

DIE KRAFTWIRTSCHAFT

VON

Dr.-Ing. HANS BALCKE

BERLIN-WESTEND

I. BAND

MIT 393 TEXTABBILDUNGEN

UND 16 ZAHLENTAFELN



MÜNCHEN UND BERLIN 1930

VERLAG VON R. OLDENBOURG

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechtes, vorbehalten

Copyright 1930 by R. Oldenbourg, München und Berlin

Druck von R. Oldenbourg, München und Berlin

**DEM ANDENKEN
AN GEORG KLINGENBERG
GEWIDMET**

Vorwort.

Mit meiner Kraftwirtschaft lege ich meinen Lesern das vorläufige Schlußwerk meiner Bücherreihe zur Beurteilung vor. Meine früher erschienenen Werke »Die Kondensatwirtschaft«, »Die Abwärmetechnik«, Band I bis III, »Die Organisation der Wärmeüberwachung« und »Die neuzeitliche Speisewasseraufbereitung« behandelten sehr wesentliche Sondergebiete, welche im Rahmen des vorliegenden Werkes einen zu großen Raum eingenommen hätten. Ich habe sie daher in der Kraftwirtschaft nur kurz gestreift bzw. ergänzt, so weit es zur Erzielung eines in sich abgeschlossenen Bandes notwendig war.

Die Kraftwirtschaft zerfällt in zwei Bände. Der erste hier vorliegende Band behandelt in drei Teilen den technischen Aufbau von Dampf-, Verbrennungs- und Wasserkraftwerken aus den einzelnen Konstruktionselementen. Dieser Rahmen ist nur bei den Lokomobil- und bei den Verbrennungs-Kraftwerken bewußt insofern überschritten worden, als hier rein wirtschaftliche Erwägungen als Vergleichsmaterial für die ersten Abschnitte von Band II vorweg gebracht werden mußten. Der augenblicklichen Bedeutung — besonders für Deutschland — entsprechend, hat der die Dampfkraftwerke behandelnde Teil den weitaus überwiegenden Raum des Bandes beansprucht. Die neuzeitlichen Heizungs-Kraftmaschinen für hohe und höchste Drücke habe ich bereits in meiner Abwärmetechnik Band II eingehend behandelt, so daß ihre nochmalige Besprechung sich hier erübrigte.

Der zweite Band beschäftigt sich mit der günstigsten wirtschaftlichen Planung von Kraftwerksanlagen und mit der Organisation der Verteilung der elektrischen Energie. Den Abschluß bildet eine Abhandlung über die Energiewirtschaft im Lichte der Statistik.

Die Fachpresse und meinen Leserkreis bitte ich, das vorliegende Werk im Rahmen meiner gesamten Bücher zu

VI

beurteilen, denn sie bilden eine organisch verbundene Einheit. Auch bitte ich, anzuerkennen, daß es mir in dem zur Verfügung stehenden Raum naturgemäß nur möglich war, an Hand charakteristischer Einzelerzeugnisse der Industrie das Wesentliche des betreffenden Sondergebietes zu besprechen. Ich mußte z. B. auf die verschiedenen Kohlenstaubmühlen verzichten und bin auch auf bekannte Kesselsysteme nicht eingegangen, deren Beschreibung sich u. a. in der »Hütte« findet. (Steinmüller, Schmidt-Kassel usw.)

Den Herren Dipl.-Ing. N. Hilgers, H. Schult und F. Wiener von der AEG sowie Herrn J. C. Schlemenson und Herrn Kaschny spreche ich bei dieser Gelegenheit meinen Dank für die Unterstützung aus, die sie mir bei meiner Arbeit zuteil werden ließen. Mein Dank gebührt auch dem Mitteldeutschen Braunkohlen-Syndikat in Leipzig, das freundlicherweise die Überarbeitung des Kapitels »Feuerungsanlagen« übernommen hatte, und der Firma Borsig, die auf meine Bitte den Abschnitt über »Dampfkesselanlagen für Normal- und Hochdrücke« einer Durchsicht unterzog.

Ich schrieb meine Werke für die schaffende Technik, um ihr die behandelten Wissensgebiete in möglichst klarer Darstellung und in übersichtlicher Form zu vermitteln. Die verständnisvolle Mitarbeit, die ich hierbei von seiten der Industrie fand, unterstützte mein Streben in starkem Maße.

Berlin-Westend, Pfingsten 1930.

Der Verfasser.

Inhaltsangabe.

	Seite
Vorbemerkung: Der Begriff »Kraftwirtschaft«	1
Einleitung: Die Entwicklung der deutschen Energieversorgung	5
Teil I. Dampfkraftwerke. (Der wärmetechnische Aufbau neuerzeitiger Dampfkraftwerke)	12
1. Die 6 Kreisläufe eines Kraftwerkes	12
I. Der Kohle-Asche-Kreislauf	14
1. Förderanlagen für den Brennstoff zum Kessel	15
2. Feuerungsanlagen	25
a) Brennstoffe	25
b) Feuerungen	26
1. Feuerungen für stückige Brennstoffe	26
2. Feuerungen für staubförmige Brennstoffe	45
3. Feuerungen für gasförmige Brennstoffe	65
4. Feuerungen für flüssige Brennstoffe	68
3. Entschungsanlagen zur Förderung der Asche vom Kessel zur Ablagerungsstelle	69
II. Der Kreislauf der Verbrennungsluft	81
1. Luftvorwärmer	81
2. Entstaubungsanlagen für Verbrennungsgase	107
3. Schornstein- und Saugzuganlagen	116
III. Der Speisewasser-Dampfkreislauf	119
1. Dampfkessel für Normal- und Hochdrücke	126
a) Allgemeines	126
b) Bauarten für Normal- und Hochdruckkessel	138
2. Speicheranlagen zur Aufnahme von Belastungsspitzen	167
a) Allgemeines	167
b) Die Gefällespeicher (Ruthsspeicher)	174
c) Gleichdruckspeicher	183
3. Dampfkraftmaschinen für Normal- und Hochdruckanlagen	209
1. Die Dampfturbinen	209
a) Allgemeines	209
b) Die Kondensationsturbine	214

VIII

	Seite
c) Die Gegendruckturbine	233
d) Die Anzapfturbine	245
e) Die Speicherturbine	260
f) Die Abdampfturbine	262
g) Die Zweidruckturbine	262
h) Die Mehrstoffturbine	263
2. Die Kolbenmaschinen	266
3. Die Zwischendampfüberhitzung	278
4. Die Speisewasservergütungsanlagen	284
a) Allgemeines	284
b) Die Speisewasseraufbereitung bei Großkraftwerken	286
c) Die Speisewasseraufbereitung bei Industriekraftwerken	297
5. Die Vorwärmer	307
a) Die Rauchgas-Speisewasser-Vorwärmer für Normal- und Hochdruckanlagen	307
b) Die Stufenvorwärmung durch Anzapfdampf	335
6. Die Speisepumpen für Normal- und Hochdruckanlagen	348
a) Allgemeines	348
b) Pumpenbauarten	349
1. Injektoren	349
2. Kolbenpumpen	350
3. Kreiselpumpen	351
c) Der Antrieb von Kreisel-Speisepumpen	355
d) Die Aufstellung der Pumpen im Kesselhaus	358
e) Sonderkonstruktionen für Hochdruckanlagen	359
IV. Der Kühlwasserkreislauf	367
1. Die Kondensation	368
a) Allgemeines	368
b) Die Theorie des Kondensators	370
c) Kondensatorbauarten	381
d) Kondensationspumpwerke	390
2. Die Kaminkühler	408
a) Allgemeines	408
b) Kühlerbauarten	409
1. Der Zellenkühler	410
2. Der Quer-Gegenstromkühler	411
3. Der Rieselflächenkühler	413
3. Kühlwasserreinigungsanlagen	414
a) Allgemeines	414
b) Die mechanischen Kühlwasserreinigungsanlagen	417
1. Mechanische Vorreinigungsverfahren	417
2. Das Spülverfahren	428

	Seite
c) Die chemischen Kühlwasserreinigungsanlagen	430
1. Die periodischen Verfahren	430
2. Die Verfahren zur dauernden Steinfreihaltung von Oberflächen-Kondensatoren . .	433
V. Der Kreislauf der Generator- und Transformator-Kühlluft	435
1. Allgemeines	435
2. Die Kühlluftstromkreise für Generatoren . . .	436
a) Der Frischluftstromkreis	438
1. Allgemeines	438
2. Filterbauarten	438
3. Der Gütegrad von Luftfiltern	444
b) Der Umluftstromkreis	447
1. Allgemeines	447
2. Luftkühlerbauarten	451
3. Die Überwachung von Luftkühleranlagen	457
4. Die Ausbildung der Kühlwasserstromkreise	458
3. Die Kühlluftstromkreise für Transformatoren .	463
a) Allgemeines	463
b) Die Kühlluftstromkreise	466
1. Der Frischluftstromkreis	466
2. Der Umluftstromkreis	472
c) Andere Verwendungsgebiete für Luft-Ölkühler	473
VI. Der elektrische Kreislauf	473
a) Allgemeines	473
b) Die Wahl der Maschinenspannung	474
1. Verteilung ohne Umspannung	477
2. Zwischenschaltung von Umspannern	479
c) Die Eigenversorgung des Kraftwerkes	483
2. Rohrleitungen und Armaturen zu den Kreisläufen I—IV	489
1. Die Rohrleitungen	489
2. Die Absperrvorrichtungen	499
a) Absperrventile	499
b) Absperrschieber	502
3. Schnellschlußorgane	513
4. Stoßdämpfer	518
5. Kompensatoren	519
6. Wasserabscheider	523
7. Heißdampfkühler	526
8. Entwicklungen auf dem Hochdruckgebiet	529
3. Die meßtechnische Überwachung von Dampfkraftwerken	531
1. Die meßtechnische Überwachung der 6 Energiekreisläufe	531
2. Apparate und Verfahren zur meßtechnischen Überwachung von Kraftwerken	539

X

	Seite
3. Die Meßvorgänge im Kesselhaus	569
a) Übersicht über die zu messenden Vorgänge bei Kohlenfeuerungen	569
1. Das Kesselschild	569
2. Das Hallenschild	570
3. Die Meßzentrale	571
b) Übersicht über die zu messenden Vorgänge bei Kohlenstaub- bzw. Gas- und Ölfeuerungen	572
4. Die Meßvorgänge im Maschinenhaus (Das Turbinenschild)	574
5. Die Meßvorgänge in der Warte	575
4. Die selbsttätige Reglung in Dampfkraftwerken	579
1. Die Speisewasserreglung	579
2. Die Feuerungsreglung	588
a) Die Handreglung	588
b) Die selbsttätige Reglung	590
c) Arbeitsverfahren der selbsttätigen Feuerungsreglung	592
d) Die Feuerungsregler Bauart AEG-Askania	593
1. Allgemeines	593
2. Die Reglung der Luftzufuhr nach der Belastung	597
3. Die Reglung der Brennstoffzufuhr	599
4. Die Luftüberschuß-Reglung	601
e) Die selbsttätige Feuerungsreglung mit Arca-Reglern	601
f) Die selbsttätige Siemens-Reglung	607
5. Lokomobilkraftwerke	611
Teil II. Verbrennungskraftwerke	627
1. Allgemeines	627
2. Dieselmotore	630
3. Dieselmotoren	638
4. Sauggasmotore	644
5. Sauggaskraftanlagen	646
6. Die Kohlenveredlung	647
Teil III. Wasserkraftwerke	650
1. Allgemeines	650
2. Turbinenbauarten	652
3. Hydraulische Speicherkraftanlagen	670
Sachregister	671
Quellenverzeichnis	679

Vorbemerkung.

Der Begriff „Kraftwirtschaft“.

Um zu einer klaren und brauchbaren Kennzeichnung des Begriffes »Kraftwirtschaft« zu kommen, ist es notwendig, zunächst den Grundbegriff »Wirtschaft« zu klären.

Hier zeigt sich sofort die erste Schwierigkeit, weil nicht einmal die Wirtschaftswissenschaft (Nationalökonomie) eine eindeutige und allgemeingültige Antwort auf die Frage geben kann, was unter dem Begriff »Wirtschaft« zu verstehen ist.

Unter den Forschern unserer Zeit kennzeichnet Sombart¹⁾ »Wirtschaft« als »menschliche Unterhaltungsfürsorge«, nicht ohne die gemeinte Fürsorge auf die Deckung des Sachgüterbedarfes zu beschränken. Für Dietzel²⁾ ist Wirtschaft »der Inbegriff der wirtschaftlichen Handlungen eines Subjektes«, wobei er absichtlich aus diesem Grundbegriffe das gesellschaftliche Element ausscheidet, indem er »wirtschaftliche Handlungen« als solche kennzeichnet, welche den Zweck verfolgen und denselben zu erreichen geeignet sind, einen begrenzten Teil des Stoffes der Willensherrschaft einer Person zu unterwerfen. Den weitestgefaßten Wirtschaftsbegriff bringt Spann³⁾ mit der Definition: »Wirtschaft ist die Widmung von Mitteln für Ziele auf Grund des Abwägens der Mittel«. Cassel⁴⁾ ist konkreter und sagt: »Wirtschaft ist die Gesamtheit der die

¹⁾ Der moderne Kapitalismus, 2. Aufl., S. 3 u. 13; Archiv f. Sozialw. Bd. 37, S. 3 u. 27 ff.; »Der Hochkapitalismus« 1927. Vgl. auch H. Halberstaedter, »Energiewirtschaft«, Handwörterbuch der Betriebswirtschaft (herausgegeben von Nicklisch).

²⁾ Dietzel, Der Ausgangspunkt der Sozialwirtschaftslehre usw., Zeitschr. f. d. ges. Staatsw. 1883, S. 65.

³⁾ Spann, Fundament der Volkswirtschaftslehre, 2. Aufl., S. 59 f, Jena 1921.

⁴⁾ G. Cassel, Theoretische Sozialökonomie, 3. Aufl., S. 1 f, Leipzig 1923.

Bedürfnisbefriedigung ermöglichenden, aber nicht mit ihr zusammenfallenden Tätigkeit. Vor allem ist seiner Behauptung, die Wirtschaft sei vom »Prinzip der Knappheit« beherrscht, zuzustimmen. Die seit der klassischen Nationalökonomie übliche Einteilung der volkswirtschaftlichen Probleme in Produktion, Distribution und Konsumtion gilt für die Fassung des Wirtschaftsbegriffes jedenfalls in keiner Weise. Die Konsumtion ist eine rein physiologische oder technische Angelegenheit — die eigentliche Produktion Sache der jeweiligen »Technik«. Die Distribution ist ihrem Wesen nach noch aufzuspalten.

So taucht nunmehr die Frage auf, ob ein eindeutiger und allgemeingültiger Wirtschaftsbegriff überhaupt gewonnen werden kann, oder ob nicht die Vieldeutigkeit des Wortes Wirtschaft zu einer einschränkenden Begriffsbestimmung nötig ist.

Dies ist tatsächlich der Fall! Von den vielen einschränkenden Begriffsbestimmungen erscheint die von Doevenspeck¹⁾ gegebene die geeignetste zu sein. Nach dieser ist unter Wirtschaft im engeren Sinne ein System von Distribution- und Dispositionsakten zu verstehen, gegenüber einer knappen Gütermenge, gerichtet auf Erreichung eines optimalen Wirtschaftsgrades dieser Akte. Unter Wirtschaft im weiteren Sinne ist die Ganzheit solcher Systemkomplexe zu verstehen.

Es verbleibt nunmehr die Kennzeichnung des Begriffes Kraft in Verbindung mit dem soeben gekennzeichneten Wirtschaftsbegriff. Er leitet sich aus der Kennzeichnung des Energiebegriffes²⁾ ab; denn Energie ist alles, was Arbeit leisten kann und bezogen auf die Zeiteinheit Leistung. »Die eigentliche Ursache aller, Energieäußerungen und damit die allgemeine Grundform aller Energie, sind also Kräfte«³⁾. Die Energien können in unmittelbare Animalische, Wind- und Wasserenergie und in mittelbare Wärmeenergie eingeteilt werden.

Energien sind also allgemein Arbeitsfähigkeiten. Die Energievorräte stecken in den Brennstoffen, der Sonnenstrah-

¹⁾ Doevenspeck, Energiewirtschaft, Brennstoff- und Wärmewirtschaft, Heft 5, 1929.

²⁾ Unter Energie versteht die Physik eine aus allen Naturerscheinungen zu abstrahierende, nach Maß und Grad variable Größe, welche die Wirkungsfähigkeit der Naturobjekte bestimmt.

³⁾ Springer, Berlin 1924 A. 207 f.

lung, in Ebbe und Flut, in den Wasser- und Windkräften und treten ferner als Abfall- und Überschußenergie auf.

Die deutschen Energievorräte betragen in Tonnen bzw. Kilowattstunden ausgedrückt¹⁾:

Steinkohle (bis 2000 m, die Hälfte davon bis 1000 m Teufe) rund	305	Milliarden t
Braunkohle rund	13,4	» t
Torf rund	0,85	» t
Wasserkraft (voller Ausbau) jährlich . .	$1000 \times 7,6$	» kWh.

Unter Zugrundelegung der einleitend gegebenen Kennzeichnung des Wirtschaftsbegriffes von Spann und Cassel läßt sich nach den weiter gegebenen Ausführungen über das Wesen der Energie der Begriff »Kraftwirtschaft« dahingehend kennzeichnen, daß die Kraftwirtschaft die Widmung und Förderung von Mitteln und Zielen ist, um unter Wahrung des Prinzips der Knappheit die Energievorräte bzw. die Grundform aller Energie, nämlich die Kräfte, der Allgemeinheit in zweckmäßiger Form zur Durchführung von Produktionsvorgängen zuzuführen.

Die Mittler zur Ausschöpfung der Energievorräte und Umwandler dieser in geeignete und billige Produktionsmittel sind die Kraftwerke, welche zu diesem Zwecke bestens ausgebaut und bewirtschaftet werden müssen. Die grundlegenden Aufgaben der Kraftwirtschaft sind also der wirtschaftliche Ausbau und die planvolle Leitung der Kraftwerke und die Organisation der Verteilung der mit ihrer Hilfe aus den Energievorräten gewonnenen und für den Verbrauch in geeignetster Weise umgeformte Energie auf die Verbraucher.

»In einer Zeit, die aus dem Vollen wirtschaften durfte, welche nur die eine Aufgabe kannte: Ware schaffen! war es verzeihlich, wenn die Erzeuger auf Vorteile verzichteten, die eine wissenschaftliche Technik ihnen von Tag zu Tag bot: Überdies forderten diese Verbesserungen Anlagekosten. Bei

¹⁾ Aufstellung des Reichsschatzministeriums bei Klingenberg: Bau großer Elektrizitätswerke, S. 39—41, 2. Aufl. Springer, Berlin 1924.

der Zersplitterung der Erzeugung in willkürlich zerlegte Betriebe war das einzelne Werk nicht immer in der Lage, der Entwicklung zu folgen. Vergeudete es Arbeitskräfte und Material, so war diese Vergeudung zwar ein Schaden für das Erträgnis, jedoch im letzten Sinne Privatsache. Heute ist jeder Verlust, jede Verschwendung Sache der Gemeinschaft! Es hat niemand mehr, auch wenn er es bezahlen kann, das Recht, eine Auspuffmaschine zu betreiben, die z. B. das Fünffache der zulässigen Kohlenmenge frißt, so wenig wie jemand das Recht hat, Brot zu zertreten¹⁾.

Berlin, den 1. November 1929.

Der Verfasser.

¹⁾ Rathenau, Die neue Wirtschaft, S. 40. Berlin 1921.

Einleitung.

Die Entwicklung der deutschen Energieversorgung.

Im Jahre 1866 erfand Werner Siemens seine dynamo-elektrische Maschine, um elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf wirtschaftlichem Wege zu erzeugen. Es war bei der Erzeugung elektrischer Ströme zunächst an die Lichterzeugung gedacht. Diesem Gedankengang entsprach auch die Ausbildung der ersten Maschinen und der Differentiallampe von Siemens & Halske. Jedoch handelte es sich hierbei zunächst nur um teilweise gelungene physikalische Versuche, bis Edison 1880 mit der Einführung der Glühlampe der elektrischen Ausrüstung ein vorläufiges Schlußglied gab. Es war nun der Bau von Beleuchtungsanlagen möglich, die Lichtquellen jeder Abstufung im Freien oder in geschlossenen Räumen ohne irgendwelche Belästigung bei einfacher Handhabung sicher zu speisen gestatteten und zudem den Forderungen der Gesundheit und Sicherheit genügten.

Der Kampf der elektrischen Beleuchtung gegen die Gasbeleuchtung hat jahrelang gedauert. Behörden und Publikum mußten überzeugt werden, daß es sich um mehr handle als um interessante physikalische Versuche größeren Stils und daß die neue Beleuchtungsart ungefährlicher und zuverlässiger sei als die damals auf einer hohen Stufe stehende Gasbeleuchtung. Emil Rathenau war es, der zuerst freie Bahn schuf, um ganze Stadtbezirke mit Strom zu versorgen. Die Berichte der Berliner Stadtverwaltung aus den Jahren 1882 bis 1888 über die Anträge Rathenaus zur Elektrizitätsversorgung sind in dieser Beziehung außerordentlich lehrreich; sie heben u. a. die Schädigung der städtischen Gaswirtschaft hervor und lehnen den Gedanken nachdrücklich ab, die für die Errichtung elek-

trischer Zentralstationen erforderlichen Kapitalien selbst aufzubringen und das Risiko zu tragen, denn in Berlin wurde wie anderwärts auch die Entwicklung der elektrischen Beleuchtung zunächst dem privaten Unternehmegerist überlassen. Dies ist auch die Ursache, warum beispielsweise die AEG in den nachfolgenden Jahren eine Betriebsgesellschaft nach der andern im In- und Auslande gründete, für die sie Kraftwerke baute, um ihre eigene Erzeugung zu steigern.

Von der Beleuchtung größerer Häuserblocks ausgehend, gewannen in diesen Jahren die Pläne Gestalt, ganze Städte von einem oder mehreren Punkten aus mit Strom zu versorgen. Der Elektromotor spielte dabei nur eine untergeordnete Rolle. So bauten 1885 Siemens & Halske ihre erste Zentrale in Berlin (Markgrafenstraße) nur im Hinblick auf die Versorgung eines Stadtteils mit Licht. Der Bauherr war die 1883 gegründete Deutsche Edison-Gesellschaft. Wie bei allen Zentralen der ersten Zeit wurde als Stromart der Gleichstrom gewählt, weil man mit ihm am meisten vertraut war und weil er sich für jede Verwendung unmittelbar eignete. Die erste Zentrale war mit 18 Dynamos mit Riemenantrieb von je 30—45 kW ausgestattet, auf sie war die Gesamtleistung gleichmäßig verteilt aus dem Wunsche heraus, für die jeweils erforderliche Leistung nur möglichst vollbelastete Maschinen zu bauen und weil größere Maschinen noch nicht durchgebildet waren. Aber schon im nächsten Jahre kam die neue Innenpol-Maschine mit unmittelbarer Kupplung an die Dampfmaschine auf den Markt, welche den Bau größerer Einheiten gestattete und die Verwendung von Akkumulatoren begünstigte. Schon bei den ersten Zentralen wurden Bleikabel für das Netz verwendet. Von der Dreileiterstromführung wurde bereits in den ersten Jahren Gebrauch gemacht. Dem damaligen Stande der Entwicklung entsprechend, wurde der Strom im Schwerpunkte der Verbrauchsstellen erzeugt.

Einen gewaltigen Auftrieb bekam die Elektrizitätswirtschaft durch die Einführung von Drehstrom-, Hochspannung und Dampfturbinen. Der Drehstrom öffnete der Elektrizität den Weg in die Industrie zur Licht- und Krafterzeugung, die Hochspannung bot das Mittel, große Kraftanlagen weit vom Verbraucher entfernt für ganze Gebiete zu schaf-

fen, und die Dampfturbine erlaubte die Entwicklung immer größerer und wirtschaftlicherer Einheiten. Der Grund liegt in dem überlegenen Arbeitsverfahren der Dampfturbine. Die Arbeitsräume beider Dampfkraftmaschinenarten, nämlich die Zylinder der Kolbenmaschine und die Schaufelkanäle der Dampfturbine, müssen das Volumen des entspannten Dampfes fassen. Während aber der Dampf in der Kolbenmaschine bei 120 minutlichen Umdrehungen $\frac{1}{4}$ s braucht, um im Raume eines Zylinders seine Arbeit zu verrichten (bei vier hintereinandergeschalteten Zylindern also z. B. 1 s), durchströmt der Dampf die Stufen eines Turbinenläufers von z. B. 5 m Dampfweg mit einer axialen Geschwindigkeit in der Größenordnung von 150 m/s im 30. Teil einer Sekunde. Da man ohne Kurbelgetriebe viele Stufen verwenden kann, verarbeitet außerdem die Turbine den Dampf mit gutem Wirkungsgrad bis auf hohe Luftleere.

Eine Kolbenmaschine mit der Grenzleistung von etwa 12000 kW braucht annähernd die gleiche Grundfläche wie eine 80000-kW-Kondensationsturbine. An Stelle von 3 Turbinen, die 240000 kW leisten und hintereinander aufgestellt etwa die Breite des zugehörigen Kesselhauses einnehmen, wären 20 Maschinen aufzustellen, und der Maschinensaal würde fast 7mal größer. Es ist kaum anzunehmen, daß man einen solchen Maschinenpark zu Großkraftwerken zusammenfassen würde; damit entfielen aber auch der Vorteil der den Strompreis verbilligenden Zentralisierung. Ohne Dampfturbine hätte sich die Elektrizitätswirtschaft kaum zum heutigen Umfang, und die gesamte Industrie kaum so weitgehend zum mechanisierten Betrieb entwickelt.

Nicht die Menge, die sich an Produktionsmitteln herstellen läßt, sondern der Bedarf begrenzt die wirtschaftliche Entwicklung! Die ersten Großverbraucher elektrischer Energie waren die Städte. Es waren drei Momente, welche zum Emporschnellen des Strombedarfes innerhalb weniger Jahre geführt haben:

das elektrische Licht,
die Straßenbahnen und
der Elektromotor.

Das elektrische Licht, welches anfangs als Luxus betrachtet wurde, wuchs zur Nutzbeleuchtung aus, unterstützt von der zunehmenden Konzentration der Großstädte mit ihrem stetig steigenden Lichtbedarf. Die Straßenbahnen, welche damals zur Einführung gelangten, wurden zeitweilig zum größten Abnehmer der Zentralen. Der Elektromotor eroberte sich das Gebiet des Groß- und Kleingewerbes. Der Triumphzug der Elektrizität, der in den Großstädten begonnen hatte, griff bald auf die Steinkohlengebiete im Westen und im Osten Deutschlands über. Dort bildeten sich unmittelbar neben den Steinkohlengruben und Hochöfen ausgedehnte Industrien, welche Kohle und Eisen zum Werkstoff verarbeiteten und weiter verfeinerten. Hinzu kam der natürliche Drang zahlreicher wärme- und krafthungriger Industrien, sich möglichst in der Nähe großer Kohlenlager anzusiedeln. So wuchsen große Städte und Tausende von Werksanlagen am Rhein und an der Ruhr, in Oberschlesien und in Mitteldeutschland zu großen Städten zusammen. Es wurden gewaltige Hochburgen der Industrie geschaffen, die ihrerseits wieder ein ungeheures Menschenmeer heranzogen, auf einen engen Raum zusammendrängten und auf diese Weise ständig neuen Bedarf für die elektrische Energie schufen.

Die Elektrizitätswirtschaft verdankt ihren zunehmenden Umfang vor allem den Fortschritten im Großkraftwerksbau, welche es ermöglichten, den Strompreis abzusenken, so daß sich elektrische Energie für Kraft und Licht und für chemische Zwecke auf immer weiteren Gebieten wirtschaftlich anwenden ließ. Größere Kessel und Maschineneinheiten, besondere Maßnahmen zum Decken der Leistungsspitzen und die Kupplung von Kraft- und Wärmewirtschaft verbilligten weiter den Strompreis der Kraftwerke. Der Entwicklung eines billigen Strompreises besonders für Motoren steht heute noch hindernd im Wege, daß die Abnahme des Stromes tagsüber nicht gleichmäßig erfolgt, sondern daß sich charakteristische Leistungsspitzen herausbilden, welche bei der ständig zunehmenden Lichtreklame sich immer schärfer und schärfer ausprägen und zu besonderen Maßnahmen Veranlassung gaben, die Lichtspitzen in billiger Weise decken zu können. In den Großstädten bildeten sich im Laufe der Zeit Grundlast- und

Spitzenlastwerke heraus. Die Grundlastwerke werden mit möglichst wirtschaftlich arbeitenden Maschinenanlagen versehen, während bei den Spitzenlastwerken auf Kosten billigerer Anschaffung auf ein wirtschaftliches Arbeiten erst in zweiter Linie Rücksicht genommen wird. Der Gedanke, die Spitzenbelastung durch besondere Betriebsmittel zu decken, führte zur Aufstellung von Speichern nach verschiedenen Verfahren (Dampf- und Heißwasserspeicher und zur Einführung der Speicherturbine).

Einheiten großer Leistung, in zentralen Dampfkraftanlagen mit weitem Versorgungsgebiet zusammengefaßt (Großkraftwerke) kennzeichnen aber nur eine Richtung im Fortschritt der Elektrizitätswirtschaft. Alle Mittel, dem ungünstigen Ausnutzungsfaktor der Werke zu begegnen, können die Stromkosten nur auf den Betrag senken, der sich in voll ausgenutzten Anlagen erreichen läßt. Noch so verbesserte Arbeitsverfahren können den Vollast-Wärmeverbrauch für die Kilowattstunde, der gegenwärtig im besten Fall etwa 3400 kcal ist, nicht auf den Wert von etwa 1300 kcal senken, der entsteht, wenn die Abwärme der Maschinen in Fabrikbetrieben zu Heizzwecken dient. Diese Anlagen kann man auch bei kleinen Leistungen billig bauen, denn Kessel braucht der Betrieb ohnehin, es ist nur mit den Zusatzkosten für höheren Druck zu rechnen. Die Wärmeverbraucher ersetzen die Kondensationsanlagen, und die verarbeiteten Dampfmengen brauchen keinen Niederdruckteil, der bei den großen Dampfvolumen im niederen Druckgebiet ein teurer Bestandteil der Maschinen ist. In Dampfanlagen dieser Art läßt sich der Strom oft billiger herstellen als durch Wasserkraft; bei einigermaßen günstigen Verhältnissen billiger als in Groß-Elektrizitätswerken. Während man in anderen Ländern, vor allem in Amerika, bis vor kurzem ausschließlich danach strebte, in möglichst großen zentralisierten Kraftwerken mit immer besseren Betriebsmitteln die Stromkosten zu senken, wurde in Deutschland schon seit etwa 20 Jahren auch die zweite Richtung eingeschlagen, nämlich dezentralisiert an den Stellen des Wärmeverbrauchs Nutzdampf liefernde Kraftanlagen zu schaffen. Heute ist man sich darüber einig, daß oft eigene Kraftzentralen der Industrie auch bei kleineren Leistungen berech-

tigt sind, wenn größere Dampfmengen an den Fabrikbetrieb zu liefern sind oder wenn die Abwärme von Verbrennungskraftmaschinen verwertet werden kann.

Zum Schluß seien noch einige Zahlen gebracht, welche die Gesamtleistung der deutschen öffentlichen Elektrizitätswerke im letzten Vierteljahrhundert kennzeichnen. Die installierte Leistung ist von kaum $\frac{1}{2}$ Millionen im Jahre 1904 auf über 11 Millionen kW im Jahre 1928 gestiegen. Zusammen mit den Kraftwerken der Industrie verfügt Deutschland heute über etwa 16 Millionen kW.



Abb. 1.

Steigerung der Gesamtleistung aller deutschen öffentlichen Elektrizitätswerke von 1904—1927.

Abb. 1 zeigt die Gesamtleistung aller deutschen öffentlichen Elektrizitätswerke vom Jahre 1904 bis zum Jahre 1927 und veranschaulicht den gewaltigen Aufschwung, den die Elektrizitätswirtschaft seit Beginn des Jahrhunderts genommen hat.

Die Stromerzeugung betrug 1927 im Deutschen Reich¹⁾ 25,1 Milliarden kWh gegen 21,2 Milliarden kWh im Jahre 1926 und 20,3 Milliarden kWh im Jahre 1925; sie hat sich also ständig stark vermehrt.

Da im Jahre 1927 die installierte Leistung 10 Millionen kW betrug, so haben alle Elektrizitätswerke mit einem durchschnittlichen Belastungsfaktor von 25% gearbeitet.

¹⁾ Wirtschaft und Statistik 1929. S. 74.

Die Erzeugung unter Verwendung fester Brennstoffe überwog 1927 sehr stark. Sie betrug 72% der Gesamterzeugung, wovon 36% auf Steinkohle, 34,2% auf Braunkohle, die restlichen Prozente auf andere feste Brennstoffe entfielen. Die Steigerung der installierten Maschinenleistung im Jahre 1927 um 600000 kW gegenüber 1926 entfiel hauptsächlich auf die öffentlichen Werke. Der Grad der Entwicklung der Energieerzeugung ist eine Frage des Energiepreises, dieser wiederum, wenn von der Heranziehung der Energie erzeugenden Werke zur Tragung kommunaler und staatlicher Auflagen und Steuern abgesehen wird, eine Frage der Erzeugungskosten. Die Erzeugungskosten ihrerseits sind wieder von mehreren Faktoren abhängig: z. B. von der Benutzungsdauer, den Löhnen, dem Kapitaleinsatz und schließlich den Kosten für Kohlen und Hilfsbetriebsstoffe bei den wärmetechnischen Kraftwerken und den letztgenannten allein bei Wasserkraftwerken.

Aus den vorstehenden Zahlen geht jedenfalls deutlich die starke Triebkraft der Elektrizität in der Wirtschaft des industriellen Zeitalters hervor.¹⁾

¹⁾ Eingehenderes Zahlenmaterial zu den hier kurz angeschnittenen Fragen bringt der Schlußabschnitt des Werkes »Die Energiewirtschaft im Lichte der Statistik«.

I. Der wärmetechnische Aufbau neuzeitiger Dampfkraftwerke.

1. Die 6 Kreisläufe eines Dampfkraftwerkes.

Die Grundbestandteile eines Dampfkraftwerkes — ganz gleich, ob es sich um ein Großkraft- oder um ein Industriekraftwerk handelt — sind die Kesseleinheit (Kesselhaus) und die Turboeinheit (Maschinenhaus). Sämtliche zum Wesen eines Dampfkraftwerkes gehörigen Vorgänge spielen sich im Kesselhaus und im Maschinenhaus ab. Die Erzeugung elektrischer Energie (Großkraftwerke) bzw. die Erzeugung von elektrischer Energie unter gleichzeitiger Bereitstellung von Wärme zu Heizzwecken (Industriekraftwerke) beruht auf den folgenden 4 Umsetzungen:

1. latente Energie der Kohle in Wärme,
2. Wärme in Dampfspannung,
3. Dampfspannung in mechanische Energie bzw. in mechanische Energie und Heizwärme,
4. mechanische Energie in Elektrizität.

Abb. 2 zeigt den wärmetechnischen Aufbau eines Dampfkraftwerkes, welcher gekennzeichnet wird durch folgende 6 Kreisläufe:

- I. der Kohle-Asche-Kreislauf,
- II. der Kreislauf der Verbrennungsluft,
- III. der Speisewasser-Dampfkreislauf,
- IV. der Kühlwasser-Kreislauf,
- V. der elektrische Kreislauf,
- VI. der Kreislauf der Generator- und Transformator-kühlluft.

Von diesen 6 Kreisläufen überschneiden sich die Kreisläufe 1, 2 und 3 im Kesselhaus, welches nach den einleitenden Darlegungen als die Kesseleinheit aufzufassen ist. Sie bewirken dabei die beiden ersten Umsetzungsvorgänge, nämlich:

Abb. 2.
Schematische Darstellung
des wärmetechnischen Aufbaues von
Dampfkraftwerken.

Erklärung:

Kreislauf I.

Kohle-Asche-Kreislauf.

1 = Förderanlage

2 = Feuerung

3 = Entschlammungsanlage.

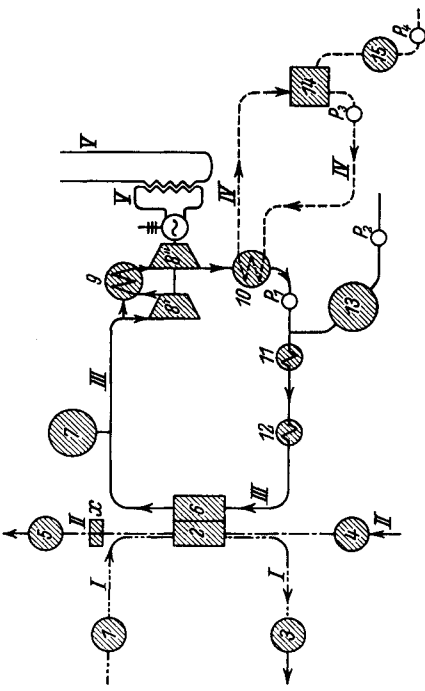
Kreislauf II.

Kreislauf der Verbrennungsluft.

4 = Luftvorwärmer

2 = Feuerung

3 = Schornstein oder Saugzug
x = gegebenenfalls Entstaubungs-
anlage.



Kreislauf III.

Speisewasser-Dampf-Kreislauf.

6 = Dampfkessel

7 = Speicher

8 = Kraftmaschine

9 = Zwischenüberhitzer (gegebenenfalls)

10 = Kondensator

P₁ = Pumpe

11 = | Speisewasser-
Stufenwärmer mit und
ohne Economiser bzw.
12 = | Economiser allein

6 = Dampfkessel.

P₂ = Pumpe

Kreislauf IV.

Kühlwasser-Kreislauf.

10 = Kondensator

14 = Kaminkühler

P₃ = Pumpe

10 = Kondensator

Kreislauf V.

Elektrischer Kreislauf.

P₄ = Pumpe

15 = Kühlwasser-
Aufbereitungs-
anlage

P₄ = Pumpe.

Kreislauf VI.

Kreislauf der Generator-
kühlung.

1. Die Umsetzung der latenten Energie der Kohle in Wärme in der Feuerung und
2. die Umsetzung der erzeugten Wärme in Dampfspannung im Dampfkessel.

Die Kreisläufe 3 bis 6 überschneiden sich im Maschinenhaus, welches die Turboeinheit darstellt, und bewirken dabei

3. die Umsetzung der Dampfspannung in mechanische Energie in der Turbine und
4. die Umsetzung der mechanischen Energie in Elektrizität im Generator.

Zu dem Kühlwasserkreislauf (IV) ist zu sagen, daß dieser nur dort einzurichten ist, wo der der Kraftmaschine zugeleitete Frischdampf bis auf höchstes Vakuum entspannt wird. Hierzu ist eine hochwertige Kondensationsanlage und damit die Ausbildung des Kühlwasserkreislaufes notwendig. Bei Industriekraftwerken kann dieser Kreislauf vollständig entfallen, wenn der Dampf bis zu einer gewissen niedrigen Spannung in einer Gegendruckmaschine entspannt und als Abdampf nachgeschalteten Abdampfverwertungsanlagen zu Heiz- und Kochzwecken zugeführt werden kann. Zwischen diesen beiden extremsten Ausbildungen sind noch Zwischenlösungen bekannter Art möglich, z. B. daß der in der Kesselanlage erzeugte Dampf parallel geschalteten Maschinenaggregaten zugeführt wird, von denen das eine auf Kondensation und das andere auf eine nachgeschaltete Abwärmeverwertungsanlage arbeitet. Es wird in diesem Falle eine Kondensations- bzw. Anzapf-Kondensationsmaschine und eine Gegendruckmaschine benötigt. Für das erste Maschinenaggregat ist der Kühlwasserkreislauf vorzusehen, während er für das zweite Aggregat durch den Wärmekreislauf in der nachgeschalteten Abwärmeverwertungsanlage ersetzt wird.

Die Charakteristik der Kreisläufe und die einzelnen Elemente, aus denen sie sich zusammensetzen, sollen im folgenden besprochen werden.

I. Der Kohle-Asche-Kreislauf.

Der aus einem Tagebau oder mit der Bahn herangeförderte Brennstoff, Braunkohle oder Steinkohle — neuerdings auch

Ferngas und Öle — werden entweder besonders aufbereitet (Kohlenstaubfeuerung) oder sie werden auf Rosten unter den Kesseln verfeuert. Der Brennstoff gleitet auf den Feuerungen, verbrennt und fällt als feinkörnige Asche in den Aschentrichter. Aus diesem Aschentrichter wird sie herausbefördert, und zwar auf mechanische Art und Weise mit Hilfe eines Kettenrostes (Bauart Kerner), durch das Schwemmverfahren (Bauart Rothstein) oder mit Hilfe von Druckwasser (Bauart der Firma Seiffert & Co.). Die Asche wird entweder gleich auf die Halde befördert oder auf eine Zwischenstation, von welcher aus sie mit besonders gebauten Wagen fortgebracht wird. Dieser erste Kreislauf ist also gekennzeichnet durch den Herantransport des Brennstoffes zum Kessel, durch die Verfeuerung des Brennstoffes unter dem Kessel und durch den Abtransport der Verbrennungsprodukte mit Hilfe einer Entaschungsanlage.

1. Förderanlagen für den Brennstoff zum Kessel.¹⁾

Bei dem hohen Kostenanteil der Brennstoff- und Lohnkosten an den Betriebskosten der Dampfkraftwerke ist es verständlich, daß das Bestreben dahin geht, die Beförderungskosten für die Einbringung der Kohle von Schiff und Bahn auf das Lager sowie von dort (oder unmittelbar) an die Verbrauchsstätten durch Ausschaltung der Handarbeit so gering als möglich zu halten. Der Kraftwerksbetrieb bringt mit sich, daß die Kohle vorübergehend gelagert werden muß. Jede Lagerung ist an sich schon mit Unkosten für Miete, Verzinsung und Unterhaltung des Lagerraumes wie für den Kapitaldienst und für die Pflege des gelagerten Gutes verbunden, wozu bei Kohle noch die Wertminderung durch das Lagern tritt. Hinzu kommt die Wiederaufnahme der Kohle vom Lager zur Verwendungsstelle. Die möglichste Einsparung der Transportkosten führte zu technisch hoch vollkommenen Anlagen, mit denen heute neuzeitliche Dampfkraftwerke für die Förderung der Kohle vom Ferntransportmittel auf Lager bzw. zum Kesselhaus ausgerüstet werden.

¹⁾ S. a. Przygosle, Kohlenumschlag in Gas- und Elektrizitätswerken. Wärme 1926, Nr. 18.

Liegt das Kraftwerk in der Nähe einer Kohlengrube, so stellt die Drahtseilbahn mit anschließender Schienenhängebahn ein vorzügliches Mittel sowohl zum Abtransport der Kohle nach dem Kraftwerk, als auch zur Beschickung des Lagerplatzes dar, wobei jegliche Umladung vermieden werden kann. Bei geeigneten Platzverhältnissen kann dieselbe Bahn auch noch zum Abtransport der Asche verwendet werden. Die Drahtseilbahn zeichnet sich durch hohe Selbsttätigkeit, geringen Kraftbedarf und Anspruchslosigkeit in bezug auf Wartung und Unterhaltung aus. Zur Beschickung des Lagerplatzes wird die letzte Strecke der Drahtseilbahn als Schienenhängebahn ausgebildet, wobei die Wagen über eine fahrbare Verladebrücke geführt werden, die den ganzen Lagerplatz beherrscht, so daß der Wageninhalt an jeder beliebigen Stelle des Platzes entleert werden kann. Zur Wiederaufnahme der Kohle läuft auf dem Obergurt des Brückenträgers ein Drehkran mit Greifer, der die Kohle in einen Fülltrichter schüttet, von dem aus sie wieder in die Hängebahnwagen abgezogen und zu den Kesselhausbunkern weiter befördert wird.

Erfolgt die Anfuhr der Kohle durch Schiffe oder durch die Bahn, so kommen für die Stapelung fahrbare Verladebrücken in Frage, die mit Spannweiten bis zu etwa 100 m zwischen den Stützen ausgeführt werden, und je nach Bedarf mit ein- oder beiderseitigem Ausleger ausgerüstet sind. Die Wiederaufnahme der Kohle erfolgt hierbei durch einen Drehkran mit Greifer, dessen Fahrbahn auf dem Obergurt der Brücke angeordnet ist, oder durch eine Greiferkatze mit angebautem Führerstand, die mit Ausleger (Auslegerlaufkatze) oder auch ohne Ausleger ausgestattet und auch drehbar (Drehlaufkatze) sein kann und zwischen den Brückenträgern fährt. Derartige Brücken eignen sich sowohl zur Entladung der Kohle aus Schiffen oder Eisenbahnwagen wie zur Wiederaufnahme vom Lagerplatz, um sie anderen Fördermitteln zur Weiterbeförderung nach dem Kesselhaus zuzuführen. Die Leistung dieser Brücken beträgt 50 bis 60 t/h. Die Krananlagen werden elektrisch betrieben, um jederzeit betriebsfertig zu sein. Die Auslegerlaufkatzen haben den Vorteil, daß die Länge der Brückenausleger mit Rücksicht auf die Takelage des Schiffes nur kurz bemessen zu sein braucht und eine Einrichtung zum Hochklappen des Auslegers über-

flüssig wird. Bei den mit Drehlaufkatzen oder Drehkranen ausgerüsteten Verladebrücken ist es durch die Drehbarkeit des Auslegers möglich, eine Fläche zu bedienen, deren Breite der doppelten Länge des Auslegers entspricht, so daß ein Verfahren der Brücke nur selten notwendig ist, also mehr Zeit für den eigentlichen Verladevorgang erübrigt wird. Für die genannten Spannweiten bis zu etwa 100 m eignen sich auch die Brückenkabelkrane, die vor den Verladebrücken den Vorteil leichter Ausführung und deshalb billigeren Preises haben. Auch sie können mit festen oder hochklappbaren Auslegern ausgerüstet werden.

Eine neuzeitliche Einrichtung zum Umschlag von Kohle aus Eisenbahnwagen sind die Kipperkatzen-Verladebrücken. Auf dem Untergurt der Verladebrücke fährt ein Windwerk »die Kipperkatze«, das zum Anheben, Fördern und Kippen einer flachen, an Seilzügen hängenden Bühne dient. Im Betriebe wird die Bühne auf das Gleis gesenkt, der beladene Eisenbahnwagen über Auflaufzungen auf die Bühne gezogen, mit dieser gehoben, über den Lagerplatz gefahren, gekippt, entleert und auf das Leergleis zurückgesetzt. Die Kipperkatzenanlagen müssen zur Wiederaufnahme der gestapelten Kohle mit einer Greifervorrichtung ausgerüstet werden. Bei größeren Leistungen sieht man einen (oder zwei) auf dem Obergurt der Brücke fahrenden Drehkran vor. Das Brückenfahrwerk wird von der Kipperkatze aus gesteuert. Die einzelnen Hebezeuge sind elektrisch blockiert, um Kurzschlüsse und Betriebsstörungen, die durch das gleichzeitige Steuern verschiedener Hebezeuge auftreten können, zu verhüten. Die zur Entleerung kommenden Eisenbahnwagen lassen sich verschiedenen Gleisen entnehmen, so daß eine Mischung mehrerer Kohlsorten mühelos möglich ist. Die Leistungen dieser Anlagen mit Drehkipperkatzen können je nach den örtlichen Verhältnissen bis zu 20 Wagen in der Stunde betragen.

Für Werke mit größerem Kohlenverbrauch, die auf Bahnanfuhr angewiesen sind, hat sich für die Entladung der Waggons der dreh- und fahrbare Wagenkipper aufs beste bewährt. Dieser Kipper wird auf das normale Eisenbahngleis aufgesetzt und entweder durch eigene Kraft oder mit einer Lokomotive verschoben. Die Kippbühne liegt in der Grund-

stellung wagerecht, ein besonderer Aufzugswagen zum Heraufziehen der Eisenbahnwagen auf den Kipper ist nicht erforderlich. Bei der Bewegung der Kippbühne entfernt sich der Schwerpunkt des Kippers mit aufstehendem beladenen Wagen nur wenig von der Mittelachse, so daß die Raddrücke klein und besondere Stützvorrichtungen zur Sicherung der Standfestigkeit nicht erforderlich sind. Beim Kippen werden die Wagen durch zwei an der Kippbühne gelagerten Haken festgehalten. Die drehbare Plattform ermöglicht die Entladung der Wagen ohne Rücksicht auf die Stellung des Bremserhauses. Besondere Drehscheiben im Gleise zum Umstellen der Wagen oder ein Umrangieren wird nicht erforderlich. Die entleerten Wagen werden auf der in der Verlängerung des Anfuhrgleises rückliegenden Gleisseite abgefahren, so daß ein ununterbrochenes Zurollen der beladenen Wagen erfolgen kann.

Bei Stundenleistungen von 100 t und mehr wird das Anfuhr- und zugleich Kippergleis an der Langseite des Lagers vorbeigeführt und die Kohle in eine zwischen Gleis und Lager eingebaute Grube entleert, die sich auf die ganze Lagerlänge erstreckt. Aus dieser Grube kann die Kohle mittels Verladebrücke mit Greiferdrehkran oder Führerstandsgreiferkatze entnommen werden, um sie auf ein geeignetes Fördermittel zum Weitertransport abzugeben.

Ein neuzeitliches, sehr einfaches und preiswertes Fördergerät, das in diesem Falle die teure Verladebrücke zu ersetzen vermag, ist der Kabelkranschaufler. Zwischen zwei Festpunkten an den Enden des Arbeitsbereiches wird ein Fördergefäß, »die Schaufel«, durch ein Seil hin- und hergezogen. Es schleppt das Fördergut auf dem Boden oder auf der durch die bereits geförderte Kohle geschaffenen Unterlage mit sich. Die Schaufel ist ein unten offener, zweckmäßig gestalteter Kübel, der zum leichteren Eindringen in das Fördergut mit Schneidezähnen oder Schneideblechen versehen und durch einen Bügel versteift wird. Die Schaufel kann leicht entsprechend der gewünschten Förderrichtung in den Seilzug eingehängt werden. Je nach Gestalt des Lagerplatzes werden an den beiden Seiten desselben ein oder mehrere Ankerarme vorgesehen, zwischen denen die Schaufel hin- und hergezogen wird. Die Kabelkranschaufler sind für Leistungen von wenigen t/h bis zu mehre-

ren 100 t/h wirtschaftlich. Das Wiederaufnehmen der Kohle vom Lagerplatz geschieht dadurch, daß der Kabelkranschaufler die Kohle auf eine Schrägrampe hinaufzieht, von der aus sie über Zwischenbunker einem Bandförderer oder Becherwerk zum Weitertransport in das Kesselhaus zugeführt wird. Der Kabelkranschaufler stellt heute das einfachste und doch leistungsfähigste Fördermittel dar, das sowohl zum Stapeln als auch zur Wiederaufnahme des Lagergutes dient.

Der Vorteil der Kipperanlagen gegenüber den Verladebrücken mit Greiferbetrieb liegt in der Möglichkeit, bedeutend größere Leistungen zu erzielen. Die Greifer zur Waggonentladung können mit Rücksicht auf die Wagenbreite höchstens ein Fassungsvermögen von $2-2\frac{1}{4} \text{ m}^3$ haben und deshalb nur Stundenleistungen von höchstens 50 t Kohle erreichen, so daß im normalen Dauerbetrieb nur mit Stundenleistungen bis zu 40 t zu rechnen ist.

Eine Sonderkonstruktion der Kipper für Eisenbahnwagen stellt der kleine fahrbare Aumundsche Kipper von nur etwa 2 t Eigengewicht dar. Bei diesem Kipper fährt der Wagen auf eine als aufgeklappte Schere ausgebildete Bühne auf. Beide Scherenarme sind über das Drehgelenk durch Hubzylinder und Kolbenstange, die je an einem Arm drehbar befestigt sind, verbunden. Je nach der Stellung des Eisenbahnwagens auf der Bühne und der dadurch bedingten Belastung des einen oder des anderen Scherenarmes wird bei Druckgabe im Hubzylinder der eine oder andere Arm angehoben und der Wagen gekippt, wobei die Kohle entweder in der ganzen Breite des Wagens über das Gleis geschüttet oder durch ausschwingbare Führungsbleche zwischen die Schienen oder nach den Seiten des Gleises geleitet werden kann. Die Leistung des Kippers kann bis zu 20 Eisenbahnwagen in der Stunde betragen. Diese Kipper benötigen keine Drehscheiben zum Richten der Eisenbahnwagen und lassen sich in Verbindung mit Schüttgruben verwenden. Sie werden zur Erzeugung der Druckflüssigkeit mit einem Benzinmotor von 45 PS Leistung ausgestattet, von welchem auch das Fahrwerk und die Winde zum Hinaufziehen der Wagen auf die Bühne betätigt wird. Die Kipper können gleichzeitig als Verschiebelokomotive benutzt werden.

Eine andere Art der Waggonentladung stellt der Becherketten-Entlader dar. Ein in einer starren Leiter geführtes Becherwerk ist an seiner oberen Umföhrungsachse schwenkbar aufgehängt, so daß sein unteres Ende mit einem Windwerk gehoben und gesenkt werden kann. Der Antrieb des Becherwerkes erfolgt von der oberen Umföhrungsachse aus. Die Kohle wird den Bechern durch zwei Spiralen mit Rechts- bzw. Linksgewinde zugeföhrt, die auf den beiden Seiten der unteren Umföhrungsachse sitzen. Von einem verschiebbaren Gerüst

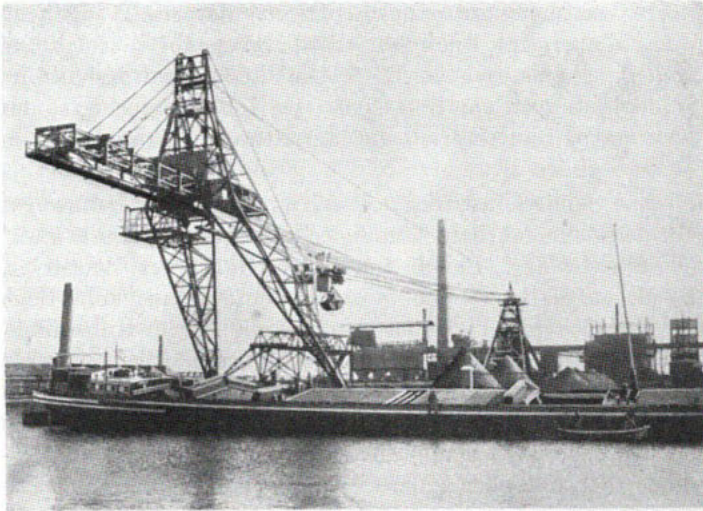


Abb. 3. Kabelkran für Schiffsentladung.

aus wird das Becherwerk mit seinen Spiralen auf den vollen Wagen aufgelegt. Die durch die Becher hochgeföhrte Kohle wird dann durch eine beliebige Fördervorrichtung, wie Band, Hängebahn u. a. m. weitergeleitet.

Zur Bedienung sehr großer Lagerplätze mit einer Breite über 100 m bis zu etwa 500 m kommen neben dem Kabelkranschaufler einzig und allein die Kabelkrane in Frage, zumal wenn die Kohle mit Schiffen angefahren wird, so daß der Kabelkranschaufler zur unmittelbaren Beschickung des Lagerplatzes ausscheidet. Zwischen zwei Endtürmen sind ein oder zwei

Tragseile frei gespannt, auf denen eine Laufkatze mit heb- und senkbaren Lasthaken fährt. Die Fahrbewegung der Laufkatze sowie das Heben und Senken der Last werden von einer Winde, die fest auf einem der Türme angeordnet ist, gesteuert.

Man unterscheidet ortsfeste, schwenkbare und fahrbare Kabelkrane. Das Schwenken bzw. Verfahren der Türme erfolgt durch Hand- oder durch elektrischen Antrieb, wobei die Fahrbewegungen ebenfalls vom Führerhaus aus eingeschaltet werden. Eine Visiervorrichtung ermöglicht dem Kranführer

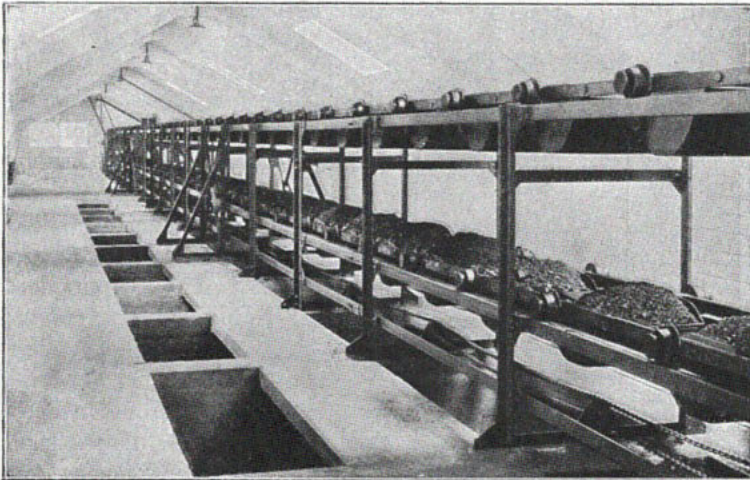


Abb. 4. Horizontales Pendelbecherwerk, Bauart „Bleichert“.

ein gleichmäßiges Verfahren der beiden Türme. Geringe Abweichungen von der Richtlinie sind jedoch bedeutungslos, da die Türme durch elastische Organe (Seile) miteinander verbunden sind. Kabelkrane für die Schiffsentladung erhalten wasserseitig einen Ausleger, auf dem der Greifer bis über den Schiffsrumpf fährt und aus diesem die Kohle unmittelbar aufnimmt (s. Abb. 3).

Zum Weitertransport der Kohle vom Lagerplatz bzw. Lagerplatzbunker ins Kesselhaus hat sich besonders das Pendelbecherwerk (auch Konveyor genannt, Abb. 4 und 5) wegen seiner geringen Unterhaltungskosten und gleichzeitigen Be-

nutzung zur senkrechten und wagerechten Förderung eingeführt. Die auf- und absteigenden Becherstränge können in ein und derselben Ebene liegen (Plankonveyor), aber auch Kurven durchlaufen, deren Achsen in verschiedenen Kurven liegen (Verdrehungs- oder Spiralkonveyor, s. Abb. 6). Das Beladen der Becher erfolgt aus Füllmaschinen (z. B. Abb. 7). Durch Hintereinanderschaltung einer Anzahl von Füllmaschinen

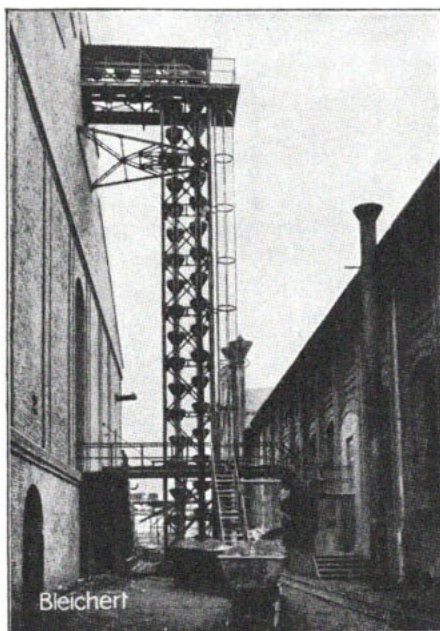


Abb. 5. Vertikales Pendelbecherwerk.

können die Becher mit verschiedenen Kohlenarten beschickt werden, so daß auch hier eine Mischung der Kohle leicht möglich ist. Becherwerke werden mit Leistungen von 10 bis 300 t/h und mit Hubhöhen bis zu 25 m und darüber ausgeführt.

Zum Transport der Kohle vom Lagerplatz zum Kesselhaus eignen sich auch (besonders bei größeren Leistungen) die Elektrohängebahnen. Bei diesen Anlagen ist man in der Greifergöße nicht mehr von den engen Raumver-

hältnissen eines Eisenbahnwagens abhängig. Die Leistung der Anlage kann bei hinreichend großer Geschwindigkeit bis auf 100—200 t/h gesteigert werden.

Die Elektrohängebahnen sind als Fördermittel in den letzten Jahren sehr vervollkommnet worden, so daß sie heute, mit einigen Beschränkungen, als durchaus betriebssicher bezeichnet werden können. Sie sind sowohl für Horizontal- wie Vertikaltransport benutzbar. Die nur für Horizontaltransport angelegten Elektrohängebahnen bestehen aus einem oder

mehreren auf einer festen Schiene laufenden, durch einen kleinen Fahrmotor angetriebenen Wagen, an dem seitlich an der Unterstützungsschiene ein Gehänge angeordnet ist, das den Förderkübel trägt. Bei mehreren Wagen wird ein

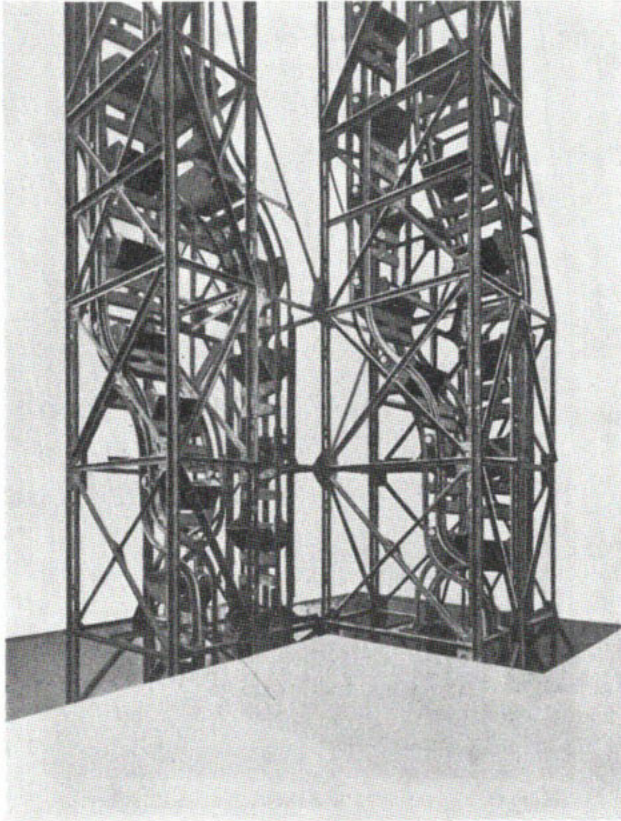


Abb. 6. Spiralkonveyor, Bauart •Bleichert•.

Ringbetrieb eingerichtet, bei dem der ganze Ring in eine von dem gewünschten Wagenabstand abhängige Anzahl Blockstrecken unterteilt ist. Die Blockschalter der Strecken zur An- und Abstellung des Stromes werden durch den vorbeifahrenden Wagen betätigt.

Um die Wagen auch für die Vertikalbewegung (Heben und Senken) zu benutzen, hat man sie mit einem Hubwindwerk versehen und auch für Greiferbetrieb eingerichtet. Diese selbsttätigen Windwerkkatzen führten jedoch infolge des zunehmenden Gewichtes von Greifer und Nutzlast

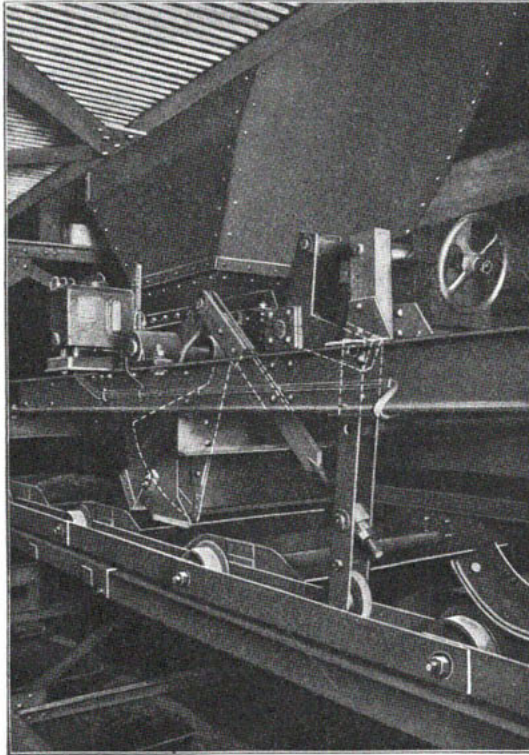


Abb. 7. Konveyor-Füllmaschine, Bauart •Bleichert•.

zu Schwierigkeiten in mechanischer wie elektrischer Beziehung. Durch die Hängebahnkatzen mit Führerbegleitung hat sich heute ein Wechsel zu ihren Ungunsten vollzogen. Während bei den selbsttätigen Hängebahnkatzen mit Selbstgreifern die Gesamtlast höchstens 3—3,5 t betragen darf und die Höchstfahrgeschwindigkeit bei etwa 1 m/s liegt, kann bei den von einem Führer begleiteten und gesteuerten Hängebahnkatzen

die Gesamtlast bis zu 6 t und die Fahrgeschwindigkeit auf den geraden Strecken bis zu 3 m/s gehen. So ist es unter bestimmten Betriebsverhältnissen möglich, daß bei mittelgroßen Strecken bis zu 100 oder 150 m die doppelte bis dreifache Leistung mit Führerstandskatze gegenüber der selbsttätig steuernden Greiferkatze erreicht wird. Auch sind die Herstellungskosten und infolge der geringeren Wagenzahl die Instandhaltungskosten geringer. Die Verwendung von Zweiseilgreifern, die mit entsprechender Vorrichtung im Windwerk einen leichten und sicheren Greiferbetrieb zulassen, ist ebenfalls möglich.

2. Feuerungsanlagen.

a) Brennstoffe.

Als Brennstoff für Dampfkesselanlagen dienen in erster Linie die festen Brennstoffe: Steinkohle, Rohbraunkohle und Braunkohlenbriketts. Daneben kommen jedoch je nach den örtlichen Verhältnissen auch Gase zur Verheizung, wie Hochofen-, Koksofen- und Generatorgas, seltener und nur unter besonderen Voraussetzungen kommen auch flüssige Brennstoffe zur Verwendung.

Bestimmend für die Wahl des Brennstoffes ist der Wärmepreis frei Kesselhaus, z. B. für 1 Million kcal/kg. Der Heizwert der verschiedenen Brennstoffe ist der Zahlentafel 1 zu entnehmen:

Zahlentafel 1.

Brennstofftafel.

(1 cbm bezogen auf 0°, 760 mm.)

Brennstoff	unterer Heizwert kcal/kg	theor. Luftbedarf in cbm	praktischer Luftüberschuß in cbm	praktischer Luftbedarf in cbm
Ruhr-Steinkohle	7400	~ 8,15	1,5—2,0	12,2—16,3
Oberschles. Steinkohle	6500	~ 7,20	1,5—2,0	10,8—14,4
Sächs. Steinkohle	6250	~ 7,00	1,5—2,0	10,5—14,0
Saar-Steinkohle	6950	~ 7,60	1,5—2,0	11,4—15,2
Braunkohlenbriketts	4900	5,40	1,3—1,5	7,0— 8,1
Rohbraunkohle der Sächs.-Thür. Rev.	2500	3,10	1,3—1,5	4,0— 4,7
Rohbraunkohle des Magdeburg-Helmstedter Reviers	2900	3,40	1,3—1,5	4,4— 5,1
Rhein. Rohbraunkohle	1980	2,50	1,3—1,5	3,2— 3,7

b) Feuerungen.

Je nach den zur Verwendung gelangenden Brennstoffen kommen folgende Feuerungen in Betracht:

1. Feuerungen für stückige Brennstoffe.
2. Feuerungen für staubförmige Brennstoffe.
3. Feuerungen für gasförmige Brennstoffe.
4. Feuerungen für flüssige Brennstoffe.

1. Feuerungen für stückige Brennstoffe.

Hier ist zunächst der Planrost zu nennen. Er eignet sich für die Verfeuerung von guten Steinkohlensorten und von Braunkohlenbriketts. Für kleinere Kessel und fast ausnahmslos für alle Flammrohrkessel wird er als einfacher, fester Planrost mit Handbeschickung ausgeführt; jedoch kann die Beschickung auch mechanisch durch Wurfapparate erfolgen, wodurch eine gleichmäßige Aufgabe des Brennstoffes erzielt wird. Bei Flammrohrkesseln wird der Planrost in der Regel als Innenfeuerung ausgeführt; er liegt innerhalb der Flammrohre und ist allseitig von wasserberührter Heizfläche umgeben. Es findet daher eine gute Wärmeübertragung statt.

Bei größeren Kesseln, für welche die Beschickungsleistung zu groß wird, tritt an Stelle des Planrostes der Wanderrost. Hierbei ergibt sich infolge der gleichmäßigen Aufgabe des Brennstoffes sowie infolge Fortfalles des bei Steinkohlenfeuerungen notwendigen, die Verbrennung störenden Abschlackens neben einer Ersparnis an Bedienungskosten noch eine Erhöhung des Wirkungsgrades sowie der spezifischen Rostleistung. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Schütthöhe des Brennstoffes sowie der Vorschub des Rostes und die Zugstärke entsprechend der verwendeten Kohle und der jeweiligen Belastung in ein richtiges Verhältnis zueinander gesetzt werden. Bei kleineren, stückigen Brennstoffen, die der Verbrennungsluft größeren Widerstand bieten, muß die Schütthöhe erniedrigt werden.

Die Zugstärke richtet sich nach der Art des Brennstoffes sowie der Schütthöhe; sie muß dem Brennstoff so viel Luft zuführen, daß eine vollkommene Verbrennung ohne Auftreten von unverbrannten Gasen im Rauchgas stattfindet. Für Steinkohlen ist zur vollkommenen Verbrennung normaler-

weise ein 1,5- bis 2facher (50 bis 100 vH) Luftüberschuß erforderlich, wobei ersterer Wert im allgemeinen für die mechanische Beschickung, letzterer für die Handbeschickung gilt. Infolge der vollkommen gleichmäßigen Stückelung und des bedeutend höheren Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen kann das Braunkohlenbrikett mit einem Luftüberschuß von nur 30—50 vH (1,3—1,5fach) verfeuert werden, ohne daß brennbare Gase im Rauchgas auftreten. Hieraus erklären sich auch die praktisch gleichen Flammen- und Feuerraumtemperaturen bei Verfeuerung der im Heizwert ungleichen Steinkohlen und Braunkohlenbriketts¹⁾.

Als günstigste Rostbelastung rechnet man je qm Rostfläche und Stunde bei natürlichem Zug mit

100 kg Steinkohle, bzw. mit

150 kg bei Braunkohlenbriketts.

Bei künstlichem Zug können diese Leistungen auf neuzeitlichen Wanderrosten auf das 3—4fache gesteigert werden.

Die Größe der Gesamtrostfläche ergibt sich überschlägig aus der stündlich zu verfeuernden Brennstoffmenge dividiert durch die Rostbelastung je qm und Stunde (spezifische Rostleistung). Genauer läßt sie sich nach der Formel²⁾

$$R = \frac{B \cdot L}{4680 \cdot m \cdot v}$$

berechnen. Darin bedeutet:

B = die stündlich zu verbrennende Brennstoffmenge in kg,

L = die zur Verbrennung einschließlich des Luftüberschusses entwickelte Luftmenge in kg,

v = die Geschwindigkeit der durch die Roststäbe durchtretenden Verbrennungsluft (im Mittel $v = 1$ mm),

m = das Verhältnis der freien Rostfläche zur Gesamtrostfläche.

Die freie Rostfläche ist die Summe des Flächeninhaltes aller Rostspalten; ihre Größe ist wiederum von der Art des verwendeten Brennstoffes abhängig und beträgt für:

Steinkohle etwa 0,25—0,35 vH,

Braunkohlenbriketts etwa 0,35—0,45 vH der Gesamtrostfläche.

¹⁾ Siehe auch »Glückauf« 1925, S. 886.

²⁾ »Hüttes«, 25. Aufl., Bd. II, S. 328.

Für eine gute Verbrennung ist außer diesen Verhältnissen noch die Unterteilung der Gesamtrostfläche ausschlaggebend. Zweckmäßig ist es, die Roststäbe möglichst schmal zu wählen, damit eine gute Unterteilung durch die freie Rostfläche eintritt und somit der Brennstoff möglichst gleichmäßig von der Verbrennungsluft durchflutet werden kann. Ferner soll der Roststab möglichst hoch gewählt werden, um eine gute Kühlung des Stabes durch die hindurchstreichende Luft zu erzielen.

Für das nicht schlackende Braunkohlenbrikett ist jede Künstelei in Form und Material des Roststabes als überflüssig und vertuernd abzulehnen. Der einfache, glatte Roststab mit 10—12 mm Stegstärke bei unmittelbar an die Brennbahn ansetzender starker Verjüngung nach unten und rund 100 mm Stabhöhe eignet sich am besten; die Rostspalten sollen 7 bis 9 mm betragen.

Als Beispiel eines Wanderrostes sei die Bauart Petry-Dereux genannt, welche mit einer Regelung des Vorschubs je nach der Beanspruchung des Kessels und mit einer entsprechend der Eigenschaft des Brennstoffes einstellbaren Schütthöhe bei sachgemäßer Wartung gute Ergebnisse hinsichtlich dauernd gleichmäßiger Verbrennung ergibt. Die einzelnen Stäbe in den Ketten sind leicht und rasch auswechselbar.

Der Babcock-Wanderrost besteht aus Vorbau, Wagen, Trichter, Tür, Antrieb, Aschfall und Zündgewölbe; für Unterwindbetrieb aus einer zusätzlichen entsprechenden Einrichtung.

Der Vorbau besteht aus dem Mauerwerk, welches außen aus Normalziegelsteinen, gegen den Feuerraum zu aus Schamottesteinen gebildet wird, die zur Verankerung dienen. Die Vorderfront ist mit Blechplatten verschalt und mit der Trichterseitenwand verbunden, so daß ein fester Zusammenhalt zwischen Vorbau und Rostaußenteilen erzielt wird.

Der Wagen (Abb. 8) setzt sich im Vorderteil bis zum Mauerwerksvorbau aus gußeisernen Seitenschildern, im Hinterteil aus Winkeleisen zusammen, die mit Knotenblechen verschraubt und auf beweglichen Rollen gelagert sind, um der Ausdehnung nach hinten Rechnung zu tragen.

Der Rostbelag besteht aus gußeisernen Gliedern von besonderer Form, die jeweils der Eigenart der Kohle angepaßt werden können. Die den Kohlendurchfall begünstigenden Querspalten sind vermieden.

Die Rostglieder sind auf Querträger aufgeschoben, also leicht auswechselbar. Je zwei Träger bilden einen Tisch, der rechts und links auf der Rostkette befestigt ist. Die Rostkette besteht aus U-Eisen, Verbindungslaschen und gebüchten Bolzen; sie wird von den Daumenrädern der vorderen Rostwelle in Bewegung gesetzt.

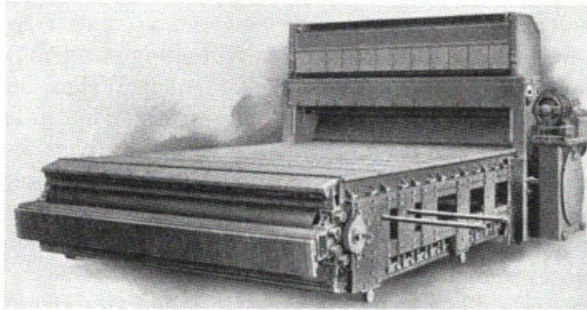


Abb. 8. Wanderrost, Bauart «Babcock».

Seitlich sind an den Kettenbolzen gußeiserne Rollen aufgezogen, welche in Winkeleisenwangen laufen und jeden Tisch tragen. Eine andere Unterstützung als die rechts und links angebrachten Rollen erhalten die Tische nicht, so daß sowohl das obere als auch das untere Rostkettenband in seitlichen Führungen getragen wird und der Verbrennungsluft freier Zutritt gewährt ist.

An der hinteren Welle wird die Rostkette von Trommelrädern aufgenommen, die mit einem durchgehenden Trommelmantel zum Zwecke des Luftabschlusses verbunden sind. Die seitliche Rollenbahn der Tische ist an der vorderen und hinteren Umkehrstelle so ausgebildet, daß die sonst üblichen Überleitungsbrücken fortfallen.

Die als Schieber ausgebildete Kohlentür ist aus mehreren Segmenten zusammengesetzt, die gemeinsam an einem über die Rostbreite reichenden Gußeisenwinkel befestigt sind. Die

Tür ist durch einen Hebemechanismus beweglich und in der Höhe einstellbar; ihre Stellung kann an einem außenliegenden Zeigerblatt abgelesen werden. Soll während des Betriebes ein Segment oder ein Türstein ausgewechselt werden, so wird die Tür nach Abnahme der Dichtungsbleche bis oberhalb des Vorbaues hochgedreht und ist dann von rückwärts zugänglich.

Der Antrieb erfolgt durch einen mit dem Getriebe eines jeden Rostes direkt gekuppelten Motor. Der Einzelantrieb ist staubdicht geschlossen und steht mit dem Rost nur durch den Lagerflansch der vorderen Rostwelle in Verbindung. Das ganze Antriebsgehäuse ist mit Rücksicht auf die Notwendigkeit der vorderen Rostspannung fahrbar eingerichtet und trägt den Motor, welcher durch eine elastische Kupplung mit dem Schaltgetriebe verbunden ist. Die schnellaufenden Wellen des Antriebes ruhen in Kugellagern, die langsamlaufenden in langen, gutgeschmierten Buchsen. Die Schmierung erfolgt bei den ersteren selbsttätig, bei letzteren durch Staufferbuchsen.

Die Umdrehungszahl des Motors ist gleichbleibend; die Änderung des Rostvorschubes erfolgt durch ein Getriebe mit vier Geschwindigkeiten.

Der Aschfall schließt sich dem Rostende an. Der hintere Abschluß erfolgt entweder durch Abstreifer und Rundschieber oder durch Pendelstauer. Beide Einrichtungen sind gebräuchlich; ihre Anwendung richtet sich lediglich nach den Eigenschaften des zu verwendenden Brennstoffes.

Das Zündgewölbe wird als Bogengewölbe aus Schamottesteinen in verschiedener Form, Höhe und Länge ausgebildet, je nach den Zünd- und Verbrennungseigenschaften des zur Verfügung stehenden Brennstoffes. Seit einiger Zeit wird die aufgehängte horizontale Zünddecke bevorzugt, welche sich für gute und gleichmäßige Entzündung des Brennstoffes besser eignet. Eine Erneuerung ist leicht durchführbar. Die Vortrocknungszeit der Steine fällt fort; notwendig werdende Instandsetzungen bedingen daher nur kurze Betriebsunterbrechungen.

Für Unterwindbetrieb wird der normale Rost zwischen und unter dem Kettenband mit Blechen luftdicht verschlossen. Der Unterwind tritt in der ganzen Rostbreite ein. Zur Regelung des Unterwindes im hinteren Rostteil werden gußeiserne Flach-

klappen angebracht, die durch Hebel von der Rostseite aus bedient werden. Den Austritt von Schwelgasen aus dem Feuerraum in das Kesselhaus verhindert eine Rücksaugeeinrichtung, welche die Schwelgase durch einen Ventilator abführt. Durch einfaches Öffnen einiger Türen und Klappen kann der Unterwindrost auf Betrieb mit natürlichem Zug umgestellt werden.

Der Terrassenrost, Bauart »Evaporator« ermöglicht die Verfeuerung der verschiedensten Brennstoffe, wie Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts, Torf, Lohe, Holz, Steinkohle, Steinkohlenschlamm, Braun- und Steinkohlenstaub, Koks, Koksgrus, Lokomotivlöschel mit einem Aschengehalt von 35 vH in wirtschaftlicher Weise. Bei dem Terrassenrost



Abb. 9. Terrassenrost, Bauart »Evaporator«.

wird die Verbrennungsluft von den Seiten her in horizontaler Richtung gegen die Rostmitte zu eingeblasen. Dies bewirkt nicht nur eine günstige Flammenbildung, sondern auch eine günstige Zuführung der erforderlichen Verbrennungsluft zu jedem einzelnen Brennstoffteilchen. Die dem Brennstoff durch die eingeblasene Verbrennungsluft erteilte geringe Bewegung trägt mit dazu bei, eine vollständige Verbrennung bei geringstem Luftüberschuß herbeizuführen, während andererseits die Bildung von Flugkoks oder Stichflammen selbst bei starker Anstrengung vermieden wird.

Die auf Querträgern ruhenden Roststäbe sind terrassenartig übereinander gelagert und bilden daher eine flache Mulde. Sie werden aus einem besonders geeigneten Sonderguß hergestellt und sind mit Kühlrippen versehen, so daß sie von der sie allseitig umspülenden Verbrennungsluft wirksam gekühlt werden (s. Abb. 9).

Infolge der terrassenförmigen Anordnung der übereinandergreifenden Roststäbe und der horizontal liegenden Luftspalten wird ein Aschenverlust infolge Durchfallens unverbrannter

Brennstoffteilchen in den Aschenraum vermieden. Die Verbrennung ist vollkommen und der Kohlensäuregehalt der Rauchgase hoch. Gegenüber Planrosten kann eine Steigerung der Dampfleistung von 20—30 vH erreicht werden. Es ist ein Vorteil des Terrassenrostes, daß er die Steigerung der Rostbelastung je nach dem Heizwert und Aschengehalt des verwendeten Brennstoffes bis zu 300 kg je m² Rostfläche zuläßt und damit

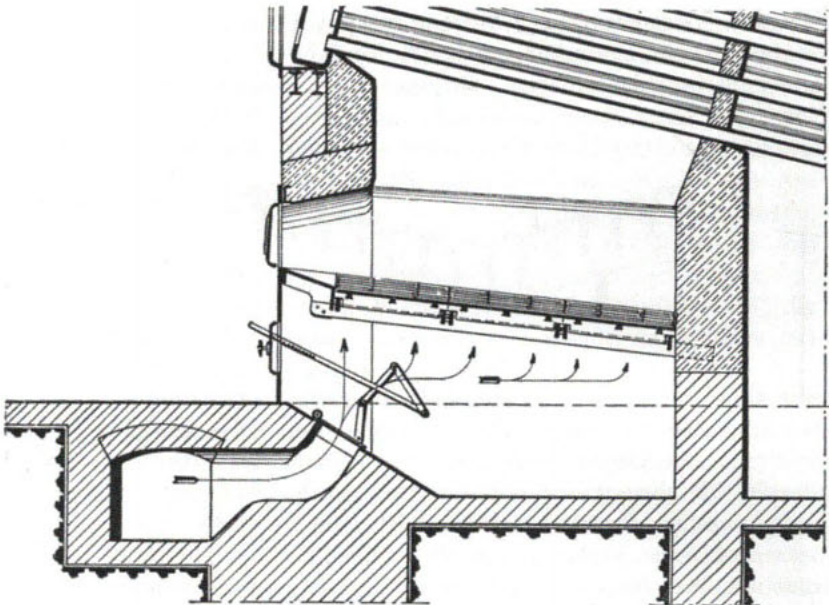


Abb. 10. Terrassenrost, Bauart »Evaporator«, als Unterfeuerung.

gestattet, sich den wechselnden Anforderungen des Betriebes anzupassen.

Die Bedienung des Rostes bietet keine Schwierigkeiten. Der Einbau des Terrassenrostes in alle vorhandenen Kesselsysteme ist einfach.

Abb. 10 zeigt den Längsschnitt durch einen Terrassenrost als Unterfeuerung.

In Amerika ist für Großkesselanlagen die Unterschubfeuerung entwickelt worden; in Deutschland hat sie bisher,

abgesehen von einzelnen Fällen für kleine Kesseleinheiten, nur wenig Eingang gefunden.

Das Wesen der Unterschubfeuerung besteht darin, daß die frische Kohle nicht auf die glühende Schicht, sondern unter diese aufgebracht wird. Die Kohle steigt also von unten nach oben, bis sie in die glühende Schicht gelangt. Auf diesem Wege geht die Entgasung der Kohle vor sich. Die sich entwickelnden Gase eilen der Kohle gewissermaßen voraus und kommen in der glühenden Schicht, in der sie mit Luft gemischt werden, zur Verbrennung. In der Glühschicht geht auch die Vergasung der bereits entgasten Kohle vor sich, so daß also in der Brennschicht die Verbrennung der flüchtigen Bestandteile und des Koks gleichzeitig vor sich geht. Dadurch wird eine hohe Temperatur und eine kurze Verbrennungszeit und somit eine große Leistungsfähigkeit je Flächeneinheit erzielt. Der Verbrennungsvorgang setzt jedoch zu seiner Durchführung voraus, daß die Kohle einen bestimmten Gasgehalt hat, der empirisch mit etwa 14—15 vH festgestellt wurde.

Ferner muß die in der Unterschubfeuerung verfeuerte Kohle einen möglichst hohen Schlackenschmelzpunkt und einen nicht zu hohen Aschengehalt haben, da andernfalls die Gefahr besteht, daß bei der hohen im Feuerbett herrschenden Temperatur durch die im Feuerbett schmelzende Schlacke der Luftzutritt verhindert wird.

Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt hat zur Folge, daß die Verbrennung im oberen Teil nicht sofort einsetzt. Hierdurch wird die Leistungsfähigkeit und der Wirkungsgrad der Unterschubfeuerung herabgesetzt.

Als Brennmaterial kommt für die Unterschubfeuerung nur ein Brennstoff in Betracht, der etwa folgenden Bedingungen entspricht:

1. Gehalt an flüchtigen Bestandteilen mindestens 14—15 vH.
2. Schlackenschmelzpunkt nicht unter 1250°; max. Aschengehalt etwa 20 vH; Aschenschmelzpunkt nicht unter 1250°.
3. Feuchtigkeit nicht über 10—15 vH; für höheren Gehalt an flüchtigen Bestandteilen sind die höheren Werte zulässig.
4. Förderkohle bzw. melierte Kohle muß vorher etwa auf Faustgröße gebrochen werden.

Die hohe Leistungsfähigkeit liegt in der Eigenart des Verbrennungsvorganges der Unterschubfeuerung begründet. Die gleichzeitige Verbrennung der flüchtigen Bestandteile und der entgasten Kohle unterstützen die Vorgänge wechselseitig, wodurch die Temperatur und die Brenngeschwindigkeit wesentlich erhöht wird. Die Rostleistungen betragen 300—350 kg/m² für Kohle mit hohem Gasgehalt. Bei niedrigem Gasgehalt sind die Leistungen geringer.

Die Baukosten der Unterschubfeuerung, wie sie in Amerika für Großkessel gebräuchlich ist, werden sehr erhöht durch den zum Ausbrand der Schlacke unbedingt erforderlichen Schlacken-schacht.

Als Beispiel einer Unterschubfeuerung sei hier die Bauart »Riley-Stocker« besprochen: Eine Riley-Stocker-Anlage setzt sich aus mehreren gleichartigen Elementen zusammen, deren Anzahl von der Größe der Kessel bzw. von der verlangten Kesselleistung abhängig ist. Dadurch wird es möglich, ohne Schwierigkeiten Rostflächen jeder Breite herzustellen.

Die Hauptbestandteile eines Elementes sind:
 die Beschickungsvorrichtung mit dem Antrieb,
 die Mulde mit den beweglichen Muldenwangen und Brenndüsen,
 der Schlackenrost und die Schlackenpendel.

Die in den Fülltrichter eingebrachte Kohle wird durch einen vor- und zurückgehenden Kolben in die Mulde gedrückt, der mittels Kreuzkopf und Pleuelstange seinen Antrieb von einer dem Stocker vorgelagerten Kurbelwelle erhält. Diese wird über ein Reduktionsgetriebe von einem regulierbaren Elektromotor angetrieben.

Der Kreuzkopf ist mit seitlichen Zapfen versehen, die die Zug- und Führungsstangen der Düsenwangen umgreifen und durch eine einfache Kupplung mit diesen gekuppelt werden, die gleichzeitig eine Hubveränderung ermöglicht.

Die Düsenwangen, auf denen die einzelnen Brenndüsen sitzen, machen eine hin- und hergehende Bewegung. An die beweglichen Muldenwangen schließt sich der Schlackenrost an, der ebenfalls die hin- und hergehende Bewegung mitmacht. Hinter dem Schlackenrost sind Schlackenpendel angeordnet,

die zwar gleichfalls die hin- und hergehende Bewegung mitmachen, gleichzeitig aber auch eine drehende Bewegung ausführen, wodurch die Schlacke fortgeführt wird.

So einfach der Verbrennungsvorgang bei den Unterschubfeuerungen erscheint, so ergeben sich bei der praktischen Durchführung doch eine Reihe von Schwierigkeiten, die durch die besondere Konstruktion des Riley-Stockers überwunden werden. Der Transport der Kohle und der Schlacke erfolgt einerseits durch den Kohlennachschub, andererseits durch die gegenläufige Bewegung der Düsenwangen. Durch diese Bewegung wird gleichzeitig auch ein ständiges Aufbrechen der Kohlschicht erzielt, so daß das Feuerbett ständig gasdurchlässig ist und dadurch leistungsfähig bleibt.

Die Kohle wandert langsam über die etwas schräg gelegte Mulde nach abwärts und gelangt nahezu ausgebrannt auf einen Schlackenrost, wo das vollständige Ausbrennen erfolgt. Die Schlacke wird sodann über Schlackenpendel in den Schlackenfall abgeführt.

Die Verbrennungsluft wird durch einen Ventilator regelbar unter die Mulden gedrückt, von wo sie durch die Brenndüsen in die Brennstoffschicht geblasen wird. Je nach der Länge der Roste ist der Unterwindraum in mehrere Kammern unterteilt. Die Luftzufuhr zum Schlackenrost kann mit einer Windklappe geregelt werden.

Die Verbrennung nach dem Unterschubprinzip ermöglicht es, mit geringem Luftüberschuß eine vollkommene Verbrennung zu erzielen. Dadurch, daß die flüchtigen Bestandteile der Kohle durch die brennende Schicht hindurchtreten müssen und hier mit der Verbrennungsluft in innige Berührung kommen, wird ein Ausscheiden von unverbranntem Kohlenstoff vermieden. Die Verbrennung erfolgt demnach auch bei gasreichster Kohle rauchfrei. Durch den geringen Luftüberschuß werden die Abgasverluste auf ein Mindestmaß herabgedrückt. Die hin- und hergehende Bewegung der Brenndüsen vermeidet ein Zusammenbacken der Schlacke.

Die Menge der aufzugebenden Kohle wird durch Veränderung der Hubzahl des Aufgabekolbens geregelt. Der Vorschub der Kohle wird durch Verstellung des Hubes der Düsenwangen erzielt. Je größer der Hub gewählt wird, desto niedriger wird

bei gleichmäßiger Kohlenzufuhr die Höhe der Kohlschicht und umgekehrt. Die Menge der aufzugebenden Kohle wird durch Veränderung der Hubzahl des Aufgabekolbens, der Vorschub der Kohle durch Verstellung des Hubes der Düsenwangen geregelt. Je größer der Hub gewählt wird, desto niedriger wird bei gleichmäßiger Kohlenzufuhr die Höhe der Kohlschicht und umgekehrt.

Der Riley-Stocker erfordert keine Gewölbeeinbauten, wodurch sein Einbau einfach und billig wird. Die Instandhaltungskosten für das Mauerwerk sind gering. Die Montage des Rostes geht schnell vonstatten, weil alle Teile nach Schablone, austauschbar, hergestellt werden. Das seitliche Mauerwerk wird durch gußeiserne Düsenwangen, die ein Anbacken der Schlacke an das Mauerwerk verhindern, geschützt.

Der Treppenrost kommt zuweilen für die Verfeuerung von Abfallsteinkohle, in erster Linie aber für die Verfeuerung der deutschen Rohbraunkohle in Frage. Dieser infolge seines Wassergehaltes heizwertärmere Brennstoff läßt sich auf dem Treppenrost und dem später beschriebenen Muldenrost mit gleich gutem Wirkungsgrad verfeuern wie die im Heizwert höher liegenden Brennstoffe (Braunkohlenbriketts und Steinkohle). Es ist daher nicht richtig, die Rohbraunkohle schlechtweg als minderwertig zu bezeichnen.

»Minderwertig im feuerungstechnischen Sinne sind nur Brennstoffe mit ungenügenden Rostleistungen, zunächst ganz ohne Rücksicht auf den Heizwert. Gasarme Brennstoffe mit hohem Heizwert können geringwertig sein, während wasserreiche Braunkohle oder Holz in entsprechenden Feuerungen selbst bei Schornsteinzug meist so erhebliche Rostleistungen aufweist, daß von Minderwertigkeit trotz des geringen Heizwertes keine Rede sein kann¹⁾.

»Der hohe Wassergehalt allein ist kein ernstliches Hindernis, lassen sich doch Braunkohlen mit 60 vH Wassergehalt auf Treppenrosten sehr wirtschaftlich verfeuern. Auch die Verfeuerung feinkörniger Brennstoffe ist nicht mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden. Dagegen bieten aschenhaltige

¹⁾ Dr. Berner, Zeitschrift des V. D. I., 1921.

Brennstoffe große Schwierigkeiten und um solche handelt es, sich meistens im Steinkohlenbergbau¹⁾).

Die aus der Vorkriegszeit stammenden Treppenroste sind durchweg als veraltet anzusehen. Sie haben viel zu kleine Feuerräume, so daß gasreichen Braunkohlen keine Möglichkeit zum vollständigen Ausbrand gegeben ist. Die Folge hiervon ist das Mitreißen erheblicher Flugkoksmengen in die Züge, wo sie bei der sehr großen Reaktionsfähigkeit des Braunkohlens kokses weiter ausbrennen und zur Erhöhung der Abgastemperatur und damit zu hohen Abgasverlusten führen. Der neuzeitliche Treppenrost hat einen großen Verbrennungsraum, der einen guten Ausbrand der Rohbraunkohle und geringe Abgasverluste gewährleistet.

Abb. 11 zeigt die neuzeitliche Braunkohlen-Großraumfeuerung von Keilmann & Völcker im senkrechten Längsschnitt. Kennzeichnend ist der hohe Feuerraum und sein verhältnismäßig tief gehender Abschluß gegen den Kesselheizraum. Dadurch geht allerdings die Strahlwirkung der Brennschicht auf dem Roste gegen die unteren Kesselrohrreihen zum Teil verloren, gewolltermaßen, weil durch zu hohe Abstrahlung der Brennvorgang leidet. Wenn man weiterhin bedenkt, daß jeder neuzeitliche Großkessel durch eine Mehrzahl von nebeneinander liegenden Feuerungen beheizt wird, deren unter den Kesselrohren endende Trennwände von den mit 1200—1300° abziehenden Abgasen fast auf Weißglut erhitzt werden, so ist dadurch eine sehr wirksame Strahlfläche auf den Rost und auf die Kesselrohre gegeben.

Entsprechend dem hohen Feuerraum ist der Trockenschacht hoch ausgeführt. Er besteht nicht mehr aus einem geschlossenen Schacht. Die Trockensäule wird vielmehr durch wechselseitig schräg verlegte gemauerte Auflageflächen zickzackförmig gebrochen.

Der Vorteil dieser Anlage liegt in der stetigen Umwälzung des langsam nach unten ablaufenden Brennstoffes bei offenem Zutritt der Heizgase, die mit hoher Temperatur an die hier noch mit hohem Wassergehalt behaftete Rohbraunkohle herangeführt werden, in der Feuergastrocknung bei Gleichstrom, sowie in dem freien Abzug des Wrasens und der Destil-

¹⁾ Schulte, Zeitschrift des V. D. I., 1921, S. 366.

lationsgase im Zug der rückgeführten Gase, d. h. in der Richtung auf den Rost zu. Der Rost selbst ist ein Treppenrost mit Anschlußbogen an den Trockenschacht. Das Kohlenwehr

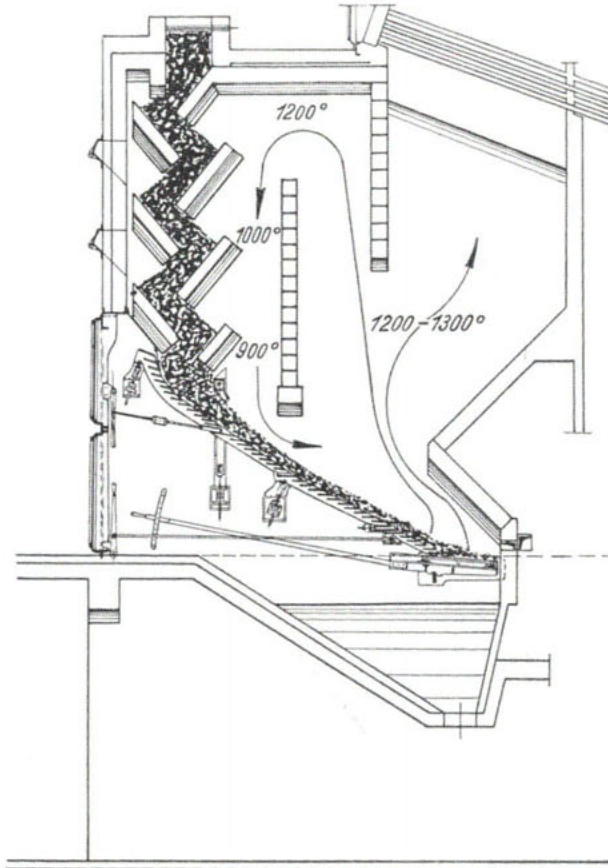


Abb. 11. Braunkohlen-Großraumfeuerung von Keilmann & Völcker.

zur Begrenzung der Schütthöhe auf dem Rost ist luftgekühlt, mit einer gebogenen Zusatzluftdüse ausgerüstet sowie von unten einstellbar. Der Rost wird mit festen Platten und Handschürung ausgeführt, mechanische Schürung kommt erst

bei Kesseln über 600—700 m² bei einer Belastung von mehr als 40 kg Dampf je m² Heizfläche und Stunde in Frage.

Mit dieser Feuerung lassen sich bei annähernd gleichbleibendem Wirkungsgrad von 80 vH Dampfleistungen von 20—50 kg/m²/h erzielen, wobei die Feuerraumbelastung in Grenzen von etwa 70000—170000 kcal/m³/h liegt. Diese verhältnismäßig niedrige Belastung des Feuerraumes bietet die Möglichkeit, durch Zusatzfeuerung (Kohlenstaub), Spitzendampfleistungen zu erzielen, da eine vorübergehende Feuerraumbelastung von 300—350000 kcal/m³/h als durchaus zulässig bekannt ist. Dadurch ist es möglich, von einer normalen Dampfleistung von etwa 40 und mehr kg/m²/h ausgehend, Spitzenleistungen durch Zusatzfeuerungen von 60 und mehr kg/m²/h zu erreichen, ohne den Feuerraum zu überlasten.

Bei den Halbgasfeuerungen wird in einer Schachtvorfeuerung der zugeführte Brennstoff teilweise vergast, teilweise verbrannt und alsdann unter Zuführung von Luft unter dem Kessel vollkommen verbrannt.

Als kennzeichnendes Beispiel sei an dieser Stelle die Babcock-Halbgas-Treppenrostfeuerung angeführt. Sie besteht aus dem Brennstofftrichter, aus dem oberen steilen Schwelrost, dem unteren flachen Verbrennungsrost mit Schür- und Regelungseinrichtung und dem Schlackenplanrost mit darunterliegenden vollwandigen Schlackenschiebern und davor sitzenden Luftschiebern (Abb. 12).

Der Trichterausgang ist durch einen Absperrschieber verschließbar, das Ende des Schwelraumes wird durch einen einstellbaren Schamotteschieber mit Öffnungen für den Durchlaß der Schwelgase begrenzt. Dieser Schieber bildet mit einer kurz dahinter hängenden Mauerzunge den Gasmischraum; dahinter liegt der Verbrennungsraum.

Nach außen ist die Feuerung vorn durch die Frontplatte mit Bedienungstüren, seitlich, oben und unten durch Mauerwerk eingeschlossen. Im Mauerwerk befinden sich die Kanäle für die Sekundär-Luftzuführung, wie Schau- und Bedienungslücken und im Boden Verschlüsse für die Schlacken- und Aschenabfuhr. Bei der Schürvorrichtung ist der untere Rostteil derart verstellbar eingerichtet, daß die Rostplatten beweglich mit nach unten zunehmendem Vorschub eingerichtet

sind. Diese Einrichtung ermöglicht durch eine einfache Hebelbetätigung das Schüren und Lockern der gesamten Brennschicht, die Reinigung des unteren Rostes von Schlacke und Asche sowie im Bedarfsfalle die Einstellung einer veränderten Rostneigung. Sie bildet somit ein wichtiges Konstruktionselement dieser Feuerungsart.

Die Beschickung und Verbrennung erfolgt in der Weise, daß der frische Brennstoff aus dem Trichter in regelbarer Schicht in den Schwelraum gelangt. Dort wird er infolge der Einwirkung der Hitze teilweise getrocknet und entgast. Die abziehenden Schwelgase verbrennen im Misch- und Verbrennungsraum vollständig. Der Schwelrost beschickt nunmehr in einstellbarer Schicht den Verbrennungsrost mit vorgetrocknetem, schwach glühendem und gleichartigem Brennstoff. Während des Abwärtsleitens in dieser Hauptfeuerzone brennt er fast vollständig aus, so daß der anschließende Schlackenrost in der Hauptsache ausgebrannte Asche empfängt; der Rest an Verbrenlichem hat Zeit, dort auszubrennen. Die Verbrennungsrückstände werden durch zeitweises Ziehen der Aschenschieber in den Aschenraum abgezogen.

Diese Halbgas-Treppenrostfeuerung eignet sich in erster Linie zur Verfeuerung von Rohbraunkohle beliebiger Stückigkeit, in Sonderausführung auch für Torf, Lohe, kleinere Holzabfälle und Sägemehl.

Bei der Babcock-Halbgas-Treppenrostfeuerung (Abb. 12) handelt es sich um einen mechanisch arbeitenden Braunkohlenrost, welcher allen Anforderungen entspricht unter Verwendung großer Rosteinheiten, so daß er auch für größte Kessel-einheiten geeignet ist.

Die Rohbraunkohle gelangt aus dem absperrbaren, gemauerten Trichter auf den vor dem Hauptkohlenwehr liegenden Rostteil und rutscht von dort selbsttätig in den Feuerraum. Die Schütthöhe wird durch einen Absperrschieber geregelt; die Einstellung erfolgt vom Heizerstand aus.

Die Rostbahn setzt sich aus Rostkörperreihen zusammen, die abwechselnd in einem beweglichen und einem festen Rahmen gelagert sind. Durch diese Bauart wird der Durchfall von Unverbranntem in den Aschenfall praktisch ausgeschaltet; auf den beiden Rostseiten wird dieser dadurch vermieden, daß die

an die Rostkörperreihen anschließenden seitlichen Wannen elastisch gelagert und derart ausgebildet sind, daß ein dichter Abschluß gegen das Mauerwerk gewährleistet ist.

Die einzelnen Rostkörper werden mit genügend großen Luftdurchlaßspalten versehen, welche einen ungehinderten Zutritt der Verbrennungsluft zum Brennstoff sichern. Eine

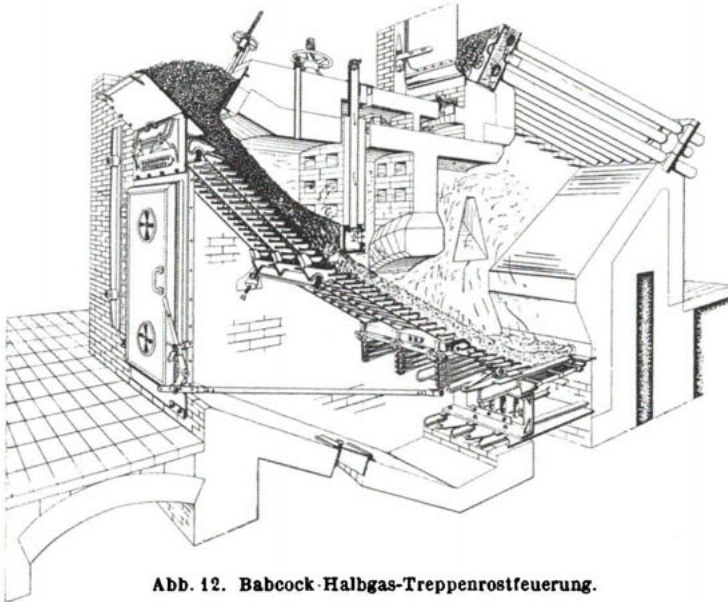


Abb. 12. Babcock-Halbgas-Treppenrostfeuerung.

Tür mit regelbaren Luftspalten, durch welche die Luftzufuhr den jeweiligen Betriebserfordernissen entsprechend eingestellt werden kann, schließt die Feuerungsfront ab. Die Feuerung kann auch für Unterwindbetrieb eingerichtet werden.

Die Betätigung des beweglichen Rahmens erfolgt von einem Geschwindigkeitsgetriebe aus mittels Exzenter und Exzenterstange auf den Haupthebel der Antriebsvorgelegewelle.

Die Hublänge der beweglichen Rostkörperreihen wird nach dem Rostende zu verlangsamt, wodurch ein dem Ausbrand der Braunkohle entsprechender Anstau und damit eine gleichmäßige Bedeckung der ganzen Rostfläche erreicht wird. Leere Roststellen, durch welche kalte Luft in den Feuerraum gelangt, können demnach nicht entstehen.

An den eigentlichen Treppenrost schließt sich ein Schlacken-Nachschubrost an, der den Zweck hat, die ankommenden Brennstoffrückstände kräftig aufzulockern und zum vollen Ausbrand zu bringen. Der Nachschubrost befördert hierauf die Rückstände auf einen anschließenden Kipprost, von wo sie in den Schlackenraum gelangen.

Die Schnelligkeit der Brennstoffbewegung kann je nach Erfordernis sowohl durch Änderung der Hublänge als auch der Hubzahl beliebig eingestellt werden. Die Feuerung kann also der Eigenart des zur Verfügung stehenden Brennstoffes angepaßt werden und verbrennt gleich gut stückige wie auch feinkörnige Braunkohle. Infolge der weitgehenden Einstellbarkeit ergibt die neue mechanische Babcock-Treppenrostfeuerungsart bei sehr gutem Wirkungsgrad eine leichte Anpassung an schwankende Belastungen.

Die mechanische Babcock-Treppenrostfeuerungsart arbeitet selbsttätig. Stochern und Schüren von Hand ist nicht erforderlich; das bei feststehenden Treppenrosten zuweilen vorkommende Zurückschlagen der Flammen infolge Überschüttens des Brennstoffes kommt nicht vor. Die ständige Brennstoffauflockerung durch die Vorschubbewegung jeder zweiten Rostkörperreihe und die weitgehende Regelungsmöglichkeit der Brenngeschwindigkeit je nach Art und Verhalten des Brennstoffes gewährleisten einen stets guten CO_2 -Gehalt und somit einen gleichmäßig hohen Wirkungsgrad auch bei nach Art und Körnung wechselnder Braunkohle.

Die Entaschung des Rostes ist selbsttätig. Der Verschleiß auch der stärker beanspruchten Teile ist gering; alle Teile sind leicht auswechselbar.

Auch die Vorschub-Treppenrostfeuerungsart, Bauart »Ludwig« (Abb. 13), ist eine ausgesprochene Rohbraunkohlenfeuerungsart. Die Rohbraunkohle gelangt durch Schurren in den Vortrocknungs- und Umschichtungsschacht, der mit sattelförmigen, schachbrettartig versetzten gußeisernen Einbauten versehen ist, und aus diesem auf den eigentlichen Verbrennungsrost. Die Schütthöhe des Brennstoffes wird durch ein mehrteiliges Wehr der Kohlensortierung entsprechend geregelt.

Der Vortrocknungs- und Umschichtungsschacht wird von einem besonderen kleinen Vorrost beheizt.

Durch Anzapfen der Hauptkohlenschurre gelangt der Brennstoff in einen mit besonderer Kohlenabsperrvorrichtung versehenen Kohlenschacht und von hier auf den Vorrost. Die

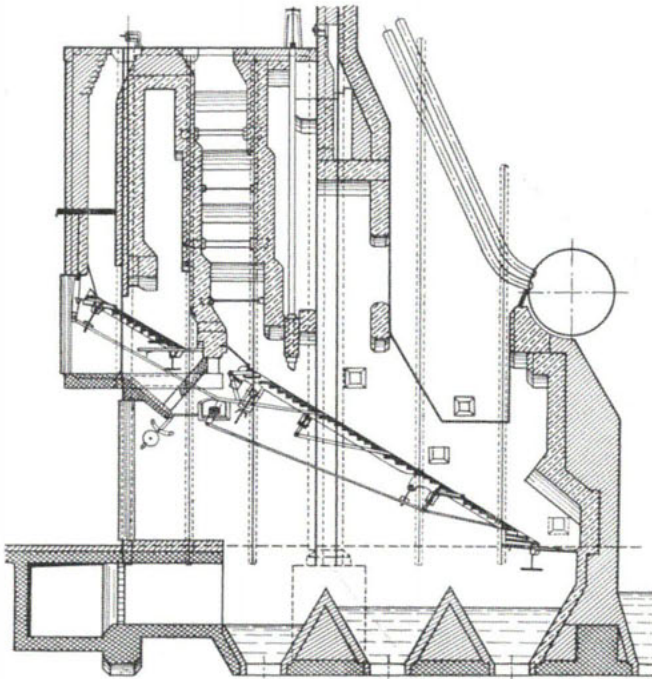


Abb. 13. Vorschub-Treppenrostfeuerung, Bauart •Ludwig•.

von diesem erzeugten Heizgase gelangen zunächst in die dem Trockenschacht vorgelagerte Sammelkammer, ziehen von hier aus unter den gußeisernen Einbauten hindurch und münden in die Mischkammer der Hauptfeuerung.

In dem Trocknungsschacht geben die Heizgase ihre Wärme zum Teil an die gußeisernen Einbauten, zum Teil an die darunterlagernde Kohlenschicht ab, wobei letztere stark erwärmt und vorgetrocknet wird. Die sich dabei entwickelnden Schwel-

gase und Wasserdämpfe gelangen mit den Heizgasen ebenfalls in die Mischkammer und von dort aus zu dem Hauptverbrennungsrost, wo dann die vollkommene Verbrennung dieser Gase stattfindet.

Der Hauptverbrennungsrost gleicht an sich im allgemeinen einem gewöhnlichen Treppenrost und kann auch als solcher behandelt werden. Je nach der Länge des Hauptrostes sind in bestimmten Abständen und zwischen je 2 festliegenden Stufen Nachstoßkörper eingebaut, welche von einer Hauptantriebswelle aus durch ein Zug- und Hebelgestänge hin- und herbewegt werden. Die Bewegung der Nachstoßkörper zueinander erfolgt abwechselnd, und zwar so, daß, wenn sich z. B. die eine Reihe der Nachstoßkörper nach vorn bewegt, die darüber und darunter liegende Reihe nach hinten gezogen wird. Bei der Rückwärtsbewegung der Nachstoßkörper entstehen unter ihnen auf den festliegenden Roststufen größere Hohlräume, welche wieder durch die Wirkung der darüberliegenden, langsam vorgehenden Nachstoßkörper mit Brennstoff gefüllt werden. Beim nächsten Vorschub wird dann dieser Brennstoff weiter auf den unteren Rost befördert und hierdurch stets gleichmäßig den weiter darunterliegenden festen Rostteilen zugeführt.

Die nach der Verbrennung übrigbleibende Asche sammelt sich auf dem als Planrost ausgestalteten Unterteil der Feuerung, dessen Schieber oder Einlagen vom Heizerstand geöffnet werden können, um die Rückstände abzuziehen.

Für eine wirtschaftliche Verfeuerung von Rohbraunkohle ist weiter die Muldenrostfeuerung sehr geeignet. Es handelt sich um eine Halbgasfeuerung mit Vortrocknung und Vorentgasung des Brennstoffes. Die Rohbraunkohle wird hierbei auf dem Deckenmauerwerk der Gaskammer vorgetrocknet und rutscht dann auf beiden Seiten selbsttätig auf die Rostmulde, deren Querschnitt treppenförmig ausgebildet ist. In der tiefsten, in der Mitte gelegenen Zone findet dann die Hauptverbrennung statt.

Der Mechanismus des Treppen- und des Muldenrostes ist seit der Kriegszeit weitgehend gefördert worden. Um die Braunkohle zwangsläufig voranzuschieben, können dem Rost drei verschiedene Bewegungen erteilt werden:

- a) Die Hin- und Herbewegung nebeneinander liegender Rostbahnen,
- b) die Hin- und Herbewegung übereinander liegender Rostplatten,
- c) die wellenförmige Bewegung von Rostplattengruppen gegeneinander.

Die spezifischen Rostleistungen dieser Rohbraunkohlenroste sind recht hoch; sie schwanken bei natürlichem Zug zwischen 250 und 400 kg/m²/h.

2. Feuerungen für staubförmige Brennstoffe.

Die ersten Versuche, an Stelle der Verfeuerung von festen Brennstoffen die Kohlenstaubfeuerung zu setzen, reichen in Deutschland in das vorige Jahrhundert zurück. So hatte z. B. Wegener auf der großen Gewerbeausstellung Berlin 1896 eine solche Feuerung ausgestellt. Sie konnte sich in Deutschland aber nur im Drehrohfenbetrieb der Zementfabriken durchsetzen, wo sie bereits vor dem Kriege ganz allgemein eingeführt war. Im übrigen Industrieofen- und Kesselbetrieb erfolgte besonders in der Kriegs- und Nachkriegszeit die weitere Entwicklung der Kohlenstaubfeuerung vorzugsweise in Amerika, von wo aus sie dann wieder nach Deutschland zurückgekommen ist und hier, in sachgemäßer Weise weiter entwickelt, eine gewisse Verbreitung gefunden hat.

Als Brennstoff für die Kohlenstaubfeuerung kommt sowohl Steinkohle als auch Braunkohle, sowohl Steinkohlenkoks als auch Braunkohlenkoks (Grudekoks) in Frage; sehr beliebt ist die Verwendung von Brikettabrieb. Die besonderen Vorteile der Kohlenstaubfeuerung liegen aber in der Verwendungsmöglichkeit beliebiger billiger und minderwertiger Brennstoffe, die auf Rostfeuerungen nicht mehr wirtschaftlich verfeuert werden können, wie z. B. Kohle mit hohem Aschengehalt und leicht schmelzbarer Schlacke, Feinkohle, Staubkohle, Koksgrus u. dgl.

Es sei hier auf ein Mißverständnis aufmerksam gemacht, dem man vielfach begegnet. Die Kohlenstaubfeuerung hat nichts zu tun mit der Verfeuerung der sog. Staubkohle, wie sie besonders in Oberschlesien gefördert und verkauft wird. Hier handelt es sich um eine feinkörnige Steinkohle, die ungemahlen auf dem

Rost verfeuert wird, während die für die Kohlenstaubfeuerung verwendete Steinkohle stets zuvor gemahlen werden muß.

Die Kohlenstaubfeuerung ist gegen häufigen Wechsel in der Güte des Brennstoffes unempfindlicher als die Rostfeuerung, wo dieser bekanntlich sehr störend wirkt. Da sie mit nahezu theoretischer Luftmenge (1 bis 1,2fachem Luftüberschuß) arbeiten kann, ermöglicht sie durch höhere Anfangs- und niedrige Endtemperaturen auch die Ausnutzung eines größeren Wärmegefälles, ein Umstand, welcher sich im Dampfkesselbetrieb in einer höheren Dampfleistung auswirkt. Es werden Kesselwirkungsgrade von über 85 vH erreicht. Hierbei dürfen aber niemals die den Kohlenstaub vielfach sehr wesentlich verteuernenden Mahlkosten außeracht gelassen werden. Da die bei der Kohlenstaubfeuerung erreichbaren hohen Flammentemperaturen die Haltbarkeit des Ausmauerungsmaterials der Brennkammern gefährden, ist dazu übergegangen worden, die Wände der Brennkammern zur Schonung des Mauerwerkes mit Wasserrohren zu bewehren, deren Wasserumlauf in das Kesselsystem einbezogen ist, und die somit als Heizfläche anzusehen sind. Um das bei den hohen Flammentemperaturen eintretende Schmelzen der Asche unschädlich zu machen, wird die Brennkammer meistens unten ebenfalls durch Wasserrohre abgeschlossen, die ein Granulieren der Schlacke bewirken.

Wenn als weiterer Vorteil der Kohlenstaubfeuerung eine sehr leichte Reglungsmöglichkeit und die sofortige Anpassung der Wärmeerzeugung an den Wärmeverbrauch sowie eine Verringerung der Anheizverluste durch schnellste Betriebsbereitschaft nachgerühmt wird, so ist dieser Vorsprung vor den anderen Feuerungsarten in neuerer Zeit verlorengegangen, da es sich gezeigt hat, daß die gleichen Vorteile auch dem neuzeitlichen Wanderrost zuzusprechen sind.

Bei der Kohlenstaubfeuerung ist der gesamte Feuerungsbetrieb vollkommen mechanisiert; durch restlose Verbrennung wird die beste Ausnutzung der Brennstoffe gewährleistet und es werden erhebliche Ersparnisse an Bedienungspersonal und Arbeitskräften erzielt.

In den ersten Anfängen der Kohlenstaubfeuerungspraxis verwendete man nur Steinkohle mit geringem Wassergehalt, so daß eine Trocknung vor der Mahlung nicht in Frage kam.

Der Staub wurde in schnellaufenden Mühlen erzeugt und dann gemeinsam mit der Verbrennungsluft durch einen mit der Mühle gekuppelten Ventilator ohne Zwischenbunkerung in die Feuerung eingeblasen. Dem Vorteil der Einfachheit und Billigkeit dieses Verfahrens stehen jedoch schwere Nachteile gegenüber. Kraftbedarf und Verschleiß der Mühle sind groß bei geringer Mahlleistung. Überdies wird bei stark schwankender Belastung der Mangel eines Puffers in Form eines Kohlenstaubspeichers (Bunker) unangenehm empfunden. Da sich die Mühlen im Kesselbetrieb nach dem Staubbedarf des Kessels zu richten haben, können sie oft nicht wirtschaftlich betrieben werden; weil ferner ein Ausfallen der Mühle den Stillstand der Feuerungsanlage zur Folge hat, müssen Reservemühlen vorgesehen werden.

Mit der Erkenntnis der Zusammenhänge zwischen Leistung, Kraftbedarf, Feinheit und Feuchtigkeit wurde zur Verwendung auch von Kohle mit größerem Wassergehalt und zu deren Trocknung vor der Vermahlung übergegangen. Das Streben nach größter Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung und Verfeuerung führte zur Zwischenbunkerung des Kohlenstaubes. Auf diese Weise entstanden die Aufbereitungsanlagen, in denen der Staub zeitlich unabhängig von seiner späteren Verwendung unter wirtschaftlichen Bedingungen aufbereitet wird. In der Erkenntnis, daß jede Kohlenstaubfeuerungsanlage mit der Wirtschaftlichkeit der Staubaufbereitung steht und fällt, wurde versucht, die Anlagen zu vereinfachen, indem der Mühle mäßig warme Abgase bzw. Heißluft zugeführt wurde, um die Kohle vorzutrocknen und dadurch den Mahlvorgang günstig zu beeinflussen. Der Preisunterschied zwischen diesem Verfahren — auch Mahltrocknungsverfahren genannt — und einer getrennten Trocknungs- und Mahlanlage ist nicht erheblich. Die Leistung einer Mahltrocknungsanlage ist geringer, der Kraftbedarf stets größer als bei einer derselben Kohlenstaubmenge entsprechenden reinen Mahlanlage, wenn diese genügend vorgetrocknetes Material erhält. Dadurch wachsen aber die Anlage- und Betriebskosten einer Mahltrocknungsanlage und es ist leicht denkbar, daß unter gewissen Umständen eine Mahltrocknungsanlage nicht wesentlich wirtschaftlicher als eine getrennte Trocknungs- und Mahlanlage

arbeitet. Berücksichtigt man noch, daß der Betrieb einer Mahltrockenanlage unter Umständen verwickelter als der Betrieb einer getrennten Trocknung und Vermahlung ist, so dürfte einleuchten, daß sich das Bild unter Umständen zugunsten der getrennten Trocknung und Vermahlung verschieben wird.

Obschon die Entwicklung der Aufbereitungsanlagen heute noch nicht abgeschlossen ist, läßt sich doch sagen, daß sowohl das Zentralaufbereitungsverfahren mit getrennter Trocknung und Mahlung als auch die Mahltrocknungsverfahren ihren Platz im Kohlenstaubfeuerungsbetrieb behaupten werden.

Ob dabei eine Zwischenbunkerung vorgesehen werden soll oder nicht, hängt von den Betriebsbedingungen ab und muß von Fall zu Fall entschieden werden. Bei gleichmäßigem Betrieb wird man, falls Reservemühlen vorgesehen werden, ohne Zwischenbunkerung auskommen können. Sofern es sich aber um Werke mit stark schwankender Last handelt, sollte aus Rücksicht auf eine wirtschaftliche Aufbereitung und Verfeuerung eine Zwischenbunkerung vorgesehen werden. Hinzu kommt noch, daß die Verteuerung durch Zwischenbunkerung im Verhältnis zu den Gesamtanlagekosten meist gering ist und gegenüber den durch die Zwischenbunkerung bedingten Vorteilen wenig ins Gewicht fällt.

Mit der Entwicklung der Kohlenstaubfeuerung hat sich ein eigenes Verfahren für die Förderung von Staub herausgebildet. Staub in der für die Verfeuerung in Frage kommenden Feinheit hat die Eigenschaft, sich durch Zusatz geringer Luftmengen in eine fließende Masse zu verwandeln. Der Staub läßt sich in dieser Form leicht durch Rohrleitungen fördern und verteilen. Auf 1000 kg Kohlenstaub werden etwa 30 kg Luft zugesetzt. Geschwindigkeit und Kraftbedarf der Förderung sind gering. Die Preßluft kann einem besonderen Kompressor oder einem Druckluftnetz entnommen werden.

Diese Staubbörderanlagen werden für stdl. Leistungen von 2—100 t Staub gebaut.

Einer der wichtigsten Teile einer Kohlenstaubfeuerung ist der Zuteiler. Er hat die Aufgabe, den jeweils erforderlichen Brennstoffbedarf gleichmäßig zuzumessen, Luft und Brennstoff zu mischen und das Gemisch auf der ganzen Breite des

Feuerraumes zu verteilen. Der Kohlenstaub darf einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt, bei Steinkohle 10 vH, bei Braunkohle 15 vH, nicht überschreiten, da er sonst zusammenballt und im Feuerraum schlecht ausbrennt. Bei dem AEG-Kohlenstaubzuteiler ist besonderer Wert auf eine feine Verteilung des Kohlenstaubes durch Zufuhr mit einer laufenden und nicht sehr schief geschnittenen Schnecke gelegt. Die mit jeder Umdrehung der Schnecke aus dem Zuteiler geförderten Mengen sind gering, so daß kein stoßweises Aufgeben in den Feuerraum erfolgt. Außerdem wird der Kohlenstaub beim Austritt aus der Zuteilerschnecke sofort vom Luftstrom und von dem auf dem Kegel angeordneten Flügelrad mit Luft gemischt.

Der Zuteiler erhält den Staub aus einem Bunker, gegen den er durch einen Schieber abgeschlossen werden kann. Der Staub wird von der Schnecke zugemessen, deren Fördermenge sich innerhalb bestimmter Grenzen mit der Umdrehungszahl ändert. Die Staubaufgabe wird in den meisten Fällen durch einen Antrieb mit regelbarer Drehzahl bewirkt. Auf einer Welle, mit der der Motor unmittelbar gekuppelt ist, wird zunächst der Antrieb mittels eines Hebels durch eine Rutschkupplung eingekuppelt, die Tourenzahl durch ein Stirnräderpaar im Verhältnis 8:1 reduziert und durch ein Kegelräderpaar auf die Förderschnecke übertragen. Die Konstruktion und Ausbildung des Antriebes ist den Anforderungen im Kesselhausbetrieb entsprechend kräftig gehalten. Durch Anordnung eines Gleichstrommotors oder eines Flüssigkeitsgetriebes kann eine weitgehende Tourenregelung durchgeführt werden, so daß die Kohlenstaubfeuerung jede gewünschte Dampfleistung erreichen kann.

Bei Einzelzuteilern läßt sich die Staubaufgabe durch mehrstufige Riemenscheiben regeln.

Die Verbrennungsluft wird von einem oder mehreren Gebläsen geliefert, deren Luftleistung und Pressung ebenfalls einstellbar sind. Auch hier wird gern Tourenregulierung benutzt oder durch eine Irisblende der Saugquerschnitt des Gebläses verändert.

Bei Großdampfkesseln, die große Leistungen bei kleiner Grundfläche aufweisen, ist die Feuerraumbreite verhältnis-

mäßig gering, deshalb muß man die Zuteiler zu Gruppen zusammenfassen und an einer gemeinsamen Grundplatte am Bunkerrahmen befestigen.

Bei kleineren Kesseleinheiten kommt der Einzelbrenner zur Anwendung, der ein in sich geschlossenes und in seiner gedrängten Form handliches Aggregat bildet, er wird meist dann am Platze sein, wenn nicht mehr als 3 Zuteiler für eine Feuerung nötig sind.

Das Gebläse ist bei den Einzelzuteilern unter der Förder- schnecke angebaut. Der Antrieb von Ventilator und Förder- schnecke erfolgt durch einen gemeinsamen Motor. Bei Einzel- brennern werden gewöhnlich Stufenscheiben zur Veränderung der Förderleistung angeordnet.

Die Ausbildung der Brennkammer gehört zu den wich- tigsten konstruktiven Aufgaben einer Kohlenstaubfeuerung. Die Flamme muß so geführt werden, daß die Staubteilchen, deren Feinheit mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der Staubaufbereitung innerhalb einer bestimmten Grenze ge- halten wird, vollkommen ausbrennen, ehe sie mit den Kessel- rohren in Berührung kommen. Bei geringem Gasgehalt der Kohle muß für feinere Ausmahlung, gute Durchmischung des Brennstoffes mit der Luft, gleichmäßige und gut verteilte Zuführung des Brennstoffes gesorgt und danach die Form und Größe des Feuerraumes bestimmt werden. Die Wärmebelastung des Feuerraumes in kcal/m³h richtet sich nach der verlangten Dampfleistung und der Konstruktion des Feuerraumes. Für die Form des Feuerraumes ist die Einblasegeschwindigkeit und Länge der Flamme maßgebend. Bei der Ausgestaltung der Feuerräume muß eine gute Abstrahlung auf die Heiz- flächen beachtet und die Berührung der Flamme mit dem Mauerwerk vermieden werden.

Bei der Dimensionierung des Feuerraumes läßt man Tem- peraturen in der Brennkammer zu, die an der Vorderwand 1450°, vor den Kesselrohren 1250° nicht überschreiten. Der CO₂-Gehalt beträgt hierbei 14—15% im ersten Rohrbündel. Man erreicht diesen Gleichgewichtszustand zwischen frei- werdender Wärme und wirklicher Feuertemperatur durch die Auskleidung eines Teils der Brennkammer mit Kühlrohren

und Freilegen eines gewissen Teils der Heizfläche nach dem Feuerraum zu.

Handelt es sich um Brennstoffe mit wenig flüchtigen Bestandteilen, so darf man die Auskleidung mit wassergekühlten Wänden nicht zu weit treiben, damit die Flamme bei geringer Belastung nicht vorzeitig erlischt und Verluste an Brennbarem durch Flugkoks eintreten. Nach einem besonderen, der AEG geschützten Verfahren können Teile der wassergekühlten Flächen durch späteres Aufhängen von Schamotteformsteinen der Bestrahlung wieder entzogen werden, so daß bei einem späteren Brennstoffwechsel keine schwierigen Abänderungen notwendig werden.

Das Brennkammergerüst wird aus kräftigen Profileisen konstruiert und an das Kesselgerüst angeschlossen.

Das Schamottematerial für die Brennkammern muß besonders sorgfältig ausgesucht werden. Die Wände der Brennkammern werden heute im allgemeinen senkrecht ausgeführt. Die Steine werden an dem Brennkammergerüst verankert, so daß die Brennkammer unter allen Umständen frei arbeiten kann. Die Wände werden, soweit in der Brennkammer keine Seitenwandkühlung vorgesehen ist, hohl ausgebildet und Sekundärluft durch diese Kanäle zur Kühlung der Wände geleitet. Die Sekundärluft tritt durch die Stirnwand in die Brennkammer ein. Das Mauerwerk muß mit Dehnungsfugen gesetzt werden, um bei den auftretenden Temperaturschwankungen genügende Elastizität zu besitzen. In der Vorderwand werden zuweilen noch Gas- oder Ölbrenner zum Anheizen des Kessels oder für Zusatzbetrieb vorgesehen. Die Feuerraumdecke wird aufgehängt. Jeder Stein der Decke kann einzeln ausgewechselt werden.

Die Mühle ist ein Schnellläufer von sehr einfacher Bauart, mit einer einzigen Mahlkammer und Windsichtung (Abb. 14). Die Rohkohle wird durch eine regelbare Aufgabevorrichtung aus dem Bunkerauslauf in die Mahlkammer gefördert. Eisenteile und andere nicht mahlbare Körper sammeln sich in einem besonderen Kasten unterhalb der Mahlkammer. Außerdem kann ein Magnetscheider in die Aufgabevorrichtung eingebaut werden. Das Schlagrad ist mit auswechselbaren Schlägern versehen und fliegend angeordnet; die Welle ist so

kräftig, daß keine Schwingungen auftreten können. Die fliegende Anordnung des Schlagrades hat den Vorteil, daß das Schlagrad mit wenigen Handgriffen und in sehr kurzer Zeit ausgewechselt werden kann. Sind die Schläger abgenutzt, so wird das ganze Rad ausgebaut und durch ein neues ersetzt.

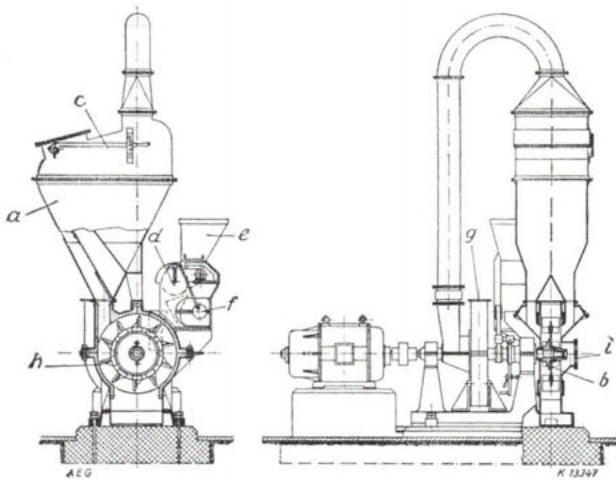


Abb. 14. AEG-Kohlenstaubmühle.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| <i>a</i> = Windsichter, | <i>f</i> = Klinkertrieb der Aufgabe. |
| <i>b</i> = Mahlkammer, | <i>g</i> = Mühlengebläse, |
| <i>c</i> = Hebel für Prallplatte, | <i>h</i> = Schlagrad. |
| <i>d</i> = Magnettrommel, | <i>i</i> = Heißluftstutzen in der Mahlkammertür. |
| <i>e</i> = Speisetrichter, | |

Die Mahlbahn ist aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt. Im Deckel der Mahlkammer sitzt ein Schieber, durch den die Sichterluft geregelt wird. Auf der gleichen Welle mit der Mühle sitzt ein Ventilator, welcher den feinen Staub durch die Saugleitung aus dem Staubabscheider zieht, der unmittelbar auf der Mühle sitzt. Das Gemisch von feinem und grobem Staub tritt unter einer Lippe in den Staubabscheider und wird gegen ein Prallblech geschleudert. Durch die Neigung des Prallblechs läßt sich die Feinheit des abgesaugten Staubes einstellen. Die Grieße fallen in die Mühle zurück. Die Luftmenge, die den brennfertigen Staub aus dem Sichter zum Ventilator fördert, läßt sich durch eine Drosselklappe

regeln. Der Ventilator drückt den Staub, der genügend fein ausgemahlen ist, durch die Druckleitung der Feuerung zu.

Die Mühle verarbeitet Kohle mit 3% grober Feuchtigkeit ohne besondere Vorrichtung. Bei höherem Wassergehalt wird der Mühle Heißluft zugeführt, die nach einem besonderen Verfahren dem Feuerraum an einer Stelle entnommen wird, an der sie noch nicht mit inerten Gasen angereichert ist.

Die Vorteile der Mühle sind: geringer Kraftbedarf, leichtes und schnelles Auswechseln der abgenützten Teile, geringer Platzbedarf, leichte Fundamente, einwandfreie Vermahlung eines Mahlgutes mit hohem Feuchtigkeitsgehalt und äußerst einfache, kräftige Bauart. Die Mühle eignet sich besonders für das direkte Einblasen in die Feuerung ohne Zwischenbunkerung.

Für die Verteilung des Staubes auf mehrere Verbraucher hat die AEG Drei-, Vier- und Mehrwegeschieber ausgebildet, die von Hand oder elektrisch bedient werden können. Zur Überwachung des Füllvorganges sind besondere Strömungsanzeiger entwickelt worden. Die Strömungsanzeiger können mit elektrischer Fernanzeigevorrichtung versehen werden, um dem Pumpenwärter eine Kontrolle über das Arbeiten der Staubförderanlage zu ermöglichen. Der Füllungsgrad kann von Hand durch Abtasten mit einem Staubfühler festgestellt werden. Für größere Bunker und Fernübertragung der Anzeige kommen Staubstandsanzeiger in Frage, die in der Bunkerwand in verschiedenen Höhen eingebaut werden. Der Druck des Staubes auf die Bunkerwände betätigt Membrane und Kontakte, die Lampen an einer Schalttafel einschalten. Bei einer entsprechenden Anordnung der zu den Membranen gehörigen Lampen auf der Schalttafel wird der Füllungsgrad des Bunkers sichtbar gemacht.

Um ein Zusammenballen des Staubes bei langem Lagern zu verhindern, lassen sich Luftauflockerungsvorrichtungen vorsehen, die den Staub in angemessenen Zwischenräumen auflockern.

Abb. 15—20 zeigen die Elemente der Babcock-Kohlenstaubfeuerung, und zwar Abb. 15 den Trommeltrockner, Abb. 16 die Ringwalzenmühle, Abb. 17 eine Zuteilschnecke mit Motorantrieb, Abb. 18 die Brenndüse, Abb. 19 den Se-

kundärluftregler und Abb. 20 zuletzt eine Babcock-Kohlenstaubfeuerung für 2 Kessel von je 250 m² Heizfläche.

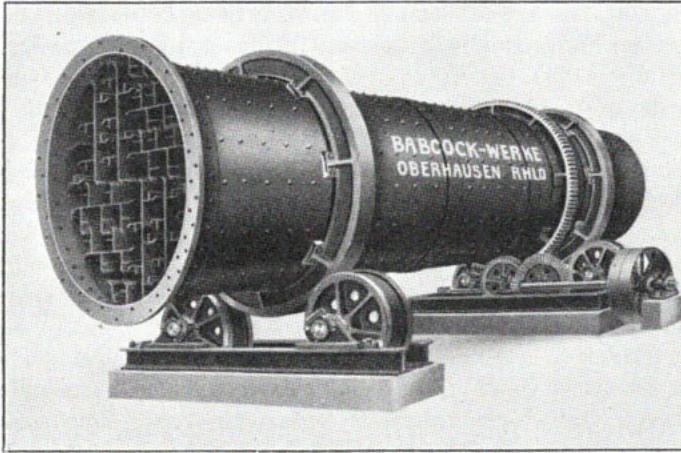


Abb. 15. Babcock-Trommeltrockner.

Das kennzeichnende Merkmal der indirekt geheizten Trockentrommel liegt darin, daß die Heizgase erst den Mantel der Trommel von außen umspülen und dann mit stark ver-

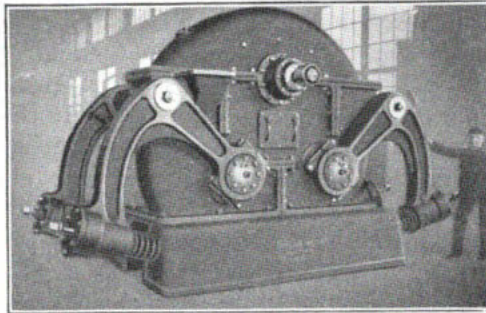


Abb. 16. Babcock-Ringwalzenmühle.

mindeter Temperatur unmittelbar mit der zu trocknenden Kohle in Berührung kommen, so daß die flüchtigen Bestandteile der Kohle nicht ausgetrieben werden können. Eine Ent-

zündung der Kohle ist hierbei nicht möglich, weil die Flamme nicht in Berührung mit dem Trockengut kommt. Der Kraftverbrauch der Trockentrommel ist gering, da sämtliche Lager in Rollen laufen und nur ein einziger Antrieb für das gesamte Trockenaggregat benötigt wird.

Die Herstellung des Brennstaubes erfolgt in einer Mühle, deren Bauart sich sowohl nach der Art des zu verwendenden Brennstoffes wie auch nach der geforderten Leistung richtet. Für weniger harte Kohle und für Mahlleistungen bis zu 5 t stündlich sieht Babcock einen Kohlenzerstärber vor, welcher in sich Mahlgutauflage,

Eisenabscheidung, Trocknung, Vorzerkleinerung, Feinmahlung, Staubsichtung und Staubbförderung vereinigt und durch Kombination der Aufbereitungsanlage mit der eigentlichen Mühle und dem Förderventilator

niedrige Gesteungskosten des Brennstaubes ermöglicht.

Für harte Brennstoffe, wie Durchfallkohle, Koks usw. sowie für Mahlleistungen von $2\frac{1}{2}$ –20 t stündlich, kommt die in Abb. 16 dargestellte Ringwalzenmühle in Betracht, die sich sowohl als Einzelmahlanlage wie auch für eine zentrale Staub-

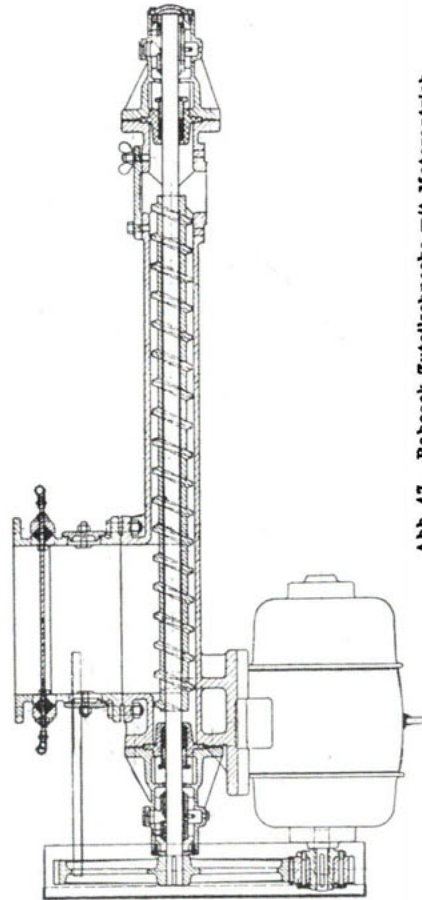


Abb. 17. Babcock-Zutellschnecke mit Motorantrieb.

aufbereitung eignet. Sie arbeitet in Verbindung mit einem Exhaustor, der die Sichtung des fertigen Staubes vom Grieß und die Ausscheidung von Steinchen und Eisenteilen durch einen Luftstrom bewirkt.

Die Ringwalzenmühle besteht aus einem im Gehäuse umlaufenden Mahlring aus Hartstahl und aus drei gegen dessen Innenfläche gepreßten Hartstahl-Mahlwalzen, von denen die obere zum Antrieb dient. Auf der oberen Antriebswalze liegt der Mahlring auf, der von der Antriebswalze durch Reibung

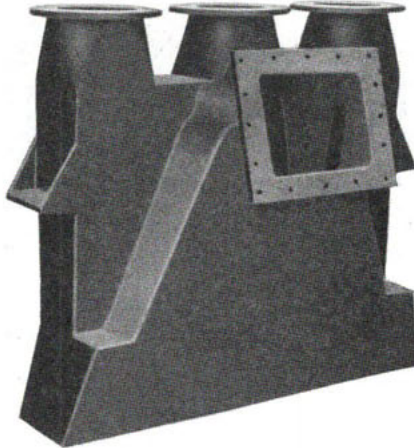


Abb. 18. Brenndüse, Bauart »Babcock«.

in Umdrehung versetzt wird. Der umlaufende Mahlring treibt seinerseits wieder die beiden unteren Mahlwalzen an, deren Anpressungsdruck durch Federn regelbar ist.

Bei einer zentralen Staubaufbereitung muß der Kohlenstaub von der Erzeugungsstelle mittels geeigneter Transportvorrichtungen zu den einzelnen Verbrauchsstellen mit einer Staumpumpe befördert werden. Dieselbe arbeitet nach dem Emulsionsprinzip. Ihr besonderes Kennzeichen besteht in der Verwendung von Düsen mit verschiedenen großen Querschnitten, von denen jeweils eine Reihe von gleicher Größe eingeschaltet werden kann. Hierbei entsteht ein augenblicklicher Luftstromwechsel unter Beibehaltung des gleichen Luftdruckes. Die der

Mischdüse zugeführte Luft steht je nach der Förderlänge unter einem Überdruck von 1—3,5 at. Die erforderliche Luftmenge beträgt 15—20 m³ je Tonne Staub.

Zur Vermeidung von Staubverlusten wird hinter dem Staubabscheider ein Filter eingeschaltet, welches den in der Abluft enthaltenen Staub restlos abscheidet.

Der Kohlenstaub wird der Brenndüse an den einzelnen Verbrauchsstellen durch Zuteilschnecken (Abb. 17) in genau regelbaren Mengen zugeführt, nachdem er mit einer bestimmten Menge vorgewärmter Verbrennungsluft vermischt wurde.

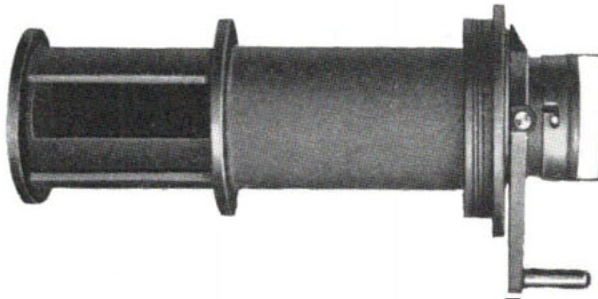


Abb. 19. Sekundärluftregler, Bauart »Babcock«.

Abb. 18 zeigt die Babcock-Brenndüse. Die restliche, zur vollkommenen Verbrennung erforderliche Luftmenge wird in vorgewärmtem Zustande mittels des in Abb. 19 dargestellten Sekundärluftreglers durch die Brennkammerwände eingeführt.

Die feuerfeste Ausmauerung der Brennkammer wird den Eigenschaften der anfallenden Schlacke angepaßt und entweder durch einen Luftstrom oder durch wasserführende Rohre gekühlt, die der feuerfesten Ausmauerung vorgelagert oder in ihr eingebettet werden. Die Bemessung der Kühlmittel erfolgt unter Berücksichtigung der Zündgeschwindigkeit des Brennstoffes.

Abb. 20 läßt die Ausbildung der Brennkammer erkennen.

Ein anderes Kühlmittel für die Brennkammer ist der Strahlungsüberhitzer, der aus einer Anzahl nahtloser gekrümmter Rohre von 30—50 mm l. Dmr. besteht, die frei vor der feuerfesten Ausmauerung der Brennkammer liegen und

beiderseits in geschützt liegende Sammelkästen münden. Der durch den Strahlungsüberhitzer strömende Dampf kühlt das Rohrsystem bzw. die Brennkammer und wird dabei überhitzt. Die Vorteile des Strahlungsüberhitzers bestehen in der leichten Unterbringung der Überhitzerheizfläche, in der Schonung der Brennkammer-Ausmauerung und in der Vermeidung von Zugverlusten im Kessel.

Zuletzt sei die Lopulco-Kohlenstaubfeuerung beschrieben:

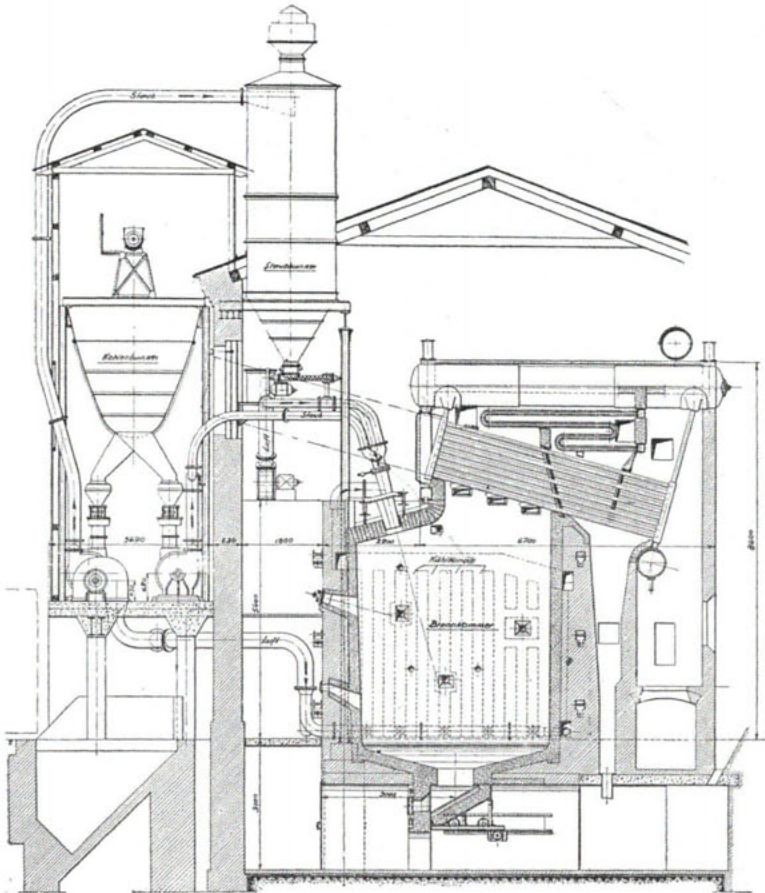


Abb. 20. Babcock-Kohlenstaubfeuerung für 2 Kessel von je 250 qm Heizfläche.

Der Kohlenstaub wird vertikal von oben in die entsprechend bemessene Verbrennungskammer eingeblasen, entzündet sich durch die strahlende Wärme der Kammerwände und brennt zunächst infolge der Strömungsenergie nach abwärts, bis der natürliche Auftrieb die Flamme nach oben umlenkt. Hierdurch wird der erforderliche lange Flammenweg erzielt, der zum vollkommenen Ausbrennen der Kohlenstaubteilchen wesentliche Voraussetzung ist.

Ein Teil der Luft wird primär mit dem Kohlenstaub, der Rest — etwa 85 vH der Gesamtluft — absatzweise — entsprechend dem allmählichen Fortschreiten der Verbrennung — durch Schlitze in der Stirnwand der Brennkammer zugesetzt. Diese Art der Luftzuführung, welche eine weitere Voraussetzung für eine restlose Verbrennung bei höchstem Wirkungsgrad ist, ermöglicht es, daß jedes Kohlenstaubteilchen zur richtigen Zeit die richtige Sauerstoffmenge erhält und daß eine Verbrennung mit geringstem Luftüberschuß erreicht wird. Die Wichtigkeit dieser Zuführung ist aus dem Vorgang ersichtlich, den jedes Staubteilchen bis zur restlosen Verbrennung durchlaufen muß: Der mit Primärluft gemischte Staub wird beim Eintritt in die Brennkammer durch Wärmestrahlung rasch so stark erwärmt, daß die flüchtigen Bestandteile der Kohle ausgetrieben werden. Sie verbrennen mit der Primärluft und erhitzen die schwebenden entgasten Staubteilchen, so daß diese sich entzünden und mit der stufenweise zugesetzten Sekundärluft verbrennen, die etwa den 14000fachen Raum eines Kohlenstaubteilchens aus reinem Kohlenstoff einnimmt.

Die Verbrennungsluft strömt durch die hohlen Wände des Feuerungsraumes. Diese werden dabei von der durchstreichenden Luft gekühlt, so daß die Verbrennung ständig mit geringstem Luftüberschuß und somit mit höchster Flammentemperatur durchgeführt werden kann, ohne daß eine schädliche Erhitzung des feuerfesten Mauerwerks eintritt. Hierbei wird die Verbrennungsluft gleichzeitig vorgewärmt, wodurch der Wirkungsgrad der Verbrennung weiter gesteigert wird.

Durch Ausführung der Brennkammerwände in zwei Schichten, von welchen die eine aus hochfeuerfester Schamotte,

die andere aus Isoliermauerwerk besteht, wird neben der Kühlung erreicht, daß trotz der hohen Temperatur auf der Innenseite die Außenwand nur mäßig warm ist und nur geringe Strahlungsverluste entstehen. Die Hohlwände sind so durchgebildet und verankert, daß die Lopulco-Bauart die betriebssichere Ausführung dünner Wände mit günstiger Wärmeübertragung auch für große Feuerungsabmessungen erreicht.

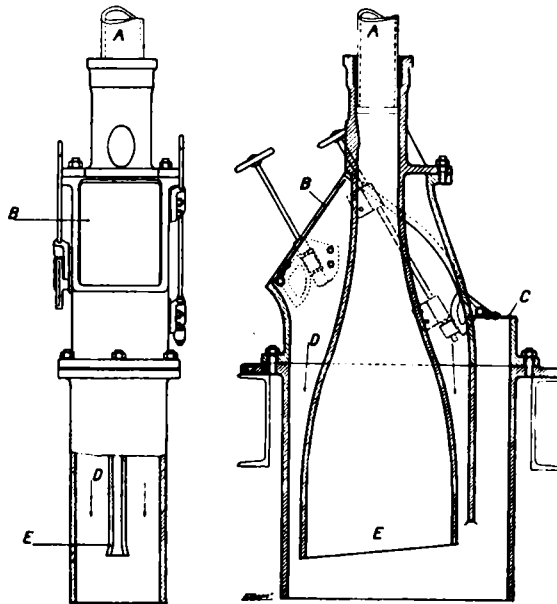


Abb. 21. Lopulco-Brenner.

A = Eintritt des Kohlenstaubes — B, C = Luftregelklappen —
D = Luftweg — E = Brennermündung.

Der Lopulco-Brenner ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Feuerung. Er ist im Gegensatz zu den sonst üblichen Rundbrennern mit flachem Mundstück ausgebildet (s. Abb. 21) und so eingebaut, daß die große Achse des Brenners senkrecht zur Stirnwand des Verbrennungsraumes steht. Bei dem flachen Kohlenstaubstrahl ist das Verhältnis der luftberührten Oberfläche zur Staubmasse günstiger als bei einem runden Staubkern, und durch die Art des Einbaues wird erreicht, daß die stufenweise eintretende Luft kammartig durch die Kohlen-

staubstrahlen hindurchtritt und so fortlaufend eine gute Durchmischung von Luft und Kohlenstaub gewährleistet.

Der Wasserrohrrost besteht aus einer Reihe nebeneinanderliegender Rohre von 100 mm Dmr., die etwas oberhalb des Aschensacks quer durch die Verbrennungskammer hindurchgehen (Abb. 22). Die Rohre sind so

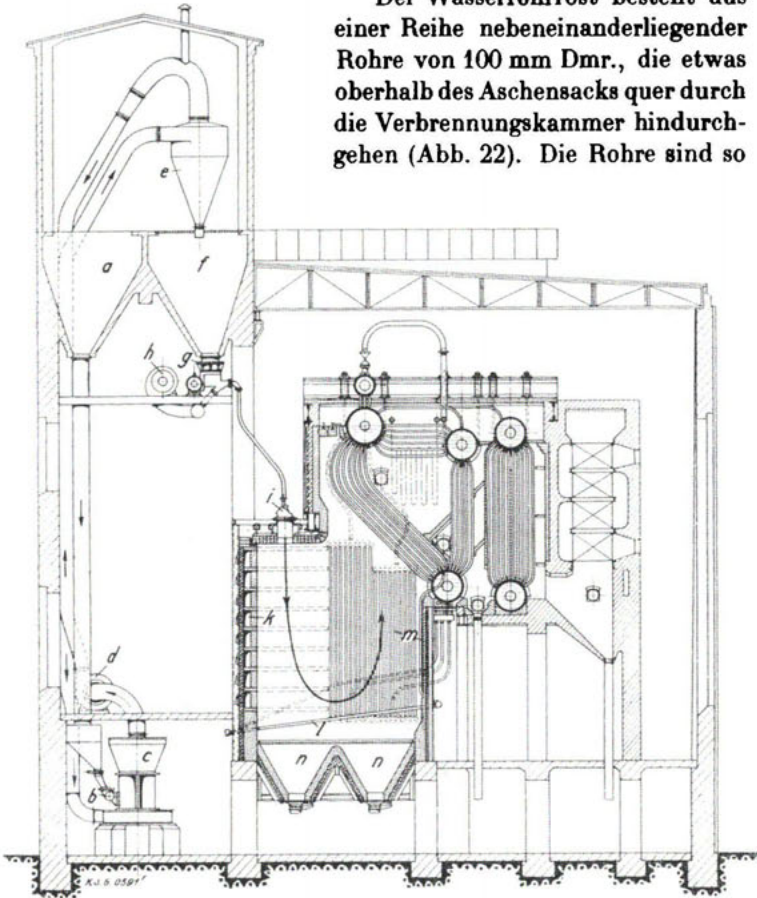


Abb. 22. Schnitt durch eine Kesselanlage mit Lopulco-Staubfeuerung und Mahlanlage.

an den Kessel angeschlossen, daß das durchströmende Wasser den Wasserumlauf unterstützt.

Bei größeren Feuerungen, deren Wände durch die Flammenstrahlung hoch beansprucht werden, und dort, wo verschiedene Brennstoffsorten mit teilweise niedrigem Aschen-