vollständig erneuerte und erweiterte Auflage von Urbahn-Reutlinger, Ermittlung der billigsten Betriebskraft für Fabriken. Mit 109 Textabbildungen und 53 Zahlentafeln. V, 264 Seiten. 1927. Gebunden RM 16.50

Die Wärmeübertragung. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für den praktischen Gebrauch. Von Professor Dipl.-Ing. M. ten Bosch, Zürich. Zweite, stark erweiterte Auflage. Mit 169 Textabbildungen, 69 Zahlentafeln und 53 Anwendungsbeispielen. VIII, 304 Seiten. 1927. Gebunden RM 22.50

Die Abwärmeverwertung im Kraftmaschinenbetrieb mit besonderer Berücksichtigung der Zwischen- und Abdampfverwertung zu Heizzwecken. Eine wärmetechnische und wärmewirtschaftliche Studie. Von Dr.-Ing. Ludwig Schneider. Vierte, durchgesehene und erweiterte Auflage. Mit 180 Textabbildungen. VIII, 272 Seiten. 1923. Gebunden RM 10.—

Abwärmeverwertung zu Heiz-, Trocken-, Warmwasserbereitungs- und ähnlichen Zwecken. Von Ing. M. Hottinger, Privatdozent, Zürich. Mit 180 Abbildungen im Text. X, 240 Seiten. 1922. RM 8.—; gebunden RM 10.—

Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. Von Privatdozent Dr.-Ing. J. S. Cammerer, Berlin. Mit 94 Textabbildungen und 76 Zahlentafeln. VIII, 276 Seiten. 1928. Gebunden RM 21.50

Prioform-Handbuch. Herausgegeben von den Deutschen Prioformwerken Bohlander & Co. G. m. b. H., Köln. Zweite, vollkommen neu bearbeitete und erheblich erweiterte Auflage. Erster Teil: Die theoretischen Grundlagen der Wärmeschutztechnik und ihre praktische Auswertung. Zweiter Teil: Zusammenstellungen, Tabellen und Diagramme. Mit 16 Figuren. 283 Seiten und 13 Seiten Schreibpapier. 1930. Gebunden RM 15.—

Brennstoff und Verbrennung. Von Professor Dr. D. Aufhäuser, Inhaber der Thermochemischen Versuchsanstalt zu Hamburg.
I. Teil: Brennstoff. Mit 16 Abbildungen im Text und zahlreichen Tabellen. V, 116 Seiten. 1926. RM 4.20
II. Teil: Verbrennung. Mit 13 Abbildungen im Text. IV, 107 Seiten. 1928. RM 4.20
Teil I und II in einem Band gebunden RM 10.—

Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes unter besonderer Berücksichtigung der Wärmewirtschaft. Von Dr.-Ing. Georg Herberg, Stuttgart. Vierte, erweiterte Auflage. Mit 84 Textabbildungen, 118 Zahlentafeln sowie 54 Rechnungsbeispielen. XII, 447 Seiten. 1928. Gebunden RM 23.50

Regelung und Ausgleich in Dampfanlagen. Einfluß von Belastungsschwankungen auf Dampfverbraucher und Kesselanlage sowie Wirkungsweise und theoretische Grundlagen der Regelvorrichtungen von Dampfnetzen, Feuerungen und Wärmespeichern. Von Th. Stein. Mit 240 Textabbildungen. VIII, 389 Seiten. 1926. Gebunden RM 30.—

Die Wärmewirtschaft in der Zellstoff- und Papier-

industrie. Von Dr.-Ing. Joseph Freiherr von Lassberg. Zweite, völlig
neubearbeitete Auflage. Mit 68 Textabbildungen. VI, 282 Seiten. 1926.
Gebunden RM 24.—

Handbuch der Spinnerei. Von Professor Ing. Josef Bergmann †,

Brünn. Nach dem Tode des Verfassers ergänzt und herausgegeben von Dr.-Ing.
e. h. A. Lüdicke, Geh. Hofrat, o. Professor emer., Braunschweig. Mit 1097 Text-
abbildungen. VII, 962 Seiten. 1927. Gebunden RM 84.—

Beiträge zur Gerbstoffversorgung. Aus englischen Quellen des

„Bulletin of the Imperial Institute“ übersetzt und mit einer Einleitung und Fuß-
noten versehen von Dr. phil. Ing. Leopold Pollak, Außig, Privatdozent für
Gerbstoff- und Lederindustrie an der Deutschen Technischen Hochschule Prag.
(Erweiterter Sonderabdruck aus „Der Gerber“, 1928.) Mit 9 Tafeln. XIV,
87 Seiten. 1929. RM 5.50

Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Leder-

fabrikation in elementarer Darstellung. Von Dipl.-Ing. N. P.
Kostin. Vom Verfasser bis zur Neuzeit ergänzte deutsche Ausgabe. Über-
setzt von Ing. L. Keigueloukis und Dipl.-Ing. R. Schunck. Mit 18 Ta-
bellen und 29 Abbildungen. 128 Seiten. 1928. RM 10.—

Berl-Lunge, Taschenbuch für die anorganisch-che-

mische Großindustrie. Herausgegeben von Prof. Ing. chem. Dr. phil.
E. Berl, Darmstadt. Siebente, umgearbeitete Auflage. 1930.
Erster Teil: Text. Mit 19 Textabbildungen. XIX, 402 Seiten.
Zweiter Teil: Nomogramme. Mit einem Lineal. 31 Tafeln mit Beispielen und
4 Seiten Text. In Mappe. Text und Nomogramme zusammen RM 37.50

Die Kältemaschine. Grundlagen, Berechnung, Ausführung, Betrieb und

Untersuchung von Kälteanlagen. Von Dipl.-Ing. M. Hirsch, Beratender Ingenieur
V. B. I. Mit 261 Textabbildungen. XII, 510 Seiten. 1924. Gebunden RM 21.—

Die Trockentechnik. Grundlagen, Berechnung, Ausführung und Betrieb

der Trockeneinrichtungen. Von Dipl.-Ing. M. Hirsch, Beratender Ingenieur
V. B. I. Mit 234 Textabbildungen, einer schwarzen und 2 zweifarbigen *i-x*-
Tafeln für feuchte Luft. XIV, 366 Seiten. 1927. Gebunden RM 31.80

H. Rietschels Leitfaden der Heiz- und Lüftungstechnik.

Neunte, verbesserte Auflage. Von Professor Dr.-Ing. Heinrich Gröber,
Vorsteher der Versuchsanstalt für Heizungs- und Lüftungswesen an der Tech-
nischen Hochschule, Berlin. Mit einem Abschnitt über Hygiene von Professor
Dr. med. J. Bürgers, Vorsteher des Hygienischen Instituts der Universität
Königsberg. Mit 299 Textabbildungen, 20 Zahlentafeln und VII Hilf-tafeln.
XV, 293 Seiten. 1930. Gebunden RM 36.—

Die Heiz- und Lüftungsanlagen in den verschiedenen

Gebäudearten einschließlich, Warmwasserversorgungs-, Be-
feuchtungs- und Entnebelungsanlagen. Von M. Hottinger, Dozent
für Heizung und Lüftung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule
Zürich, und W. v. Gonzenbach, Professor für Hygiene an der Eidgenössischen
Technischen Hochschule, Zürich. IX, 191 Seiten. 1929. RM 8.50; geb. RM 10.—