

WARMWASSER

ERZEUGUNG UND VERTEILUNG

EIN HAND- UND LEHRBUCH
FÜR INGENIEURE, ARCHITEKTEN
UND STUDIERENDE

VON

WILHELM HEEPKE

GEWERBE-STUDIENRAT
BEHÖRDL. VERPFL. SACHVERSTÄNDIGER
UND BERAT. INGENIEUR
FÜR GESUNDHEITSTECHNISCHE UND FEUERUNGSANLAGEN

DRITTE, NEUBEARBEITETE AUFLAGE

MIT 427 TEXTABBILDUNGEN
UND 90 ZAHLENTAFELN



MÜNCHEN UND BERLIN 1929
VERLAG VON R.OLDENBOURG

Druck von R. Oldenbourg, München.

Seinem einstigen Lehrer

Herrn Geheimen Baurat Dr.-Ing. e. h. Otto Berndt

ordentl. Professor i. R. der Technischen Hochschule zu Darmstadt

in Dankbarkeit und Verehrung zugeeignet

Vorwort zur 1. Auflage.

Mit dem Ausbau der Gesundheitstechnik hat sich im Laufe der Zeit eine so große Zahl von Systemen der Warmwasserbereitungs- und -versorgungsanlagen herausgebildet, daß es weniger eingeweihten Interessenten schwer werden kann, sich in diesem Gebiete zurechtzufinden oder sich einen Gesamtüberblick zu verschaffen. Es kann daher jedem Fachmann und Laien, der ein ständiges wie auch nur vorübergehendes Interesse für diesen Zweig der Gesundheitstechnik hegt, willkommen sein, die Warmwasseranlagen in ihren Systemen und Einzelheiten gesammelt, geordnet und scharf gegliedert vor sich zu sehen. In mir selbst als praktischem und beratendem Ingenieur der Gesundheitstechnik bestand schon seit langem ein derartiger Wunsch. So habe ich denn seit einigen Jahren all die Erfahrungen und das Material gesammelt, die ich mir selbst in meiner Tätigkeit erworben habe und die mir gesundheits-technische und Firmen anderer Branchen in liebenswürdigster Weise zur Verfügung stellten; ich spreche diesen Firmen an dieser Stelle hierfür nochmals meinen verbindlichsten Dank aus. Auch dazu angeregt von verschiedenen Seiten, übergebe ich das Gesammelte in diesem Werke der Öffentlichkeit in der Hoffnung, viele Wünsche damit erfüllt und der vornehmsten technischen Wissenschaft, der Gesundheitstechnik, einen Dienst erwiesen zu haben.

Das Werk behandelt ausschließlich die Anlagen, welche warmes Wasser zu Genußzwecken und für wirtschaftliche und gewerbliche Zwecke erzeugen. Gänzlich unbeachtet gelassen sind die Speisewasser-Vorwärmanlagen der Kraftdampfkessel, da selbige ja mit der Gesundheitstechnik an sich nichts zu tun und in Büchern über Dampfkessel schon hinreichend Beachtung gefunden haben. Übrigens ist auch diesem Werke sehr viel Zutreffendes für die Speisewasser-Vorwärmer zu entnehmen.

Des weiteren finden die Badeanlagen, die bisher meist üblich den Warmwasserversorgungsanlagen direkt zugerechnet werden (oder auch umgekehrt diese jenen), nur die Beachtung, welche sie aus irgendeinem Grunde besonderer Warmwassererzeugung bzw. -versorgung erheischen und welche ihnen als passendes oder abwechslungsreiches Beispiel für ein bestimmtes Warmwassererzeugungssystem geschenkt werden kann.

VI

Eine Abhandlung über Badeanlagen darf sich meines Erachtens nicht nur allein mit den Warmwasserbädern befassen, wenn diese auch wohl den größten Prozentsatz aller Badeanlagen ausmachen, sondern es müßten auch all die vielen hochwichtigen Ausführungen berücksichtigt werden, die ihre Bedeutung in anderen Badestoffen als in warmem Wasser tragen.

Schließlich sei auch noch vermerkt, daß nach obigen einleitenden Worten dieses Werk keine allgemeine wie kritische Abhandlung über Warmwasserheizungen geben soll; dafür kommen die guten Bücher der speziellen Heiztechnik in Betracht.

Leider war es mir nicht möglich, die Berechnungen der einzelnen Teile in deren Abschnitte gleich mit aufzunehmen. Der Hauptgrund liegt darin, daß sich z. B. die Berechnung der Kessel, Öfen usw. einerseits und die der Heizeinsätze der Warmwasserbehälter andererseits nicht trennen lassen, ohne sich nicht unnötigerweise zu wiederholen; ebenso verhält es sich mit der Berechnung der Blechstärken usw. Aus diesem Grunde ist die Berechnung für Heizkörper aller Art in besonderem Kapitel für sich zusammengefaßt, welchem dann die Berechnungen der übrigen Konstruktionsteile als weitere Kapitel angeschlossen sind.

Wilhelm Heepke.

Vorwort zur 3. Auflage.

Die schnellebige Zeit der letzten Jahre mit ihren sich fast überstürzenden Neuerungen hat auch auf dem Gebiet der Warmwasserbereitung und -versorgung manche Änderung, Verbesserung, Vervollkommnung und Neuerung gebracht. Diesen Verhältnissen mußte daher bei der Bearbeitung dieser Neuauflage Rechnung getragen werden. Besonders waren die Abschnitte über Abwärmeverwertung, Gas- und elektrische Heizung, Wasseraufbereitung, Warmwasseraufspeicherung, Meßwesen und Wärmeschutz vollständig neu zu bearbeiten. Um dadurch den Umfang des Buches nicht zu stark anwachsen zu lassen, sind die Abhandlungen über Brennstoffe, Heizkessel und über all das, was sich in der reinen Heizungstechnik in gleicher oder fast ähnlicher Art wiederfindet, ganz erheblich gekürzt. Ich hoffe, daß solche Beschneidung der Neuauflage nicht zum Schaden ist und ich den Einwänden verschiedener Kritiken zur letzten Auflage dadurch gerecht geworden bin.

Die Abbildungen haben dank des großzügigen Entgegenkommens des Verlages endlich ein gleichmäßigeres technisches Ansehen erhalten. Die DI-Normen sind in weitgehendster Weise berücksichtigt und an den zuständigen Stellen vermerkt; desgleichen ebenfalls die neuesten Gesetze und Vorschriften über Warmwasseranlagen. Letztere sind in ihren Titeln in einem Schlußabschnitt nochmals übersichtlich zusammengestellt. Hinweise auf weiteres Schrifttum über diese Materie insgesamt wie auch über einzelne Stoffe derselben finden sich in ausgiebiger Weise in Fußnoten vermerkt. Im übrigen wird bezüglich Entstehen, Umfang und Durchführung des Buches auf das hier nochmals vorangestellte Vorwort zur 1. Auflage hinverwiesen.

Den Herren Fachkollegen und den Firmen, die mich auch dieses Mal in liebenswürdiger Weise mit Hinweisen, Ratschlägen und Materialüberlassung freundlichst unterstützt haben, sei an dieser Stelle nochmals mein Dank zum Ausdruck gebracht. Besonderer Dank gebührt dem rührigen Verlag Oldenbourg, der keine Mühe und Opfer gescheut hat, in dieser teuren Zeit, da das ganze deutsche Wirtschaftsleben immer noch kränkelnd darnieder liegt, dem Buche ein würdiges Gewand zu verleihen. Meinem Buche ein »Glück auf« zur dritten Fahrt!

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Allgemeines vom Wasser und von der Wärme	2
II. Die Heizmittel	4
A. Die Brennstoffe	5
a) Die festen Brennstoffe. Wärme- und Dampfpreis. Verbrennungsvorgang. Die Feuerungsanlage	5
b) Die flüssigen Brennstoffe	14
c) Die gasförmigen Brennstoffe. Die Abgase	17
B. Die Elektrizität	30
C. Das Warmwasser und der Dampf	32
a) Das Frischwarmwasser, der Frischdampf	32
b) Der Abdampf.	35
c) Die warmen Abwässer. Kühlwasser, Kondenswasser	47
III. Die Warmwasseranlagen bezüglich des Umfanges und der Zapfstellenzahl. Die Lokal- und Zentralanlagen, die Fernwarmwasserversorgungen	50
IV. Die Systeme der Warmwassererzeugungs- und -verteilungsanlagen. Niederdruck- und Hochdrucksysteme	60
A. Die direkte Erwärmung des Wassers	63
a) Ohne Einschaltung eines besonderen Warmwasserbehälters	63
1. Die Warmwassererzeugung durch die Brennstoffe und Elektrizität in einem offenen Apparate	64
2. Die gleiche wie 1., aber in einem geschlossenen Apparate (die Gasöfen, elektr. Öfen).	65
3. Die Warmwassererzeugung durch Dampf oder Heißwasser in einem offenen Apparate (die Strahlgebläse)	70
4. Die gleiche wie 3., aber in einem geschlossenen Apparate (die Mischapparate).	71
5. Die gleiche wie 3. oder 4., aber im Gegenstromprinzip (Kaskadenapparate).	73
b) Mit Einschaltung eines besonderen Warmwasserbehälters	74
1. Anlagen mit offenem Warmwasserbehälter von konstantem Inhalt und mit Rückleitung	75
2. Wie 1., aber ohne Rückleitung	76
3. Anlagen mit offenem Warmwasserbehälter von veränderlichem Inhalt und mit Rückleitung.	77

	Seite
4. Wie 3., aber ohne Rückleitung	78
5. Anlagen mit geschlossenem Warmwasserbehälter von konstantem Inhalt und mit Rückleitung.	79
6. Wie 5., aber ohne Rückleitung	80
B. Die indirekte Erwärmung des Wassers	81
a) Ohne Einschaltung eines besonderen Warmwasserbehälters	81
1. Anlagen, betrieben mit Abgasen und Elektrizität (die Rauchgasapparate, Economiser)	82
2. Anlagen, betrieben mit Dampf oder Heißwasser (Gegenstromapparate u. dgl.)	86
b) Mit Einschaltung eines besonderen Warmwasserbehälters	87
1. Anlagen mit offenem Warmwasserbehälter und mit Erwärmung des Verbrauchswassers innerhalb des Behälters	87
2. Wie 1., aber mit Erwärmung außerhalb des Behälters	89
3. Anlagen mit geschlossenem Warmwasserbehälter und mit Erwärmung des Verbrauchswassers innerhalb des Behälters	90
4. Wie 3., aber mit Erwärmung außerhalb des Behälters	94
V. Die Wärmequellen. Die Wärmeentwickler und Warmwassererzeuger	94
A. Die vorhandene Wärmequelle	95
a) Der Küchenherd, Waschkessel, Raumheizkörper und sonstige zu einem Betriebe dienende Feuerung	95
1. Der Küchenherd, betrieben durch die festen Brennstoffe. Die Heizschlange, die Heizflasche, der Küchenherdkessel	95
2. Der Waschkessel	108
3. Die Raumheizkörper	110
4. Die Feuerung eines gewerblichen und industriellen Betriebes	112
b) Die Zentralheizung	113
c) Die Kraftanlagen	117
B. Die besonders eingerichtete und für sich bestehende Wärmequelle, die Extrafeuerung	119
a) Die Öfen für feste, flüssige Brennstoffe, Dampf oder Warmwasser	119
b) Die Kessel für feste Brennstoffe, Dampf oder Warmwasser; die Schmiedeeisen- (Boiler-), Gußeisen- und Kupferkessel	121
c) Die Gasöfen und die Kessel mit Gasfeuerung. Die offenen und geschlossenen Öfen. Die Kessel mit Einsatzgasfeuerung. Die Gaskessel	131
d) Die elektrischen Heizapparate und die Elektrokessel	159
C. Die Abgaswärmeverwerter	170
a) Die Economiser. Groß- und Kleineconomiser	170
b) Die Abgaswärmeverwerter der Heizungskessel und Kleinfeuerungen. Abgasboiler	172
c) Die Abwärmeverwerter der Verbrennungsmaschinen, Gaswerksöfen und ähnlicher industrieller Großfeuerungen	178
D. Die durch Heizwasser oder Dampf betriebenen Warmwassererzeuger	183
a) Die Gegenstromapparate. Die Apparate als Warmwasserspeicher und die mit kleinem Wasserraume	183
b) Die Strahlgebläse. Offene und geschlossene Gebläse	200
c) Die Mischapparate. Die eingriffigen und zweigriffigen Apparate.	

Das Rohrgabelstück, die Mischventile, die Mischhähne, die selbsttätigen Mischapparate, die Mischgefäße	208
d) Die Kaskadenapparate.	220
E. Die Vereinigung von Wärmequellen. Die Zusatzheizung.	222
VI. Die Wasserquelle	226
A. Der Wasserdruck	226
B. Die Wasserbeschaffenheit. Kesselstein, Korrosion	228
C. Die Zuführung des Kaltwassers zu der Warmwasseranlage	236
VII. Die Wasserbehälter	238
A. Die Warmwasserbehälter. Die offenen und geschlossenen Behälter (Boiler)	239
a) Die Vor- und Nachteile und die Arbeitsweise	239
b) Die Ausführung der Warmwasserbehälter. Die offenen und geschlossenen Behälter, die Heizeinsätze und Heizmäntel; die Wahl, Lagerung der Behälter	242
c) Die zusammengesetzten Behälter	259
B. Die Kaltwasserbehälter, die Füllgefäße.	263
C. Die Größenverhältnisse der Behälter.	266
VIII. Die Rohrleitungen. DIN-Blätter	268
A. Die Kaltwasserzuleitung	270
B. Die Warmleitungen	272
a) Die Heizleitung. Die Zirkulationsheizleitung der Anlagen mit Warmwasserbehälter	272
b) Die Gebrauchsleitung. Die Zirkulations-Umlaufleitung	274
c) Die Ausführung und Verlegung der Rohrleitungen. Die nicht-begehbaren und begehbaren Kanäle der Fernanlagen	277
d) Die Umlaufpumpen (Umwälzpumpen)	283
C. Die Nebenleitungen	291
a) Die Sicherheitsleitung und Wechselvorrichtungen	291
b) Das Überlaufrohr	295
c) Das Signalrohr und Anzeigerrohr	298
d) Das Luftrohr. Die Entlüftung	299
D. Die Gasleitung	300
E. Die beweglichen Rohrleitungen	302
IX. Die Regulier-, Sicherheits-, Meß- und Kontrollvorrichtungen	302
A. Die Regler und Sicherheitsvorrichtungen. Die Regelung von Hand. Die Verteiler (Ventilstöcke)	303
Die selbsttätigen Reguliervorrichtungen	306
a) Die Regler für die Kaltwasserzufuhr und die Erhaltung eines konstanten Wasserdruckes. Die Schwimmerventile, selbsttätigen Speiseapparate, Sicherheitsventile, Druckverminderungsventile	307
b) Die Regler für die Erhaltung einer bestimmten Temperatur des Gebrauchswassers	311
1. Die Regler für die Luftzufuhr. Die Zugregler ¹⁾	312
2. Die Regler für die Dampf- und Heizwasserzufuhr. Die Hebel- und Federwerkregler. Die Tauchkörperregler	319
c) Die Regler für Einhaltung eines festgesetzten Dampfdruckes. Die Sicherheitsventile, Dampfdruck-Verminderungsventile, Standrohre, Ministerialerlasse	324

¹⁾ Auf S. 319 muß für ξ der Wert 0,00115 (nicht 0,0015) eingesetzt werden.

XII

	Seite
d) Die Regler für die Ausgleichung der Volumänderung des Wassers	330
1. Die Ausdehnungsregelung des Heizwassers. Das Ausdehnungsgefäß, besondere Ausdehnungsvorrichtungen	331
2. Die Ausdehnungsregelung des Gebrauchswassers bei Niederdruck, Hochdruck. Das Luftpufferkissen	335
e) Die Regler der Gas- und elektrischen Warmwasserbereiter . . .	339
1. Die Regler der Gasapparate	339
2. Die Regler der elektrischen Warmwasserbereiter	340
B. Die Meßinstrumente und Kontrollvorrichtungen	340
a) Das Messen der Wassertemperatur. Die Thermometer, Fernthermometer	341
b) Das Messen und Prüfen des Wasserstandes bzw. Wasserdruckes. Das Wasserstandsglas, der Schwimmer, die Probierhähne, Hydrometer, Differentialmanometer.	346
c) Das Messen der Wassermenge. Die Wassermesser	350
d) Das Messen des Dampfdruckes. Die Manometer	353
e) Das Messen der Dampfmenge. Die Dampfmesser	353
f) Das Messen des Gasdruckes	354
g) Das Messen der Gasmenge.	355
h) Der Wärmezähler	356
i) Die Feuerungskontrolle	357
k) Die Fernanzeiger- und Signalanlagen	358
X. Der Wärmeschutz für die Konstruktionsteile	360
A. Die Wärmeschutzmittel; ihre Beschaffenheit, Anwendung und ihr Verbrauch	361
a) Die plastische Wärmeschutzmasse	362
b) Die Schalen, Platten und Steine	363
c) Die Schnüre und Zöpfe	363
d) Die Füllisolationstoffe	365
e) Untergeordnete Wärmeschutzmittel	365
B. Allgemeine und besondere Ausführungen an Warmwassererzeugern, Behältern und Rohrleitungen	365
C. Leistung und Wirkungsgrad der Wärmeschutzmittel. Wirtschaftlichste Isolierstärke. Beispiele	369
XI. Die Deckung, Aufspeicherung und Größe der erforderlichen Wärmemenge	379
A. Die Deckung und Aufspeicherung der Wärmemenge. Die Warmwasser-Großspeicher. Beispiele	379
B. Die Größe der erforderlichen Wärmemenge	388
a) Die Größe des Verbrauches und der Temperatur des Warmwassers. Die Wassermengen. — Die Wassertemperaturen	388
b) Die Bestimmung der erforderlichen Wärmemenge	398
c) Beispiele	400
XII. Die Berechnung der Konstruktionsteile mit Beispielen . .	403
A. Die Berechnung der Heizkörper. Die Grundgleichung. Der Transmissionskoeffizient. Der Temperaturunterschied	403
a) Die Wasserheizkörper mit eigener Feuerung. Wasserkessel, -öfen, Feuerschlangen, Herdflaschen	406

	Seite
b) Die Wasserheizkörper, betrieben durch Gas. Gasöfen, Gaskessel	415
c) Die Wasser- und Dampfheizkörper, betrieben durch Elektrizität	422
d) Die Wasserheizkörper, betrieben durch Heiß- oder Warmwasser. Heizeinsätze, Gegenstromapparate	427
e) Die Wasserheizkörper, betrieben durch die Abgase einer häuslichen und gewerblichen Feuerung. Ekonomisersystem. Abgasöfen und -kessel	434
f) Die Wasserheizkörper, betrieben mit Frischdampf oder Abdampf. Röhren- und Gegenstromapparate, Heizeinsätze	443
1. Frischdampf als Heizmittel	443
2. Abdampf als Heizmittel	445
g) Die Wasser- und Dampfheizkörper, betrieben durch die Abgaswärme der Verbrennungsmotoren und Industrieöfen	454
1. Die Abgaswärme der Motoren für flüssige Brennstoffe. Die Dieselmotoren	454
2. Die Abgaswärme der Motoren für gasförmige Brennstoffe. Die Gaskraftmaschinen	458
3. Die Abgaswärme der Industrieöfen, Gaswerksöfen u. dgl. Abhitzekessel.	459
h) Die Dampfheizkörper mit eigener Feuerung. Dampfkessel	470
i) Die Dampfheizkörper, betrieben durch Frischdampf. Heizeinsätze in Kesseln, Öfen, Behältern oder Gegenstromapparaten	473
B. Die Berechnung der Rohrleitungen	476
a) Die analytische Berechnung	478
b) Die Berechnung mit Hilfe von Tabellen.	483
c) Die Berechnung der Hauptrohrleitungen der Fern-Warmwasserversorgungsanlagen	494
d) Die Umlaufpumpe	498
e) Beispiele	501
C. Die Berechnung der Behälter, der Blechstärken, der Vernietung und Verschraubung	517
a) Die Behältergröße	517
b) Die Blechstärken der Behälter und Röhren	523
c) Die Vernietung und Verschraubung.	527
d) Beispiele	529
D. Die Berechnung des Ausdehnungsgefäßes, des Schwimmers und der Abschlußorgane	536
a) Das Ausdehnungsgefäß	536
b) Der Schwimmer und das Schwimmerventil.	537
c) Die Sicherheitsventile	539
1. an Warmwassergefäßen	539
2. für niedrig gespannten Dampf	541
3. für Hochdruckdampf	543
4. Die Belastung der Sicherheitsventile	543
5. Beispiele	545
d) Die Druckverminderungsventile. Beispiele	548

XIV

	Seite
XIII. Allgemeine Tabellen	551
Tabelle I. Ausdehnung und spez. Gewicht von 1 l Wasser	551
• II. Werte $a = \frac{\gamma'' - \gamma'}{0,5 (\gamma' + \gamma'')}$	551
• III. Temperatur, Wärme und Gewicht des gesättigten Wasserdampfes	552
IV. Stahlröhren	554
1. Gasröhren	554
2. Siederöhren	554
XIV. Vorschriften, Verordnungen, Vereinbarungen, Anleitungen. Wirtschaftliches Schrifttum	556
A. Vorschriften, Verordnungen usw.	556
B. Wirtschaftliches Schrifttum	557
Alphabetisches Sachregister	558

Einleitung.

Langjährige Statistiken haben nachgewiesen, daß der tägliche Wasserbedarf auf den Kopf der Bevölkerung $100 \div 120$ l beträgt; davon entfallen auf die Haushaltungen allein $\sim 70\%$. Das übrige Wasser dient gewerblichen und öffentlichen Zwecken, zur Straßenreinigung usw. Von dem Haushaltswasser kommt wieder der geringste Teil im kalten Zustande zur Ausnutzung. Die größte Menge wird als Warmwasser gebraucht. Es liegt daher im Haushalte, Wirtschafts- und Gewerbebetriebe, im Privathause, in öffentlichen Gebäuden und Fabriken ein unabweisbares stetiges Bedürfnis vor, des öfteren oder sogar zu jeder Zeit warmes Wasser reichlich zur Verfügung zu haben. Der Verwendungszweck des warmen Wassers ist dabei ein äußerst mannigfacher: sei es zur Speisebereitung im einfachen Haushalte, in Kaffee- und Gasthäusern, zum Spülen und Reinigen von Geschirr und Wirtschaftsgegenständen, zum Waschen von Körperteilen und Bekleidungsstücken, sei es für Hausbäder und Badeanstalten, in Fabriken der chemischen und Textilbranche, in Brauereien, Schlachthäusern, Fleischereien, Bäckereien, Destillationen, Raffinerien usw., in Friseur- und anderen Geschäften, oder sei es schließlich in Stallungen und landwirtschaftlichen Gehöften. Gemäß eines derart großen Absatzgebietes und wegen der hohen wirtschaftlichen Bedeutung für den Haushalt, das Gewerbe und die Technik ergibt sich ohne weiteres, daß die Warmwasserbereitung und -versorgung eine Wohlfahrtseinrichtung erster Ordnung ist und sich als ein weiterer besonderer Zweig der Gesundheitstechnik hat ausbilden müssen.

Auf den ersten Blick hin mag ja für manchen eine Warmwasserbereitungsanlage neuzeitlicher Ausführung höchst überflüssig erscheinen. Jedoch ebenso wie jetzt eine moderne Wohnung mit Kaltwasserzapfstellen bis in die obersten Stockwerke hinein und zu den entlegensten Plätzen hin als selbstverständlich gefordert wird, ebenso wie die Räume eine vorzüglich arbeitende Heizanlage besitzen sollen, so mußte sich auch das Verlangen nach einer regelrechten Warmwasserversorgungsanlage mit ausreichender Anzahl Zapfstellen immer fühlbarer machen. Die Gründe hierfür sind zu suchen einmal in dem Wunsche nach einem sparsameren Betriebe und in dem Verlangen, jederzeit eine genügend große Warmwassermenge zur Verfügung zu haben, und dann allgemein in dem

allmählich erweckten Verständnisse für solche Wohlfahrtseinrichtungen. Heutzutage werden fast alle Gebäude mit neuzeitlichen Einrichtungen, wie Zentralbeleuchtung, Zentralheizung, Lüftung, Be- und Entwässerung usw., ausgestattet; weshalb sollte man da nicht die Bereitung von warmem Wasser besser und bequemer gestalten, als es der einfache Kochtopf vermag, und um so mehr, als deren Bedienung in der Regel sehr einfach und leicht ist und selbst durch ein ungeschultes Dienstpersonal nebenbei mitbesorgt werden kann; abgesehen von den großzügig angelegten Betrieben, die gegebenenfalls eine besondere fachmännische Bedienung erheischen.

Dem Bedürfnis und den allgemeinen Anforderungen entsprechend, hat sich denn auch im Laufe der Zeit eine große Zahl von Systemen zur Warmwasserbereitung und -versorgung herausgebildet, von denen jedes die Bedingungen für bestimmte Verhältnisse, Anforderungen und Voraussetzungen zu erreichen sucht. Letztere können sich beziehen auf die Größe und Durchführbarkeit der Anlage, die zur Verfügung stehenden Heizmittel, die Wärmequelle, die Art des Betriebes, die Wasserquelle, Warmwasserverwendung und auf andere Punkte.

I. Allgemeines vom Wasser und von der Wärme.

Das Wasser ist, chemisch betrachtet, eine Verbindung zwischen Wasserstoff H und Sauerstoff O zu H_2O . Das Wasser findet sich auf der Erde in drei Aggregatzuständen: im flüssigen als Wasser, im festen als Schnee und Eis und im gasförmigen als Dampf. Man nennt die Temperatur, bei der das Wasser unter natürlichem Drucke in Eis übergeht, den Gefrierpunkt, und diejenige, bei der das Wasser unter natürlichem Drucke zu Dampf wird, den Siedepunkt. Der Unterschied zwischen beiden Punkten ist in 100 gleiche Teile eingeteilt, und es sind diese Teile als Temperaturskala, sog. Celsiusskala ($^{\circ}C$), festgelegt, wobei 0° als Gefrierpunkt angenommen ist.

Bei $4^{\circ}C$ besitzt das Wasser seine größte Dichtigkeit. Der Druck, den dabei 1 kg Wasser auf 1 cm^2 ausübt, ist mit 1 Atmosphäre (1 at) festgelegt, welche dem Drucke einer Wassersäule (WS) von 10 m gleichkommt. Das Gewicht des Wassers bei 4° nimmt man weiter als Einheitsgewicht an und bezeichnet das Gewicht von 1 cm^3 als 1 Gramm (1 g) und von 1 dm^3 als 1 Kilogramm (1 kg) = 1 Liter (1 l).

Im Gegensatz zu der Intensitätsmessung nach Graden erfolgt die quantitative Messung der Wärme nach Wärmeeinheiten. Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind nach Reichsgesetz vom 7. Aug. 1924 und DIN 1309¹⁾ die Kilokalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh). Die Kilokalorie ist die Wärmemenge, durch welche 1 kg Wasser von $14,5^{\circ}C$ auf $15,5^{\circ}C$ erwärmt wird, oder all-

¹⁾ DIN = Deutsche Industrie-Normen.

gemein die Wärmemenge, welche zur Temperaturerhöhung von 1 kg Wasser um 1°C^1) nötig ist. Die spezifische Wärme c des Wassers ist die Wärmemenge in kcal, die nötig ist, um die Temperatur t von 1 kg Wasser um 1° zu erhöhen; sie ist technisch genau genug ~ 1 . Es besitzt also Wasser, das von 0° auf 80° erwärmt ist, eine Wärme von 80 kcal. Sind ferner z. B. 2000 l Wasser von 10° auf 50° in 5^h zu erwärmen, so sind dazu $2000 (50 - 10) = 80000$ kcal erforderlich, mithin in der Stunde als Zeiteinheit $\frac{80000}{5} = 16000$ kcal.

Mit der Eigentümlichkeit des Wassers, die größte Dichte bei 4° zu haben, besitzt es auch bei dieser Temperatur sein größtes Gewicht, das sich bei Zunahme und Abnahme der Temperatur von 4° aus vermindert, aber nicht proportional der Temperaturänderung.

Wird somit Wasser über 4° hinaus erwärmt, so steigen die wärmeren Wasserteilchen empor, um an ihre Stelle kältere, schwerere Teilchen treten zu lassen. Man hat es also mit einer Zirkulation im Wasser selbst zu tun. Dieser Vorgang läßt sich in einfachster Weise mit einer Glasröhre nach Abb. 1 klarmachen. Die Röhre muß oben offen sein, damit das durch die Erwärmung vergrößerte Wasservolumen Platz findet.

In gleicher Weise, wie die allmähliche Erwärmung des Wassers vor sich geht, findet auch dessen Abkühlung statt. Fällt schließlich die Temperatur unter 4° , so sinken die wärmeren Wasserteilchen nach unten und die kälteren steigen empor. Dies ist der Grund, weshalb Wasser zuerst an seiner Oberfläche zu Eis erstarrt.

Gemäß solch natürlichen Vorganges ist es nun ganz gleichgültig, an welcher Stelle das Wasser zuerst erwärmt wird, so daß man also technisch in der Lage ist, das Wasser fern von einer Zapfstelle erwärmen zu können; es muß nur die erforderliche Zirkulation vorhanden sein. In erster Linie hat man daher bei Einrichtung einer Warmwasseranlage dafür Sorge zu tragen, daß dem natürlichen Auftriebe des Wassers möglichst wenig Hindernisse in den Weg gestellt werden.

Je weniger die Wasserzirkulation gehemmt wird, um so rascher erfolgt die Erwärmung, gleichmäßige Wärmezufuhr vorausgesetzt. Es ist daher vorteilhaft, die Wärmeleitung möglichst kurz und geraden Weges vorzunehmen. Je länger die Rohrleitung zwischen Warmwassererzeuger und Zapfstelle ist und je mehr Richtungs- und Querschnitts-

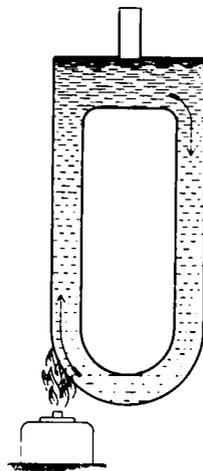


Abb. 1.

¹⁾ Die Temperaturangaben beziehen sich in diesem Buche stets auf die 100 teilige Skala Celsius, weshalb die Bezeichnung $^{\circ}\text{C}$ hinter der Gradangabe $^{\circ}$ in der Folge fortgelassen wird.

änderungen auf dieser Strecke bestehen, um so größer sind die Wärmeverluste infolge der Bewegungs- und Reibungswiderstände und der Wärmetransmission. Unter letzterer ist hier die Wärmemenge zu verstehen, welche aus dem warmen Wasser durch die Kessel-, Rohr-, Behälterwand u. dgl. in die Außenluft übertritt. Bezieht man die Transmissionswärme ganz allgemein und gleichgültig, ob sie Verlust oder Gewinn für eine Anlage bedeutet, auf die Einheiten, so hat man die Wärmemenge, welche durch 1 m^2 Umschließungsfläche (Heizfläche) bei 1° Temperaturunterschied in 1^{h^1} senkrecht hindurchgeht. Diesen Einheitswert bezeichnet man als Transmissionskoeffizienten (k).

In langen wagerechten Kanälen, insbesondere mit zu geringen Querschnitten, kann nun infolge der verschiedenen Wärmeverluste ein vollständiger Stillstand des Wassers eintreten, da die Wärmetriebkraft im Wasser fehlt, so daß an der Heizstelle schließlich eine Überhitzung stattfindet, während die Zapfstellen Wasser von viel zu niedriger Temperatur abgeben. Solcher Zustand kann dann weiter zur Folge haben, daß das System zersprengt wird oder doch zum mindesten äußerst lästige starke Schläge in selbigem hervorgerufen werden. Aus gleichen Gründen ist Sackbildungen vorzubeugen. Das ganze System muß, abgesehen von dem Ausdehnungsraume, vollkommen mit Wasser gefüllt sein, damit nicht Dampf Bildung eintritt oder die Zirkulation durch Lufträume gehemmt wird. Durch Steigern der Wassertemperatur hat man es aber bis zu gewissen Grenzen in der Hand, den erforderlichen Auftrieb den Widerständen, die sich nicht umgehen lassen, anzupassen.

Eine wichtige Eigenschaft des Wassers für Warmwasserbereitungsanlagen ist sein Wärmespeicherungsvermögen, d. h. das Wasser ist imstande, die aufgenommene Wärme über eine gewisse Zeit hin festzuhalten und sie nach Aufhören des Wärmezuflusses langsam, nach und nach wieder abzugeben auf Grund des Ausgleichsgesetzes des Weltalls. Maßgebend für den Grad und die Schnelligkeit der Abkühlung sind die Größe der Wasserumschließungsflächen, die Stärke und Beschaffenheit derselben und der Unterschied zwischen der Wassertemperatur und der Temperatur der Außenluft. Eine günstige Verlangsamung des Wärmeausgleichs läßt sich durch richtige Benutzung von Wärmeschutzmitteln erzwingen. Eine vollkommene Wärmeisolierung ist jedoch nicht möglich. Um so mehr hat man daher Grund, auf eine möglichst genaue Berechnung und gute Disponierung der Anlage hinzuwirken.

II. Die Heizmittel.

Die Heizmittel, mit denen Warmwasser erzeugt werden kann, sind die festen, flüssigen, gasförmigen Brennstoffe, die Elektrizität, der Dampf und das warme und heiße Wasser. Je nach der Durchführung

¹⁾ h = Stunde (hora, lat).

der Anlage läßt sich mit ihnen das Wasser direkt oder indirekt erwärmen. Die festen Brennstoffe, wie Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, deren Kunstprodukte und das Gas können für Lokal- und Zentralbetrieb Verwendung finden, während die flüssigen Brennstoffe und die Elektrizität meist nur dem Lokalbetrieb dienen und der Dampf und das warme Wasser als Heizmittel vorzugsweise in Zentralanlagen sich günstig ausnutzen lassen.

A. Die Brennstoffe.

Sie finden sich als feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe.

a) Die festen Brennstoffe.

Die festen Brennstoffe sind neben dem Leuchtgas immer noch die wichtigsten Heizmittel. Sie werden als Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz, Brikett, Koks und Abfälle aller Art in den häuslichen Lokalfeuerungen und den Zentralfeuerungen benutzt. Für letztere mit besonderer Feuerstelle ist in erster Linie der Koks maßgebend, dessen rauchschwache Verbrennung und gleichmäßige Wärmeentwicklung für die Anlage von besonderem Vorteile sind. Hüttenkoks und guter Gaskoks sind annähernd gleichwertig und am besten in 5 ÷ 8 cm Stückgröße zu verwenden. Jedoch muß meist der Brennstoff, der am billigsten und in genügender Menge bequem zu erhalten ist, gewählt werden, wenn die Feuerung eine nicht zu teure Sonderkonstruktion und eine nicht zu umständliche und kostspielige Bedienung erfordert. Stehen für eine Feuerung mehrere Brennstoffe zur Wahl, so sollte für letztere nicht der Handelspreis, sondern der Wärmepreis entscheidend sein. Darunter ist der Preis für 1 kcal zu verstehen. Praktischer rechnet man mit 1000 kcal als Einheit, dann ist auch der Handelspreis auf 1000 kg = 1 t Brennmaterial zu beziehen. Ist:

P_H = Handelspreis in M./t Brennmaterial frei Haus,
 H_u = unterer absoluter kalorimetrischer Heizeffekt des Brennmaterials in kcal/kg (siehe S. 7),

η = Wirkungsgrad der Feuerung, also:

ηH_u = wirklicher Heizwert,

a = Aschengehalt des Brennstoffs in kg/kg,

K = Aschenabfuhrkosten in M./1000 kg,

so ist der Wärmepreis eines Brennmaterials:

$$P_w = \frac{P_H}{\eta H_u} + a K \text{ in M./1000 kcal (1)}$$

Dient die Feuerung einer Dampfentwicklung, so rechnet man besser weiter auf den Dampfpreis hin. Da 1 kg Dampf zur Erzeugung ~ 600 kcal verlangt, so ist für D kg Dampf der Dampfpreis:

$$P_D = \frac{600}{1000} P_w \quad D \text{ in M./}D \text{ kg Dampf.}$$

Zum richtigen Vergleich bezieht man günstig D auf 1000 kg, dann wird mit $D = 1000$:

$$P_D = 600 P_w \text{ in M./1000 kg Dampf (2)}$$

Die geringwertigen Brennstoffe mit einem Heizwert $> \sim 3500$ kcal pro kg, wie Torf, Rohkohle usw., haben nach dem Kriege eine erhöhte Bedeutung gewonnen und werden durch die Veredelungsverfahren (Brikettierung, Verkokung, Vergasung, Entgasung, Schwelung und Verflüssigung) wirtschaftlicher ausgenutzt. Für kleine und häusliche Lokalfeuerungen haben neben Steinkohle und Leuchtgas Braunkohle, Briketts, Koks und auch Torf ihre Bedeutung behalten. Jedoch auch selbst das teure Holz findet in besonders dafür konstruierten Öfen, Badeöfen, eine wirtschaftliche Ausnutzung bei einem sauberen Betriebe. Schwefelhaltige Kohlen und Koks sind möglichst zu vermeiden, da selbige das Metall der Feuerung angreifen.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit sei bemerkt, daß in der Heiztechnik eine Anlage kaum schlechter arbeitet als ein gewöhnlicher Küchenherd, wenn er zur warmen Jahreszeit nicht mehr als Raumheizkörper mitdienen kann. In solchem Herde gehen $\sim 90 \div 80\%$ des Heizwertes der aufgewandten Kohle nutzlos durch den Schornstein usw. verloren. Bei schlechtem Brennstoffe und mangelhafter Bedienung kann der Nutzeffekt sogar bis auf 5% sinken.

Eine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades η bis zu $0,5 \div 0,6$ und somit eine bessere Ausnutzung des Brennstoffes im Küchenherd läßt sich durch den Einbau von Heizeinsätzen für eine zentrale Warmwasserbereitung erreichen, Ausführungen, wie sie in folgenden Abschnitten zur Besprechung kommen. Die Zentralfeuerungen können dagegen der Gesamtanlage vollkommener angepaßt und so eingestellt werden, daß selbst bei unfachmännischer Bedienung ein gewisser Effekt nicht unterschritten werden kann.

Über den Verbrennungsvorgang sei kurz folgendes gesagt¹⁾:

Mit Hilfe der Analysenwerte des Brennstoffes lassen sich der Heizwert H_u ²⁾ und die theoretische Verbrennungsluftmenge L bestimmen. Man findet im Mittel als theoretischen oder absoluten Heizeffekt H_u , d. h. also als die Wärmemenge, die bei vollkommener Verbrennung von 1 kg Brennstoff erzeugt wird:

¹⁾ Die Betrachtungen über den Verbrennungsvorgang sind hier nur soweit kurz ausgeführt, als es zum Verständnis nachfolgender Berechnungen nötig ist.

²⁾ In den Streit über »unteren« oder »oberen« Heizwert kann hier nicht eingetreten werden; es wird daher der in der Praxis immer noch gebräuchliche »untere« Heizwert beibehalten.

für Holz, lufttrocken	$H_u = 3000$ kcal/kg,
» Torf, »	= 3500 »
» Braunkohle, böhmische	= 4500 »
» » sächsische	= 2400 »
» Steinkohle	= 7000 »
» Anthrazit	= 7500 »
» Holzkohle	= 8000 »
» Preßtorf	= 3800 »
» Briketts (Braunkohlen)	= 4800 »
» Koks	= 7000 »
» Lohe, mit 50% Wasser	= 2000 »
» Sägespäne	= 2800 »

ferner als theoretische Verbrennungsluftmenge:

$L = 10,0 \div 11,0$ kg für Anthrazit	$L = 9,6 \div 10,3$ kg für Koks
= $9,0 \div 10,5$ » » Steinkohle	= $10,0 \div 10,5$ » » Preßsteine
= $5,3 \div 7,4$ » » Braunkohle	= $6,5 \div 7,0$ » » Brk. Brik.
= $4,8 \div 5,5$ » » Torf	= $5,0 \div 5,5$ » » Preßtorf
= $4,5 \div 5,0$ » » Holz	= $4,5 \div 5,0$ » » Sägespäne.

Mit der Luftüberschubzahl m , die für feste Brennstoffe betragen kann:

$m = 1,2 \div 1,3$ bei sehr guter Wartung,
= $1,4 \div 2,0$ bei weniger guter Wartung,
= $1,3 \div 1,6$ bei Schüttfeuerung,

erhält man dann weiter die wirkliche Verbrennungsluftmenge zu $m \cdot L$ und die Rauchgasmenge zu $1 + mL$ bzw. $1 + mL - a$ bei stark aschenhaltigen Brennstoffen mit a kg/kg Aschengehalt.

Soll eine möglichst vollkommene Verbrennung erreicht werden, so muß die Verbrennungsluft möglichst genau bemessen und geregelt werden, damit ein hoher Prozentsatz CO_2 in den entwickelten Gasen erreicht wird. Bei unsachgemäßer Bedienung kann der CO_2 -Gehalt der Gase bis auf 7% und darunter sinken, und dann hat man eine schlechte Verbrennung. Mittels guter Rauchgasprüfer läßt sich CO_2 ständig und einwandfrei kontrollieren und eine solche Kontrolle ist bei größeren und dauernd in Betrieb stehenden Anlagen stets ratsam. Mit einem Eckardt-Prüfapparat wurden an einer Feuerung mit Steinkohle festgestellt:

4% $\text{CO}_2 = 45\%$ Kohlenverlust, d. i. eine sehr schlechte Verbrennung,
8% $\text{CO}_2 = 23\%$ » » schlechte Verbrennung,
12% $\text{CO}_2 = 15\%$ » » gute Verbrennung.

Die Verluste entstehen durch die abziehenden Gase, unvollkommene Verbrennung, das Unverbrannte in den Verbrennungsrückständen, Entfernen der heißen Asche und Schlacke und durch Strahlung und Leitung. Der erstere und größte Verlust durch die abziehenden Gase, der sog.

Schornsteinverlust, bestimmt sich mit der Fuchstemperatur T_F , der Temperatur t_1 der umgebenden Raumluft und dem Kohlensäuregehalt CO_2 der Gase in %, angenähert zu:

$$\mathfrak{S} = C \frac{T_F - t_1}{\text{CO}_2} \text{ in } \text{‰}^1) \quad \dots \dots \dots (3)$$

und schwankt zwischen ~ 8 und 20% .

$C = 0,65$ für Steinkohle, $= 0,70$ für gute Braunkohle, $= 0,80 \div 0,90$ für geringwertige Brennstoffe.

Anschaulich lassen sich alle die Verluste in Wärmediagrammen darstellen. Abb. 2 zeigt ein derartiges Diagramm von einem gußeisernen Kleinkessel, der auf einen Warmwasserbehälter hinarbeitet. Vergleicht

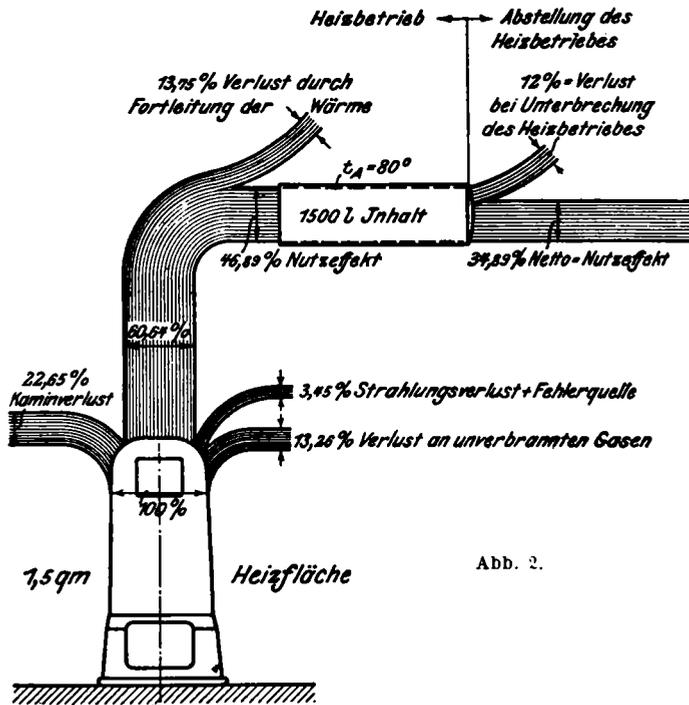


Abb. 2.

man dasselbe, insbesondere den darin eingetragenen Nutzefekt mit dem weiteren der Abb. 3²⁾, die das Wärmediagramm eines Loewenstein-Rolandkessels mit direkter Erwärmung darstellt, so kann man sich ein sehr klares Bild über die Leistungsfähigkeit und Güte einer Anlage gegenüber einer anderen verschaffen, die gleichen Grundlagen voraus-

¹⁾ Über genauere Behandlung der Siegertschen Formel siehe Zeitschrift »Brennstoff- und Wärmewirtschaft« X, Heft 5, 1928.

²⁾ Abb. 2 und 3 aus »Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe« von Bau- rat de Grahl, Verlag Oldenbourg und mit Genehmigung des Verfassers.

gesetzt. Vorläufig nur nach diesen Betrachtungen hin geurteilt, erkennt man aus den vorliegenden Diagrammen ohne weiteres die Überlegenheit des Loewensteinkessels, sobald die Beschaffenheit des Wassers und die ganze Anlage eine unmittelbare Erwärmung gestatten.

Von Einfluß auf die Güte der Verbrennung muß natürlich die Zugstärke Z_s des Schornsteins sein, denn dieser hat ja die Verbrennungsluft dem Feuerraum zuzuführen und die Gase abzuleiten.

Es schwankt Z_s zwischen $\sim 0,2$ und 30 mm WS; für Warmwasserbereitungen genügt meist:

$Z_s \geq 2$ mm WS für Küchenherde, Zimmeröfen, Niederdruckkessel,

$Z_s \geq 12$ mm WS für größere industrielle Feuerungen und Hochdruckkessel.

Die Schornsteinhöhe H , welche in erster Linie Z_s beeinflußt und vom ganzen Gebäude mehr oder weniger abhängig ist, sollte nur unter sehr günstigen Verhältnissen ~ 10 m unterschreiten. Als letztere sind anzusehen: geschützte Lage des Schornsteines bezüglich der Abkühlung und des Windanfalles, gute innere und äußere Verfugung, glatte Innenfläche, kurzer, gerader und aufsteigender Fuchs, richtige Ausführung der Feuerzüge und ein der Höhe H richtig entsprechender Schornsteinquerschnitt. Die Annahme, ein möglichst weiter Schornstein sei stets vorteilhaft, ist eine irrige.

Ist H an keine Gebäudehöhe gebunden, so soll sein

$$H \geq 0,25 \sqrt[3]{B \cdot H_u} \text{ in m} \dots \dots \dots (4)$$

darin:

$B =$ Brennstoffverbrauch in kg/h.

Der Schornsteinquerschnitt kann für häusliche Warmwasserbereitungsanlagen ermittelt werden zu:

$$q = \frac{0,025 W_0}{\sqrt{H}} \text{ in cm}^2 \dots \dots \dots (5)$$

Darin ist:

$W_0 =$ die vom Brennstoff zu erzeugende Wärmemenge in kcal/h,

$H =$ Schornsteinhöhe über Rost in m.

Der Wichtigkeit wegen sei die Schornsteintabelle 1 angefügt.

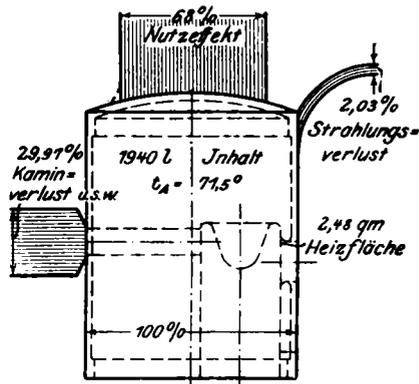


Abb. 3.

Tabelle 1.
Schornsteinquerschnitte, nach nutzbaren Wärmemengen bestimmt, für Steinkohlen- und Koksfeuerung.

Schornstein			Wärmemenge W_0 in kcal/h bei einer Schornsteinhöhe in m					
Querschnitt cm ²	□ cm	○ cm						
			5	10	15	20	25	30
169	13 × 13	15	12 000	17 000	22 000	25 000	28 000	30 000
325	13 × 25	20	24 000	34 000	42 000	48 500	54 000	60 000
500	20 × 25	25	—	52 000	65 000	74 000	83 000	91 000
625	25 × 25	28	—	66 000	81 000	93 000	104 000	114 000
950	25 × 38	35	—	100 000	123 000	140 000	158 000	170 000
1275	25 × 51	40	—	130 000	165 000	190 000	212 000	234 000
1444	38 × 38	43	—	150 000	187 000	218 000	240 000	265 000
1938	38 × 51	50	—	—	251 000	288 000	323 000	355 000
2601	51 × 51	58	—	—	336 000	388 000	433 000	477 000
3264	51 × 64	65	—	—	423 000	486 000	544 000	598 000
4096	64 × 64	72	—	—	—	610 000	680 000	750 000
4928	64 × 67	80	—	—	—	735 000	820 000	900 000
5929	77 × 77	87	—	—	—	—	988 000	1 000 000
6930	77 × 90	95	—	—	—	—	1 150 000	1 270 000
8100	90 × 90	102	—	—	—	—	1 350 000	1 480 000

Es sind die Werte kcal der Tabelle 1 zu multiplizieren:

für Braunkohlen, Briketts mit 1,60,

» Holz, Torf u. dgl. » 2,15.

Für gußeiserne Gliederkessel können bis ~ 30% geringere Querschnitte genommen werden.

Der zur Deckung von W_0 erforderliche Brennstoffaufwand ergibt sich zu:

$$B = \frac{W_0}{\eta H_u} \text{ kg/h allgemein} \quad \dots \quad (6)$$

und

$$B = 0,55 \frac{W_0}{\eta H_u} \text{ kg/h f. Schütt- u. Gußgliederkessel} \quad \dots \quad (6a)$$

Der jährliche Brennstoffverbrauch richtet sich nach der Anzahl der täglichen Heizstunden und danach, ob die Warmwasserbereitung gänzlich für sich besteht oder während des ganzen Jahres oder eines Teiles desselben von einer anderen Heizquelle mitversorgt wird. Mit Hilfe der Gl. (6) läßt sich der jährliche Brennstoffbedarf dann ohne weiteres bestimmen. Man erhält den Brennstoff im großen in Waggonen. Es faßt 1 Waggon ~ 20000 kg. Zum Unterbringen einer Waggonladung Brennstoff ist ein Rauminhalt nötig von:

~ 24 m ³ für Steinkohle,	~ 20 m ³ für Briketts,
44 » » Hüttenkoks,	50 » » Torf (Pech-),
50 » » Gaskoks,	60 » » Holz (Scheite),
30 » » Braunkohle,	30 » » Sägespäne.

Der Wirkungsgrad einer Feuerung bzw. einer ganzen Kessel- und Ofenanlage ist praktisch durch Heizversuche, durch die an das Wasser abgegebene Wärmemenge, geteilt durch die vom Brennstoff in derselben Zeit entwickelte Wärmemenge, festzulegen. Ist

H = Gesamtheizfläche des Kessels oder dgl. in m^2 ,

w_s = die durch $1 m^2$ Heizfläche stündlich übertragene Wärmemenge, so bestimmt sich der Wirkungsgrad zu:

$$\eta = \frac{w_s \cdot H}{H_u \cdot B} \dots \dots \dots (7)$$

Man kann annehmen:

- $\eta = 0,85 \div 0,65$ für Zentralkesselfeuerung bei regelrechter Bedienung,
- $= 0,70 \div 0,55$ für Zentralkesselfeuerung bei mangelhafter Bedienung,
- $= 0,55 \div 0,35$ für lokale und häusliche Feuerung von guter Konstruktion und bei aufmerksamer Bedienung,
- $= 0,25 \div 0,15 \div 0,05$ für Herdfeuerung von gewöhnlicher Konstruktion und bei mangelhafter Bedienung.

Es muß der Gesamtwirkungsgrad einer Kesselanlage auch sein:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \dots \dots \dots (8)$$

wenn η_1 = Wirkungsgrad der Feuerung = $0,80 \div 0,93$,
 η_2 = » » Heizfläche ist.

Für die Berechnung und den Entwurf ist schließlich noch das Bekanntsein der Gastemperaturen, vor allem der Feuer- und Fuchstemperatur, erforderlich. An bestehenden Anlagen werden sie durch die Heizversuche gleich mitermittelt oder ständig durch Einbau von Pyrometern beobachtet.

Der pyrometrische Heizeffekt ist die theoretische Grundlage der wirklichen Feuerrtemperatur, also die Temperatur, welche ein Brennstoff, bezogen auf 0° Anfangstemperatur, bei vollkommener Verbrennung und ohne Wärmeentziehung entwickelt. Diese Größe ist rechnerisch schwer zu erfassen.

Die wirkliche Feuerraumtemperatur T , die natürlich kleiner als der pyrometrische Effekt ist, kann für den Entwurf berechnet werden zu:

$$T = \eta_1 \frac{H_u (1 - \sigma)}{(1 + mL) c_p} + t_i \text{ in } ^\circ\text{C} \dots \dots \dots (9)$$

Darin ist:

- η_1 = Wirkungsgrad der Feuerung, soweit er T beeinflusst;
 $= \sim 0,96$,
- σ = Ausstrahlungsverhältnis,
 $\sigma = 0,25 \div 0,30$ bei Innen- und Kontaktfeuerung,
 $= 0,20 \div 0,25$ bei Unterfeuerung,
 $= 0,20 \div 0,15$ bei Vorfeuerung ($0,42$ bei Staubfeuerung),

σH_u = die durch Strahlung an die direkte Heizfläche abgegebene Wärme,

$1 + mL$ = Gasmenge in kg/kg,

t_1 = Zulufttemp. (Kesselhaustemp.) = $20 \div 30^\circ$ (ohne Vorerhitzung),

c_p = mittl. spez. Wärme für 1 kg Gase = $0,24 \div 0,30^1$).

Bezüglich der Fuchstemperatur T_F geht man für den Entwurf im allgemeinen von einer Annahme aus. Mit Rücksicht auf genügenden Zug soll sein:

$T_F \geq 100^\circ$, und zwar ausreichend:

$T_F = 120 \div 250^\circ$ für Warmwasserbereiter.

Man findet jedoch T_F bis zu 350° und mehr. Je höher T_F ist, um so größer ist der Wärmeverlust durch den Schornstein; je kleiner T_F , um so größer die Heizfläche und um so teurer die Anlage.

Rechnerisch läßt sich T_F annähernd ermitteln zu:

$$T_F = T \left(1 - \frac{\eta_2 - \sigma}{1 - \sigma} \right) \text{ in } ^\circ\text{C} \dots \dots \dots (10)$$

η_2 = Wirkungsgrad der Heizfläche $\left(\frac{\eta}{\eta_1} \right)$ nach Gl. 8) ausschl. der Strahlungsverluste ($\sim 0,04$), somit:

$$= \frac{\eta}{\eta_1} + 0,04.$$

An bestehender Anlage ist T_F sicherer mit Hilfe von Pyrometern zu bestimmen. Diese Messung sollte aber stets an der Eintrittsstelle des letzten Feuerzuges in den Fuchs vorgenommen werden. Man hat mit $\sim 2,5\%$ Temperaturverlust auf 1 lfd. m Fuchslänge zu rechnen.

Zum Durchzug der Verbrennungsluft durch den Rost erhält dieser Spalten, deren Gesamtquerschnitt R_1 die freie Rostfläche darstellt. Für diese besteht die Bedingungsleichung:

$$R_1 = \frac{BmL}{v \cdot 3600} \text{ m}^2 \dots \dots \dots (11)$$

Hierin:

v = Luftgeschwindigkeit = $0,5 \div 1,6$ m/s,

L = Verbrennungsluftmenge in m^3/kg .

Die Gesamtrostfläche rechnet man dann zu:

$$R = \frac{R_1}{\beta} \text{ m}^2 \dots \dots \dots (12)$$

mit: $\beta = 0,30 \div 0,50$ für Koks und Anthrazit,
 $= 0,25 \div 0,50$ für Steinkohle,
 $= 0,20 \div 0,40$ für Braunkohle,
 $= 0,15 \div 0,20$ für Torf und Holz.

¹⁾ Dr.-Ing. Kirst: »Die veränderlichen mittleren spez. Wärmen der Feuer-gase«. Die Wärme, 51, Nr. 28, 1928.

Für Warmwasserkessel, Niederdruckdampfkessel mit Schüttfeuerung und ohne Feuerbrücke kann man mit $0,77 R$ rechnen.

Gewöhnliche Feuerzüge erhalten einen Querschnitt:

$$\left. \begin{array}{l} f = 0,15 R \text{ über der Feuerbrücke,} \\ f_1 = 0,38 R \text{ im I. Zuge,} \\ f_2 = 0,33 R \text{ im II. Zuge,} \\ f_3 = 0,25 R \text{ im III. Zuge,} \\ f_F = 0,25 R \div 0,20 R \text{ im Fuchs, jedoch:} \\ f_F = 200 \times 200 \text{ mm.} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

Wird ein Zug aus ständig (täglich) gereinigten Heizröhren gebildet, so kann der Gesamtquerschnitt des Röhrenbündels betragen:

$$\left. \begin{array}{l} f_1 \geq 0,20 R, \text{ wenn es den I. Zug bildet,} \\ f_2 \geq 0,17 R, \text{ wenn es den II. Zug bildet.} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (13a)$$

Die Gesamt-Feuerzuglänge soll $\leq \sim 30$ m sein.

Eine vollkommenerer Ausnutzung der festen Brennstoffe erreicht man in neuerer Zeit dadurch, daß man die Rauchgase der Feuerungsanlagen in Ekonomisern od. dgl. zur Warmwassererzeugung nochmals verwertet. Weitere genauere Angaben über diese jetzt so wichtige Abgasverwertung siehe unten bei »Abgasen«.

Vorstehende rechnerische Angaben können nur für einen ersten Entwurf dienen. Die richtige Gütebeurteilung einer Feuerungsanlage läßt sich nur durch Heizversuche erreichen.

Beispiel. An einem Warmwasserkessel mit $7,14 \text{ m}^2$ Heizfläche sind 3 Heizversuche mit Braunkohlenbriketts durchgeführt, deren Ergebnisse in nachstehender tabellarischer Aufzeichnung enthalten sind. Die Briketts der Grube Ilse-Senftenberg hatten einen genauen Heizwert von 4736 kcal . Es sind der Wirkungsgrad und die Wärmebilanz festzulegen.

	I.	II.	III.
	V e r s u c h		
Heizfläche des Kessels m^2	7,14	7,14	7,14
Dauer des Versuchs min	440	440	240
Heizwert (kalorimetrisch bestimmt)	4736	4736	4736
Rauchgaszusammensetzung			
Kohlensäure CO_2 %	13,87	13,12	11,00
Sauerstoff O_2 %	6,19	7,13	9,10
Kohlenoxyd CO %	0	0	0
Angewendete Zugstärke in mm Wassersäule	3,02	3,05	3,00
Temperatur der abgehenden Rauchgase	182,79	181,71	180,24
Brennstoffverbrauch während des Versuchs kg	122,5	106,6	55,4
Leistung in kcal			
in 1 h auf $1,0 \text{ m}^2$ Heizfläche	8973	7913	7574
für 1 kg Briketts	3835,1	3975,2	3904,8

Der stündliche Brennstoffverbrauch ergibt sich

$$\text{im 1. Versuch zu: } B = \frac{122,5 \cdot 60}{440} = 16,23 \text{ kg}$$

$$\text{im 2. Versuch zu: } B = \frac{106,6 \cdot 60}{440} = 14,53 \text{ kg}$$

$$\text{im 3. Versuch zu: } B = \frac{55,4 \cdot 60}{240} = 13,85 \text{ kg.}$$

Da der Füllschacht ~ 100 kg Fassungsvermögen hat, so kann der Kessel

$$\frac{100}{\frac{1}{3} \cdot (16,23 + 14,53 + 13,85)} = \sim 7^{\text{h}}$$

in Dauerbetrieb stehen.

Der Wirkungsgrad ermittelt sich nun weiter gemäß Gl. (7)

$$\eta = \frac{w_s \cdot H}{H_w \cdot B}$$

$$\text{im 1. Versuch zu: } \eta = \frac{8973 \cdot 7,14}{4736 \cdot 16,23} = 0,8098$$

$$\text{im 2. Versuch zu: } \eta = \frac{7913 \cdot 7,14}{4736 \cdot 14,53} = 0,8393$$

$$\text{im 3. Versuch zu: } \eta = \frac{7574 \cdot 7,14}{4736 \cdot 13,85} = 0,8245.$$

Hiernach erhält man folgende Wärmebilanz:

	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	im Mittel
Gewinne an Wärme in % . . .	80,98	83,93	82,45	82,45
Verluste „ „ „ % . . .				
durch Abgase	8,34	8,69	9,78	8,95
„ Herdrückstände	0,33	0,44	0,44	0,40
„ Strahlung usw.	10,35	6,94	7,33	8,20
				100,00

b) Die flüssigen Brennstoffe.

Bisher waren die flüssigen Brennstoffe für Warmwasserbereitzungszwecke von ganz untergeordneter Bedeutung. In der jetzigen Zeit finden jedoch auch die flüssigen Brennstoffe die Beachtung, die ihnen bei ihrem hohen Heizwerte zukommen kann. In hohem Maße wird hierzu noch die Kohlenverflüssigung beitragen. Vor allem treten die schweren Öle in den Vordergrund. Man unterscheidet dünn- und dickflüssige Stoffe; mit allen erhält man bei guten Konstruktionseinrichtungen hohen Heizeffekt und rauchschwache Verbrennung. Praktisch hat sich die Ölföherung günstiger für Warmwassererzeugung als für Dampferzeugung erwiesen.

Die dünnflüssigen Brennstoffe Petroleum und Spiritus eignen sich nur für nebensächliche und Aushilfszwecke und sind von geringer heiztechnischer Bedeutung. Als Zusatzheizung möchte man sie jedoch im Haushalt und in Kleingewerbebetrieben auch jetzt nicht entbehren. Nachteile sind: Umständliche Bedienung und teurer, unsauberer und nicht ungefährlicher Betrieb. Die Gefährlichkeit ist in einer Explosions- und Brandgefahr und in einer starken Verunreinigung der Raumluft durch die Abgase zu suchen. Um 75 l Wasser in 30 min auf Badetemperatur zu erwärmen, entsteht ein Spiritusverbrauch von $\sim 0,61 = 30$ Pf. Kosten, während dieselbe Wirkung z. B. durch Gas mit $0,4 \text{ m}^3$, entsprechend 6,5 Pf. Kosten, erreicht wird. Kleinere Spiritus-Schnellwassererwärmer werden modern für Friseure, Ärzte, Chemiker hergestellt und leisten dort, wo Gas nicht zur Verfügung steht, gute Dienste.

Von den dickflüssigen Brennstoffen sind die Öle als Nebenprodukte der Petroleum- und Kohlendestillation besonders beachtenswert. In kleinen wie in großen Anlagen finden sie für sich allein wie auch als Zusatz neben festen Brennstoffen günstige Ausnutzung. Man hat das rohe Erdöl, seine Destillate, wie besonders Masut; ferner den Steinkohlenteer und dessen Destillate als Benzol, Teeröl und schließlich die Braunkohlendestillate. Die leichter flüssigen Stoffe wie Roherdöl, Masut werden auf $\sim 125^\circ$ und höher erwärmt und durch Pumpe mit $2 \div 5$ at Druck einem Zentrifugalzerstäuber zugeführt, der das Öl fein zerstäubt in den Feuerraum einwirft. Bei Niederdruckbrennern genügt für die zugeführte Luft eine Pressung von $300 \div 400$ mm WS.

Für kleine Feuerungsanlagen, für schwerflüssige Brennstoffe wie Teer und Teeröl und bei abwechselnder Verwendung von festem und

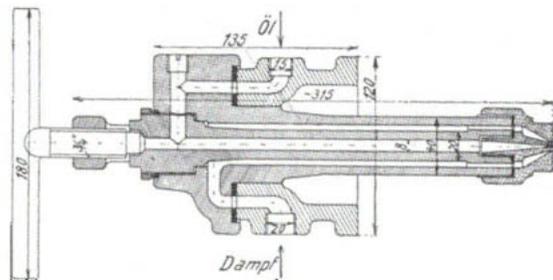


Abb. 4.

flüssigem Material dient auch das mit Dampf oder Dampfluftgemisch betriebene Dampfstrahlgebläse, von denen Abb. 4 die Körtingausführung zeigt. Auch hier muß das Öl zuvor in einem Behälter mittels Heizschlange auf $60 \div 70^\circ$ vorgewärmt werden. Diese geringe Anwärnung und der natürliche Druck, mit der das Öl dem Brenner zuzufließen

braucht, ist ein Vorzug vor den Zentrifugalzerstäubern, welche aber wieder keinen Effektverlust des Heizwertes infolge des Miteinführens von Dampf hervorrufen. Beide Ausführungen besitzen gemeinsam den Vorteil, daß der Feuerraum ohne große Änderung an sich bestehen bleiben kann.

Für Warmwasserbereitungskessel sind in jüngster Zeit einige beachtenswerte Sonderölfeuerungen für die billigen, nicht raffinierten Erdöle und Gasöle ausgeführt, die zwar in der Apparatur vorläufig noch etwas weitläufig sind. Der Hi-Lo-Brenner von Marx & Co., Köln, beruht auf dem Prinzip der Ölverdampfung mittels elektrischem Ventilator; in der Ölfeuerungsanlage von Ehlers & Plambeck, Hamburg, werden ein elektrischer Luftkompressor und ein Luftzerstäuber mit den nötigen Schaltvorrichtungen verwandt. Alle diese mit gutem Nutzeffekt wirkenden Brenner lassen sich in schon bestehende Kokskessel einbauen oder werden mit besonderen Gußeisenkesseln geliefert. Ehlers & Plambeck bauen Warmwasserkessel mit Ölfeuerung für $11,5 \div 40,5 \text{ m}^2$ Heizfläche, bzw. $104000 \div 365000 \text{ kcal/h}$ Leistung bei einem stündlichen Ölverbrauch von $1,1 \text{ kg/m}^2$ Heizfläche. Die Ölzufuhr wird durch Thermostaten geregelt.

Der Brennstoffverbrauch ist wieder wie bei den festen Brennstoffen von der Gleichung:

$$B = \frac{W_0}{\eta \cdot H_u} \text{ in kg/h} \dots \dots \dots (14)$$

abhängig. Es ist hier nur die Analysierung des flüssigen Brennstoffes nicht so bequem, sicher und einwandfrei. Man geht daher von einer Annahme für den absoluten kalorimetrischen Heizeffekt H_u und auch für die theoretische Verbrennungsluftmenge L aus. Hiergegen liegen um so weniger Bedenken vor, als die Veränderlichkeit von H_u und L keine große ist. So kann man wählen:

für Spiritus, 90 Vol.-%	$H_u = 5700 \text{ kcal/kg}$,	$L = 8,3 \text{ kg/kg}$,
» Petroleum, gereinigt	$= 10500$	» $= 14,5$ »
» Naphtha (rohes Erdöl)	$= 10000$	» $= 14,0$ »
» Masut, Benzin	$= 10000$	» $= 14,5$ »
» Teer (Steinkohlen-)	$= 8400$	» $= 12,0$ »
» Teeröl, Benzol	$= 9500$	» $= 13,0$ »

Der Luftüberschußkoeffizient in Feuerungen kann genommen werden zu:

$$m = 1,2 \div 1,5;$$

der Wirkungsgrad, der bei guter Anlage ein hoher ist, zu:

$$\eta = 0,85 \div 0,95.$$

Der Brennstoffverbrauch ist bei den Zentrifugalzerstäubern sehr gering, je nach Brennergröße: $B = \sim 5 \div 50 \div 100 \text{ kg/h}$, bei den Öl-

verdampfern und Zerstäubern der Sonderausführungen für Warmwasserkessel $B = 1,0 \div 1,2$ kg/h und 1 m^2 Heizfläche.

Die Vorteile einer guten Ölfeuerung sind: saubere, bequemere Anlieferung des Brennstoffes, des Öles in Tanks, geringer Raumbedarf für die Lagerbestände, bessere Luftzufuhrregelung und billigere nutzbare Wärme als bei festen Brennstoffen (trotz hoher Ölpreise), schnelles Anheizen und Abstellen, rasche Inbetriebnahme, Vorbeugung einer Brennstoffvergeudung, geringe Bedienungskosten, Fortfall von Asche- und Schlackenabführung mit deren schmutzigen Begleiterscheinungen.

Bedingung für ein sicheres, zufriedenstellendes Arbeiten ist aber stets ein guter Brenner.

c) Die gasförmigen Brennstoffe.

Die gasförmigen Brennstoffe treten als scharfe Konkurrenten der festen auf. Insbesondere ist es das Steinkohlengas, Leuchtgas, das sich gerade zwecks Warmwassererzeugung einer täglich zunehmenden Beliebtheit erfreut und in ziemlich großem Umfange Ausnutzung findet.

Die bekannten Vorteile der Gasheizung liegen in der schnellen Wärmeentwicklung, dem hohen Heizeffekte des Gases, der gleichmäßigen Wärmeabgabe, stetigen Betriebsfertigkeit, sofortigen In- und Außerbetriebsetzung, einfachen, bequemen Bedienung, guten Wärmeregulierung, Reinlichkeit, Zeit- und Raumersparnis und in der sicheren und einfachen Kontrolle des Gasverbrauches. Alle diese Vorzüge haben bewirkt, daß jetzt die Gasheizung gerade zur Erzeugung von warmem Wasser in hohem Maße bevorzugt wird; fast für alle Anlagen, vom kleinsten Wassererhitzer an, wie er sich etwa in einem Toilettenzimmer vorfindet, bis zu dem Massenbrausebad in einer Kaserne, Schule oder sonstigen Anstalt wird als Heizmittel das Gas gebraucht.

Die Nachteile, welche der allgemeinen Verwendung des Gases hinderlich sein können, sind die Giftigkeit und der hohe Preis. Die Anschauung jedoch, das Leuchtgas sei an sich und auch durch seine Verbrennungsprodukte zu gesundheitschädigend, als daß es als Heizmittel überall verwandt werden könnte, verliert immer mehr an Boden. Einmal werden die Gasfeuerungen jetzt nach dieser Richtung hin vorzüglicher und einwandfreier durchgeführt; dann bringt auch der konsumierende Laie der Gasfeuerung und der Lüftung der Räume, in denen ein Gasofen sich befindet, ein größeres Interesse und Verständnis entgegen. Die Kosten des Gases sind zwar höher als die der festen Brennstoffe, jedoch ist dieser Nachteil mehr ein augenscheinlicher, denn man bekommt für einen, wenn auch höheren Betrag eine weitaus größere nutzbare Brennstoffmenge. Es beträgt die Wärmeausnutzung einer guten Gasfeuerung $\sim 75\%$, welcher Effekt unter Umständen sogar bis auf 90% gesteigert werden kann. Der Preis für 1 m^3 Heizgas mit 4000 kcal/m^3 Heizwert beträgt zurzeit $15 \div 18$ Pf., wofür z. B. das Wasser eines

Wannenbades, zu 160 l gerechnet, von 10° auf 35° erwärmt werden kann. Allgemein kann man zur Erwärmung von 100 l Wasser um 1° bei 30 mm Gasdruck für ein Gas mit:

5000 kcal unt. Heizwert	einen Verbrauch von	~ 0,030 m ³ ,	
4300 » » » » » »		~ 0,035 »	} Misch- gas
4000 » » » » » »		~ 0,037 »	

rechnen. Durch aufmerksame Bedienung lassen sich die Kosten infolge der leichten und bequemen Regelung an den Öfen nicht unwesentlich vermindern. Sehr gute Dienste leisten in dieser Hinsicht die Gasautomaten, deren Gasverbrauch sich nach dem jeweiligen Wasserverbrauche selbsttätig regelt. Für häusliche Gasheizungen nimmt man in Anbetracht der großen Annehmlichkeiten, die eine Gasheizung gewährt, den heutigen Preis von 16 ÷ 18 Pf./m³ und mehr ohne weiteres als zulässig hin. Größere Gasfeuerstätten (in Kesseln) können, rein wirtschaftlich betrachtet, dann mit den Feuerungen fester Brennstoffe (Kokskessel) in Wettbewerb treten, sobald das Gas bei 4300 kcal/m³ Heizwert etwa 6 ÷ 7 Pf. kostet, ein Preis, der sich in Industriebezirken schon hie und da findet (Ferngasversorgung).

Das Leuchtgas kann als Brennstoff in fast allen Feuerungen ohne weiteres Ausnutzung finden. Die Brennerarmatur ist dabei weit einfacher als bei der Ölfeuerung. Völlig in sich abgeschlossene Gruppen von Warmwasserbereitern mit Gasheizung bilden die Gasöfen (Badeöfen usw.) und die Gaskessel (Hochleistungskessel), die in ihrer Bedienung und Betrieb gegenüber Kokskesseln 10 ÷ 20% Ersparungen mit sich bringen¹⁾.

Der Gasverbrauch spielt ja für die Beurteilung und Güte der Heizkörper eine große Rolle. Man begegnet in Katalogen und Prospekten nicht selten Angaben über den Gasverbrauch, die beim Vergleich mit der angegebenen Leistung nur mit einem Gase möglich sind, welches in städtischen Leitungen überhaupt nicht vorkommt. Wenn z. B. angegeben wird, daß zur Erwärmung von 160 l Wasser von 10° auf 40°, d. h. zur Erzeugung von 160 (40 — 10) = 4800 kcal nur 750 l Gas verbraucht werden, so ist dies selbst bei einem Nutzeffekt des Ofens von 90% nur mit einem Gase möglich, welches mehr als $\frac{4800 \cdot 1000}{750 \cdot 0,9} = 7100$ kcal/m³ enthält, während ein reines Leuchtgas von 5500 kcal Heizeffekt schon ein besonders gutes ist. Es ist daher dringend wünschenswert, daß hier feste Normen unter den Interessenten vereinbart und befolgt werden. Für die Norm der Leistungsangabe muß eine einheitliche Menge Wasser, in Litern bemessen, angegeben werden, die bei einer Temperaturerhöhung von etwa 30° durch so und soviel Liter Gas mit

¹⁾ Dr.-Ing. Balcke »Die Gasfeuerung in der Zentralheizungsindustrie«. Gesundheits-Ingenieur, 50, Heft 37, 1927.

~ 4000 kcal unterem Heizwert in einer bestimmten Zeit erwärmt werden kann unter Erreichung eines Nutzeffektes von so und so groß des Heizkörpers. Es sollte dann aber der Wirkungsgrad wegen Konkurrenzbestrebungen nicht zu hoch getrieben werden, damit eine sichere Gewähr für die Abführung der Gase gegeben ist.

Die Schaulinien der Abb. 5 sind für die qualitativen Leistungen der gebräuchlichen geschlossenen Gasbadeofen-Modelle und -Größen

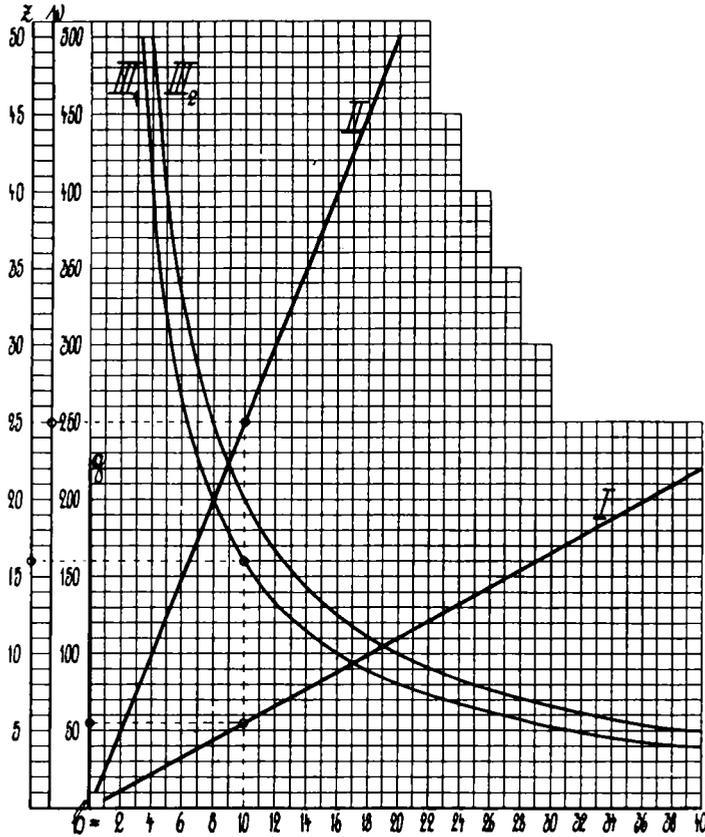


Abb. 5.

aufgestellt. Als qualitative Leistung hat man hier die Anzahl Liter Wasser (h in Abb. 5) zu verstehen, welche in einem Ofen in 1 min um 25° (von ~ 10 auf 35°) erwärmt werden kann.

Es bedeuten:

Linie I: den Gasverbrauch in Liter für die Erwärmung von h l Wasser um 25° , abzulesen auf der Ordinate g ;

Linie II: die dabei erzeugte Wärmemenge in kcal, abzulesen auf der Ordinate ω ;

Linie III₁: die Zeit in min, in der 160 l Wasser von einem Ofen mit der Leistung h um 25° erwärmt werden können, abzulesen auf der Ordinate z ;

Linie III₂: dasselbe für 200 l Wasser.

160 und 200 l Wasser sind als die gebräuchlichen Badewannenfüllungen angenommen.

Aus g und h ergibt sich der Anstrengungskoeffizient k des Gases, d. h. die Gasmenge in l, die bei einem normalen Gasdruck von ~ 30 mm, am Brenner gemessen, nötig ist, um 1 l Wasser um eine bestimmte Temperatur zu erhöhen. Somit folgt:

$$k = \frac{g}{h} \cdot \dots \dots \dots (15)$$

Man findet aus den Schaulinien:

für Gasbadeöfen u. dgl. mit 25° Temperaturerhöhung:

$$k = 5,5 \text{ allgemein und normal,}$$

$$k = \div 7,5 \text{ für besonders kurze Anheizdauer;}$$

mit k soll man möglichst unter 7,5 bleiben, die Anheizdauer fällt immer noch kurz genug aus; ferner kann man nehmen:

für Gaskochöfen mit 90° Temperaturerhöhung:

$$k = 50 \div 60 \text{ für gewöhnliche Gasplatte,}$$

$$k = 22 \text{ zum Anheizen } \left. \vphantom{k = 22} \right\} \text{ für geschlossene Zylinder-Kochöfen}$$

$$k = 2,5 \text{ zum Warmhalten } \left. \vphantom{k = 2,5} \right\} \text{ (nach Prof. Junkers Modell aufgestellt);}$$

für Kessel mit Gasbrennerbatterieeinsatz:

$$k = 15 \div 20;$$

für Hochleistungskessel:

$$k = 8 \div 10 \text{ bei Leuchtgas mit } H_u = 5500 \text{ kcal/m}^3,$$

$$k = 12 \div 15 \text{ bei Mischgas mit } H_u = 4000 \text{ kcal/m}^3.$$

Die Gesamtgasmenge zur Erwärmung von Q l Wasser bestimmt sich dann zu:

$$B = k Q \text{ in l } \dots \dots \dots (16)$$

und die dafür aufgewandte Zeit zu:

$$Z = \frac{Q}{h} \text{ min } \dots \dots \dots (17)$$

Der Wirkungsgrad des Gases hängt natürlich von der Güte des Gasheizkörpers ab und ergibt sich aus der nutzbar gemachten Wärme, geteilt durch die aufgewendete Wärme, also zu:

$$\eta = \frac{Q(t-t_1)}{B H_u}, \dots \dots \dots (18)$$

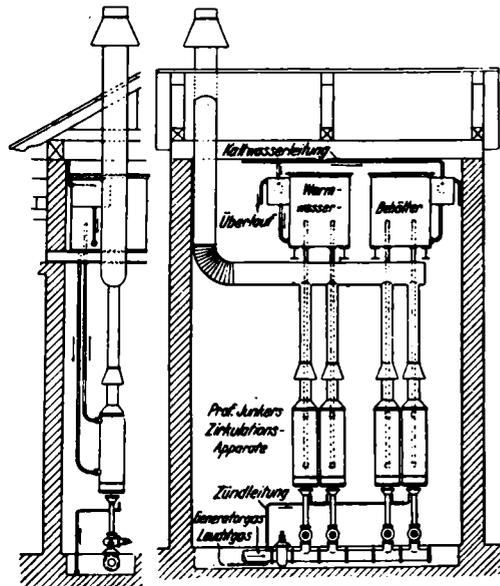
wenn Q l Wasser von t_1 ° auf t ° erhitzt sind und H_u den absoluten unteren Heizwert des Gases darstellt. Man kann mit $\eta = 0,85 \div 0,92$ praktisch

rechnen. Bei der gasförmigen Gestaltung des Brennstoffes ist die theoretische Verbrennungsluftmenge L fast gleich der wirklichen, daher der Luftüberschußkoeffizient $m = 1,0 \div 1,1$.

Neben dem reinen Steinkohlengas und dem Mischgas der städtischen und privaten Gasanstalten finden sich für vorliegende Zwecke ausgenutzt noch: das Generatorgas, Wassergas und für besondere Fälle das Hochofen-, Koksofen-, Schwelgas und das Erdgas.

Eine interessante Anlage größeren Umfanges ist die Warmwasserbereitungsanlage des städtischen Schlachthofes Waldheim i. S., deren Warmwasserapparate mit Generatorgas betrieben werden. Die Anlage ist nach Abb. 6 von Junkers & Cie., Dessau, im Jahre 1906 ausgeführt und arbeitete in den ersten Zeiten zur vollen Zufriedenheit der Besitzerin, ohne daß wesentliche Ausbesserungen vorgenommen werden mußten.

Die Anlage, welche in einem besonderen angebauten Gebäude von 4,5 m Länge, 2,5 m Breite und 6,5 m Höhe untergebracht ist, besteht aus zwei Systemen, von denen jedes zwei Junkers-Heißwasserapparate und einen direkt betriebenen Warmwasserbehälter mit daran befestigtem Kaltwasserschwimmergefäß umfaßt. Die Warmwasserbehälter besitzen je einen Nutzinhalt von ~ 1250 l und liegen zwecks Erreichung einer genügenden Druckhöhe ~ 5 m über den Zapfstellen. Die Speisung erfolgt von der städtischen Wasserleitung aus, das warme Wasser wird von den Behältern aus einer gemeinschaftlichen Gebrauchsleitung zugeführt, so daß je nach Bedürfnis warmes Wasser aus beiden oder nur einem entnommen werden kann. Elektrische Alarmvorrichtungen geben dem Bedienenden rechtzeitig das Steigen und Sinken der Wassertemperaturen in den zulässigen Grenzwerten an. Schwimmer-Wasserstandsanzeiger zeigen an einer Latte hinter den Gasapparaten die jeweilige Wasserstandshöhe in den Behältern an. Jeder Gasapparat kann getrennt für sich an- und abgestellt und in seiner Heizleistung nach Belieben geregelt werden. Die Anlage ist für eine stündliche Leistung von 180000 kcal



vorgesehen, d. h. es können stündlich 3000 l Wasser von 10° auf 70° erwärmt werden. Benutzt wurde die Anlage vorläufig für die ausreichende Leistung von $2 \cdot 1250 (70 - 10) = 150000$ kcal.

Dieser Anlage dient nun als Heizmittel ein Generatorgas, welches in der dem Schlachthofe anliegenden Deutzer Generatorgasanlage des städtischen Elektrizitätswerkes erzeugt wird. Als Rohstoff kamen Braunkohlen-Würfelbriketts der Gewerkschaft Bockwitz zur Ausnutzung, die sich in erster Linie durch ihren geringen Teergehalt auszeichnen und einen Heizeffekt von 4600 kcal besitzen. Das gewonnene Gas mit einem Heizeffekte von ~ 1000 kcal/m³ wurde als Überschußgas von der elektrischen Zentrale abgegeben und mittels eines 3-PS-Kapselgebläses durch eine mehrfach und stark gekrümmte ~ 60 m lange Leitung von 200 mm Durchmesser der Warmwasserbereitungsanlage des Schlachthofes zugeführt. Die Zündung in den Gasapparaten erfolgte durch Steinkohlengas (Leuchtgas).

Das Generatorgas besaß sehr geringen Teergehalt und erschien daher, da man es auch für trocken genug hielt, in derartigen Heizapparaten gut geeignet. Ein erheblicher Wassergehalt machte sich jedoch bald in einem unbeabsichtigten Wassersack der im Erdreich verlegten Gasleitung bemerkbar, so daß an dieser Stelle eine Wassergrube eingebaut werden mußte, die täglich durch Handpumpe zu leeren war, andernfalls das Gebläse das Gas bis zu den Warmwasserbereitern nicht durchzudrücken vermochte. Um den durch den Teergehalt hervorgerufenen Übelständen von vornherein entgegenzutreten, ist vor dem Hauptschieber ein kleiner Kiesfilter als Sicherheitsreiniger (in Abb. 6 nicht mit eingezeichnet) eingebaut, welcher aber nur selten, etwa jeden Monat einmal, gereinigt zu werden braucht.

Neben den üblen Eigenschaften eines hohen Wasser- und Teergehaltes besitzen diese Gase meist auch starken Schwefelgehalt, der in seiner leichten Neigung zu Kupfer- und Zinnverbindungen meist bald auf eine Zerstörung der verzinnnten kupfernen Gasapparate hinwirkt. Wohl infolge der soliden Ausführung der Heizkörper und deren vorbedachten Konstruktion als leicht zerlegbare Öfen zwecks Reinigens machte sich in der ersten Betriebszeit ein solcher Übelstand nicht besonders geltend. Die lockeren Rückstände des Gases ließen sich von Zeit zu Zeit aus dem einfachen Zylinderofen durch eingeführten Wasserstrahl herauschwemmen; während des nachdrücklicheren Reinigens eines Ofens trat ein Reserveofen in Tätigkeit. Im Laufe der Jahre jedoch vermochten selbst die soliden Ausführungen der Firma Junkers der ständigen starken Schwefeleinwirkung nicht standzuhalten. Es ergaben sich schließlich fortlaufende störende und kostspielige Ausbesserungen, so daß man ernsten Sinnes an eine bessere Warmwasserbereitung dachte. Eine Aushilfe bot zwar immer noch das reine Steinkohlengas der ebenfalls in unmittelbarer Nähe liegenden Gasanstalt, für welchen Zweck

von vornherein auswechselbare Spiralröhrenbrenner (anstatt der Düsenbrenner) vorgesehen waren. Damit erreichte man auch, abgesehen von den Betriebskosten, äußerst zufriedenstellende Resultate. Da kam der Krieg und mit in seinem Gefolge die häufige Stilllegung der Sauggasanlage des städtischen Elektrizitätswerkes, welches für den teuren und schwer zu beschaffenden Brikettbrennstoff den Anschluß an die Überlandzentrale vorzog. Damit traten dann auch die Gasöfen außer Betrieb, und es wurde die Warmwasserbereitung unter Belassung der ganzen Anlage in der Weise bewirkt, daß man in die beiden Warmwasserbehälter Frischdampf aus den Dampfkesseln der Gasanstalt direkt einleitet. Die Gasöfen bilden jetzt die Reserveheizung für die Wasserbehälter, wenn die Sauggasanlage in Tätigkeit tritt.

Man sieht hieraus, daß die Brauchbarkeit eines jeden Gases für Gasöfen nicht ohne weiteres gegeben ist. Es müssen vielmehr an ein Gas die Bedingungen geknüpft werden, daß es wie das reine Kohलगas möglichst geringen Teer- und Wassergehalt besitzt und fast völlig schwefelfrei ist.

Im allgemeinen wird auch für Gase immer noch der untere Heizwert zugrunde gelegt, so auch in diesen Abhandlungen. Es ist aber darauf zu achten, da in der Gastechnik jetzt schon vielfach mit dem oberen gerechnet wird.¹⁾

Für die gebräuchlichen Gase ist mit folgenden Werten des unteren Heizwertes H_u und der theoretischen Luftmenge L zu rechnen:

Reines Steinkohलगas (Leuchtgas)	$H_u = 4500 \div 5500$ kcal/m ³	$L = 5,5$ m ³ /m ³
Mischgas (10 ÷ 20% Wassergas)	$H_u = 4000 \div 4300$	$= 4,5$
Generatorgas (Brk., Torf, Koks)	$H_u = 1000 \div 1300$	$= 1,0$
Wassergas	$H_u = 2500 \div 2700$	$= 2,5$
Schwelgas	$H_u = 5000 \div 8000$	$= 7,0$
Gichtgas (Hochofengas)	$H_u = 800 \div 1000$	$= 0,7$
Koksofengas	$H_u = 3500 \div 4500$	$= 4,0$
Erdgas	$H_u = 8000 \div 10000$	$= 8,5$

Für 1000 kcal werden ~ 1 m³ Luft benötigt.

Für die Leistung eines Gasofens spricht weiter der Gasdruck mit. Dieser ist nicht nur in den einzelnen Städten und Stadtteilen sehr verschieden, sondern er unterliegt auch an der gleichen Entnahmestelle Schwankungen, die mit der je nach der Tageszeit stärkeren oder schwächeren Belastung des Netzes zusammenhängen. Daher ist sorgfältigste Einregulierung der Gasapparate an Ort und Stelle unter Berücksichtigung des vorhandenen Gasdruckes, insbesondere des Höchstdruckes am Abend, unerlässlich.

Hervorragende Bedeutung hat in letzter Zeit die Abgasverwertung erlangt. Zur Verfügung stehen die heißen Abgase (Rauchgase) der

¹⁾ Dr. Dommer: »Einiges über Definition und Bestimmung des Heizwertes von Gasen«. Das Gas- und Wasserfach, 72, Heft 8, 1929.

Hochdruckkraftdampfkessel, der industriellen Feuerungen, des Gaswerks, der größeren gewerblichen Wärmeanlagen und der Verbrennungsmotoren.

In allen diesen Anlagen können die Grundbrennstoffe für den Hauptzweck nur zum Teil nutzbar gemacht werden; ein Wärmeverlust ist zum größten Teil in den nach dem Schornstein hin abziehenden Rauchgasen enthalten. Mit welcher erheblichen Abgasverlusten man zu rechnen hat, geht aus der graphischen Darstellung der Abb. 7 hervor. Danach betragen die Wärmeverluste z. B. bei 10% CO₂ und 350° Abgastemperatur 23 — 10 = 13%.

Eine vollkommene Rückgewinnung der Abwärme ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich, da die untere Grenze der Ausnutzungs-

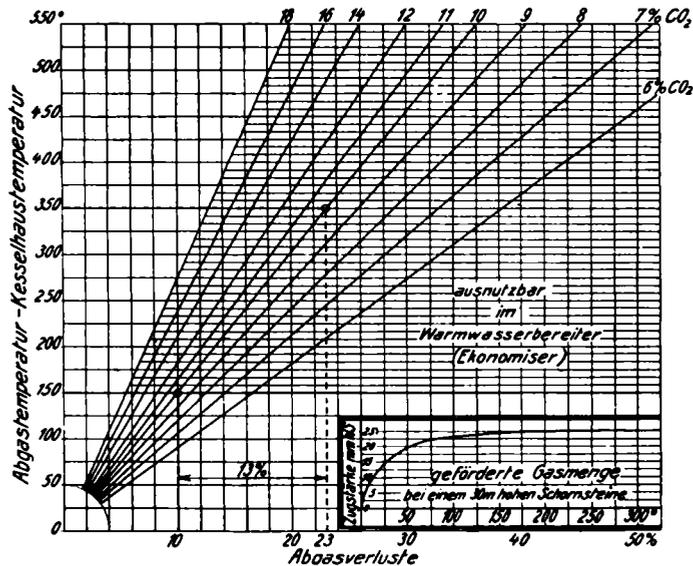


Abb. 7¹⁾.

möglichkeit von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Einmal ist bei natürlichem Zuge eine gewisse Temperaturhöhe zum Einhalten der erforderlichen Zugstärke nötig; ferner fallen bei zu geringen Temperaturunterschieden die Heizfläche des Wärmeaustauschers und damit die Anschaffungskosten zu hoch und unwirtschaftlich aus; schließlich muß wegen des Gehaltes an schwefliger Säure in den Rauchgasen die Bildung von Kondenswasser verhindert werden, da sonst das Metall durch das SO₂-haltige Wasser zu stark angegriffen wird. So sollten die Abgase durch den Abwärmeverwerter nicht unter 180 ÷ 150° abgekühlt werden. Bei Kleinanlagen kann man unter günstigen Verhältnissen vielleicht

¹⁾ Nach Föge, Hannover.

noch bis auf 120° heruntergehen (Abb. 7). Zum Erreichen eines guten natürlichen Zuges genügen auch meist $180 \div 150^{\circ}$, da bei diesen Schornsteintemperaturen das Maximum des geförderten Gasgewichtes erreicht ist. Bei künstlichem Zuge (Saugzug) ist man von der Zugkraft Z , unabhängig und kann hier gegebenenfalls auch eine weitere Ausnützung der Abgase zulassen. Im allgemeinen darf man durch die Abgasverwertung in Warmwasserbereitern eine Brennstoffersparnis von $\sim 10\%$ voraussetzen, in kleineren Anlagen auch noch höher.

Daß man der Rauchgaswärme schon seit längerem die ihr zukommende Bedeutung beimißt, mögen einige Beispiele an dieser wie auch an späteren Stellen zeigen.

In der Fernanlage des städtischen Krankenhauses Ludwigshafen, ausgeführt von Gebr. Sulzer, werden die Rauchgase zweier eingemauerter Zweiflammrohrkessel zu je 105 m^2 Heizfläche in Ekonomisern zur Warmwasserbereitung mit Erfolg ausgenutzt. Auf diese Weise werden monatlich 450 m^3 Warmwasser zu 70° erzeugt. Als Brennmaterial dient Gaskoks, dessen Beschaffung wegen der nahen Lage des Gaswerkes sehr leicht und der wegen seiner rauchschwachen Verbrennung für eine Spitalanlage von besonderem gesundheitlichem Werte ist. (Siehe auch unten »Fernwarmwasserversorgung«). Anlagen gleicher Art haben Gebr. Sulzer schon bei mehreren anderen Großbetrieben erfolgreich durchgeführt.

In einer Großbäckerei dienen die Rauchgase der 10 Backöfen, die mit 30 kg Braunkohlenbriketts pro Ofen und Stunde beheizt werden, zum Erwärmen des für den Backbetrieb, die Personenreinigung und die Waschanstalt benötigten Warmwassers. Die Kori-Müll- und Abfallverbrennungsöfen erhalten zur wirtschaftlichen Ausnutzung der Abgase Heizspiralen, die Warmwasser in reichlichem Maße für Genuß-, Gebrauchs- und Badezwecke liefern. Derartige Müllverbrennungsanlagen mit Warmwasserbereitung größeren Umfanges sind bei Wertheim-Berlin, den Fiatwerken-Wien, A.G. Goerz Friedenau und in vielen Schlachthöfen in zufriedenstellendem Betrieb.

Viele Betriebe sind trotz einwandfreier neuester Ofenbauarten aus betriebstechnischen Gründen gezwungen, Wärme aus Brennstoffen im Überschuß zu erzeugen. Hierher zählen vor allem die Hüttenwerke, deren verschiedenartige Öfen noch so reichliche Rauchgasmengen in den Schornstein entsenden, daß eine weitgehende Verwertung für die Erzeugung warmen Wassers für Badezwecke u. dgl. wirtschaftlich erscheint. In den Hüttenwerken legt man diesem Umstande jetzt immer höhere Bedeutung bei. Für eine direkte Warmwasserbereitung kommen die Abgase dieser Großhüttenöfen kaum in Frage, da jene hochwertige Gase mit $\sim 600 \div 1200^{\circ}$ sind und sich wirtschaftlicher zur Hochdruckdampferzeugung, für Trockenzwecke u. dgl. ausnutzen lassen.

Eine hohe Bedeutung ist der Abwärmeverwertung in den Gasanstalten beizumessen, wenn sie auch zurzeit noch nicht allgemein durchgeführt ist, wenigstens nicht in mittleren und kleinen Werken, und sie sich nicht allein auf Abgase, sondern auch auf Abdampf bezieht. In einem neuzeitlichen Gaswerk stehen an größeren Wärmequellen die Ofenabhitze der Entgasungsöfen (Vertikalkammeröfen), die Abwärme der Kokslöschung, die der Auspuffgase und des Kühlwassers von Gas-

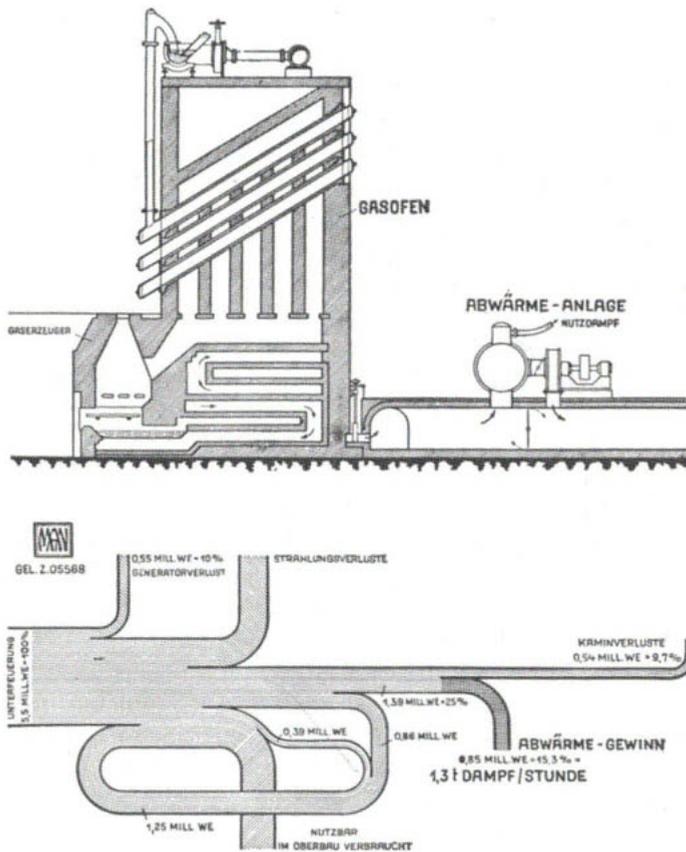


Abb. 8.

maschinen oder der Abdampf von Dampfmaschinen zur Verfügung. Abhitzeessel, hinter den Kammeröfen und gegebenenfalls hinter den Gasmaschinen eingebaut, sollten dann eine selbstverständliche Einrichtung der Gaswerke sein. Die Abgase der Unterverfeuerungen besitzen Temperaturen bis zu $\sim 700^\circ$. Es läßt sich damit der Warmwasserbedarf für das eigene Bedürfnis wie auch für eine anliegende öffentliche Schwimmbadanstalt meist reichlich decken, so daß der Zusammenschluß des Gaswerks

mit einer Badeanstalt eine berechnete neuzeitliche Forderung ist. Die Abwärmeeinrichtung ist derart, daß die Gasofenabgase auf den im letzten Ofenzug eingebauten Abgasverwerter als Heizschlange oder Kessel einwirken und darin Warmwasser (Heizwasser) oder Dampf erzeugen, die als indirekt wirkende Heizmittel zur Warmwassererzeugung in besonderen Behältern dienen.¹⁾

Die aus den Abgasen der Gaswerksöfen zu gewinnende Wärme beträgt:

$$W_A = c_p \cdot BG (T_2 - T_3) \text{ kcal/h} \quad \dots \dots \dots (19)$$

Darin:

- c_p = spez. Wärme der Abgase,
= 0,24 ÷ 0,32 je nach CO₂- und Wassergehalt,
- B = Koksverbrauch im Generator in kg/h, ~ 12 ÷ 16% des Gewichtes der vergasten Kohle (~ 75 kg für neuzeitliche kleinere Werke),
- G = Gewicht der Abgasmenge in kg/kg, = 1 + mL = 10 ÷ 16 kg/kg,
- T_2 = Abgastemperatur vor dem Verwerter = ~ 400 ÷ 700° bei Gasöfen mit Rekuperatoren, ~ 275 ÷ 400° bei Gasöfen mit Regeneratoren,
- T_3 = Abgastemperatur hinter dem Verwerter = 200 ÷ 150° (gegebenenfalls mit Saugzug).

Die Einrichtung wird hier am günstigsten so getroffen, daß man in den Fuchs der Retortenöfen nach Abb. 8 einen Niederdruckdampferzeuger oder nach Abb. 9 einen Warmwassererzeuger als Abhitzekessel einbaut, dessen Dampf bzw. Warmwasser als sekundäres Heizmittel für einen Gegenstromapparat (Abb. 9) liefert, aus welchem das warme Nutzwasser abgenommen wird. Der MAN-Ausführung Abb. 8 ist das Wärmediagramm eines Ofenblocks von 10 ÷ 12 Gasöfen beigegefügt; die Abb. 9 gibt eine Anlage von Schaffstaedt, Gießen, wieder. Durch diese Einrichtung erreicht man, daß kein kaltes Wasser in den Wärmeaustauscher des Fuchses tritt und ein höchst nachteiliges Schwitzen der Heizflächen vermieden wird. Das Schwitzen ruft Anbacken der schwefelhaltigen Flugasche, Verminderung der Wärmetransmission und Zerfressen des Eisenmaterials durch den Schwefel hervor.

In großen Anlagen werden die Abgase der Retorten- und Hüttenöfen in der Weise ausgenutzt, daß die anfallende Abwärme der Abgase besonders im Nachtbetrieb für den folgenden Tagesbedarf im Speicher mit Wasserfüllung aufgespeichert wird. (Siehe Abschnitt XI.)

Eine große Menge Gase, die unter Beachtung des eigentlichen Zweckes dieser Öfen als Abgase anzusprechen sind, liefern die Koksöfen. Nach Oehlschläger²⁾ erhält man aus 1 t Steinkohlen 250 ÷ 310 m³ Koks-

¹⁾ Dr. Geipert: »Neuzeitliche Leuchtgaserzeugung. (Abhitzekessel der Öfen).« Das Gas- und Wasserfach, 72, Heft 8 1929.

²⁾ Oehlschläger: Der Wärmeingenieur, 1925, Verlag Otto Spamer, Leipzig.

ofengas, wovon bei Regenerativ- oder Rekuperativöfen 40%, sonst 25% verwertet werden. Vor der Reinigung findet eine Kühlung der heißen Gase statt. Die hierbei abgenommene Wärme ist in erster Linie zur Warmwassererzeugung nutzbar zu machen.

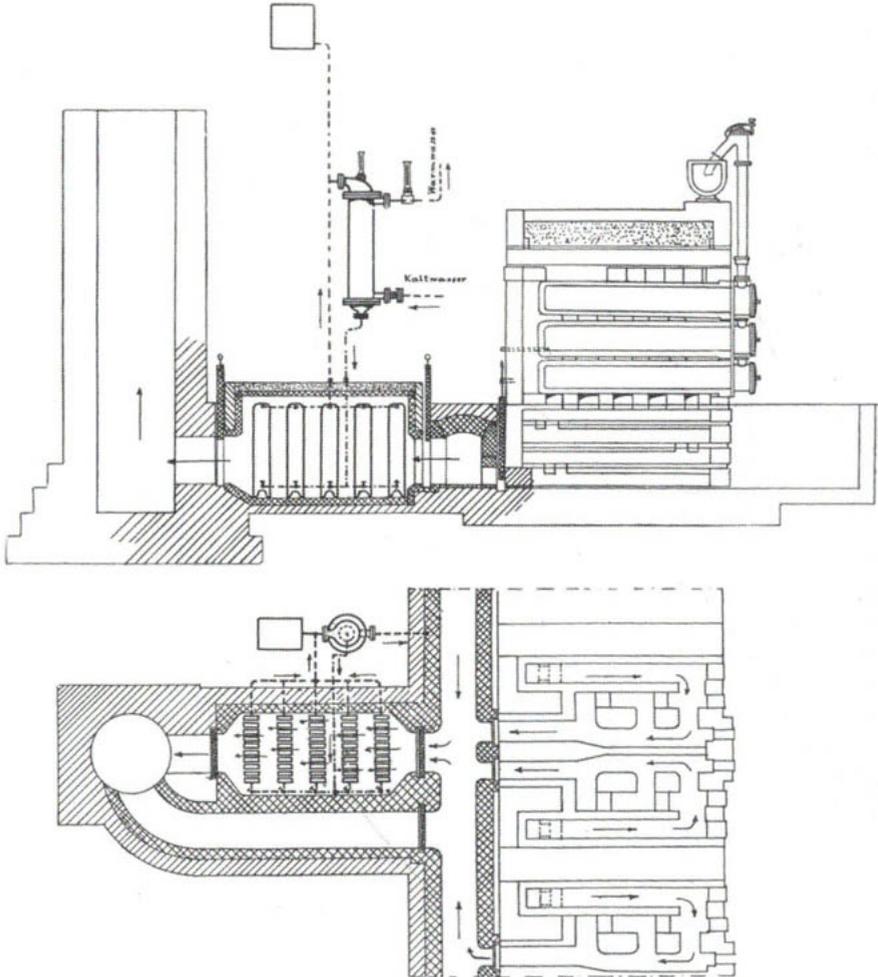


Abb. 9.

Ungefähre Temperaturen der Hüttenöfen-Abgase.

Gaswerksretortenöfen	400 ÷ 700°
Generatorgas-, Wassergaserzeuger . .	600 ÷ 800°
Martin-Flammöfen	550 ÷ 850°
Schweißöfen	1000 ÷ 1200°
Glühöfen-, Anwärmöfen	350 ÷ 450°

Porzellanöfen	} 1)	700 ÷ 1000°
Glasöfen . . .		400 ÷ 500°
Zementöfen . . .		400 ÷ 700°
Öfen der chemischen Industrie (N-Gase)		600 ÷ 800°

Die Abgase der Verbrennungskraftmaschinen besitzen neben Kühlwasserwärme eine so hohe Hitze, daß es sich wohl lohnt, sie ebenfalls zur Warmwasserbereitung auszunutzen, wenigstens sehr wirtschaftlich bei Leistungen von 100 PS_e aufwärts. Diese Abgase entweichen mit 500 ÷ 600° aus Gasmaschinen und mit 350 ÷ 450° aus Dieselmotoren. Wenn hier auch mit verschiedenen Mißhelligkeiten zu rechnen ist, wie nachteilige Gegenwirkung auf die Maschine, starke Unreinigkeit und geringes spezifisches Gewicht der Abgase, so sind jedoch auch hierfür geeignete Warmwasserbereiter entstanden. Auf jeden Fall dürfen darin diese Maschinenabgase keine zu tiefe Abkühlung finden.

Im allgemeinen lassen sich ~ 350 ÷ 600 kcal Abwärme auf 1 PS_e rechnen und in Form von heißem Wasser gewinnen; dabei soll eine Mehrbelastung des Motors und eine Erhöhung des Verbrauches nicht eintreten. Versuche, die der Verfasser in dem Elektrizitätswerk Hartha i. S. mit einem Schuseilschen Apparate angestellt hat, ergaben ebenfalls äußerst günstige Resultate.

Wirtschaftlich läßt sich jedoch nur die Abgaswärme der Großgasmaschinen und des Dieselmotors ausnutzen. Hottinger und Cochand geben folgende Versuchsergebnisse an einem 300-PS-Dieselmotor an²⁾.

Belastung: 291,4 PS; Heizwert des galizischen Öles: 10088 kcal/kg; stündlicher Brennölverbrauch: 0,187 kg/PS; stündlicher Kühlwasserverbrauch: 14,9 l/PS bei 21° Zulauftemperatur und 55,5° Ablauftemperatur; Anfangstemperatur des Abgases: 497°; stündliche Wassererwärmung: 4665 l von 50,9 auf 75,4°; Endtemperatur des Abgases (ins Freie): 150°.

Von der Abwärme sind stündlich nutzbar gemacht:

im Kühlwasser . .	516 kcal,
aus den Abgasen .	399 »
	<u>Sa. 915 kcal,</u>

also im ganzen von 291,4 PS:

$$291,4 \cdot 915 = 266631 \text{ kcal/h,}$$

durch die Abgaswärme allein:

$$291,4 \cdot 399 = 116269 \text{ kcal/h.}$$

Das sind wohl bedeutungsvolle und vielsagende Zahlen. Über weiteres siehe unten unter »Heizquelle« und »Berechnung der Heizkörper«.

1) Jaeschke »Die Verwertung der Abhitze in der keramischen, Glas- und Emailierindustrie.« Keramische Rundschau, 36, Heft 34 bis 36, 1928.

2) Zeitschrift d. Ver. d. Ing. 1912, S. 458.

B. Die Elektrizität.

Die Elektrizität als Heizmittel¹⁾ wurde bis vor gar nicht weit zurückliegender Zeit nur als annehmbare Zusatzheizung miterwähnt und selbst von Fachgenossen als Konkurrent anderer Heizmittel nicht sehr ernst genommen²⁾. Heutzutage haben sich Lage und Ansichten jedoch ganz wesentlich zugunsten der Elektrizität verschoben, und in erster Linie für Warmwasserbereitung, wogegen die elektrische Raumheizung stark zurücktritt.

Vorläufig ist zwar die Elektrizität, abgesehen von einigen bestimmten beschränkten Gebieten, zur Hauptsache immer noch ein Zusatz- und Aushilfsmittel geblieben und kommt in größerem Verbräuche nur dort zur ernstlichen Erwägung, wo elektrischer Strom preiswert und in genügender Menge und Stärke zur Verfügung steht. Trotz alledem hat die elektrische Industrie es sich angelegen sein lassen, diesbezügliche Apparate und Kessel für kleinere und auch größere Anlagen zu erstellen und in den Handel zu bringen. Für letztere können sich die Betriebskosten allerdings noch ganz bedeutend hoch belaufen.

Soll z. B. eine Wannenbad-Wassermenge von 200 l durch Elektrizität von 10° auf 35° erwärmt werden, so sind dem Wasser 200 (35 — 10) = 5000 kcal zuzuführen. Diese 5000 kcal können stündlich durch

$$\frac{5000}{0,24 \cdot 3600 \cdot 0,9} = 6,43 \text{ kW}$$

erzeugt werden, worin der Wirkungsgrad mit 0,9 eingesetzt ist. Wird der Heizstrompreis mit 15 Pf. für die kWh zugrunde gelegt, so ergibt sich ein Kostenaufwand von 6,43 · 0,10 = 0,65 M. Wollte man die 200 l in kürzerer Zeit als 1^h erwärmen, etwa wie durch andere Heizmittel in 15 min, so würden sich

$$0,65 \cdot \frac{60}{15} = \sim 2,6 \text{ kW}$$

ergeben. Die aufzuwendende Energiemenge, in kWh in dem Zähler gemessen, bleibt bei gleichem Effekte immer dieselbe.

Im Gegensatz dazu ruft eine Gasheizung mit 70% Nutzeffekt des Gasbadeofens, 4000 kcal Heizwert des Gases und 0,15 M. Gaspreis pro m³:

$$\frac{5000}{4000 \cdot 0,7} \cdot 0,15 = 0,27 \text{ M. Heizkosten hervor.}$$

Es stellen sich somit ungefähr die Heizkosten der Gasheizung: elektrischen Heizung = 0,27 : 0,65 oder = 1:2,5. Für einen Strompreis von 8 Pf./kWh, wie ihn Großwerke fordern, ist jedoch die elektrische Warmwasserbereitung gegen Gas mit 20 Pf./m³ wettbewerbsfähig oder allgemein bei 45% des Gaspreises.

¹⁾ von Brockdorff: »Die Elektrizität als Wärmequelle für Heizung und Warmwasserbereitung«. Gesundheits-Ingenieur, 50. Heft 8, 1927.

²⁾ Bolz: »Gas und Elektrizität im Wettbewerb«. Wasser und Gas, XVIII. Heft 19, 1928.

Noch weit günstiger liegen die Verhältnisse, wenn das Warmwasser unmittelbar am Orte des Verbrauches in Warmwasserspeichern (Boiler) gespeichert werden kann. Durch gute Wärmeisolation läßt sich ein tagelanges Heißhalten des Speicherinhaltes erreichen. Die beste Rentabilität ergibt sich ja für eine elektrische Zentrale, wenn sie stets gleichmäßig belastet wird, und für eine Wasserkraftanlage, wenn die Wasserkraft auch in den Zeiten der Arbeitsruhe, d. h. an Feiertagen, nachts und während der Arbeitspausen über Mittag usw. zur Ausnutzung kommen kann. Da bieten die elektrische Heizung und die Wärmeaufspeicherung im Warmwasser, also die Warmwassererzeugung auf elektrischem Wege eine höchst willkommene und die einzig richtige Lösung der Frage. Solche Anlagen sind denn auch schon von maßgebenden Firmen, wie von Maffei-München, der AEG, Kummeler-Aarau, Prometheus u. a., in großzügigster Weise erbaut und haben sich bis jetzt meist gut bewährt. Der Speicher wird durch eine Schaltuhr so betätigt, daß er nur innerhalb der Zeit, in der kein besserer Stromabsatz vorhanden ist, arbeitet. Durch einen selbsttätigen Temperaturregler wird der Speicher vom Netz abgeschaltet, sobald die gewünschte Wassertemperatur erreicht ist. Für die Entscheidung, ob nur Nachtbetrieb oder Dauerbetrieb zu wählen ist, sind natürlich der Tagesstrompreis und die Tarifgestaltung maßgebend. Allein in Südbayern sind bis 1926 ~ 41 kWh Überschußenergie in Elektrowärme verwandelt und zum größten Teil für Warmwasserbereitung ausgenutzt¹⁾. In Tab. 2 ist nur eine kleine Zahl der von Maffei, München, nach System von Brockdorff ausgeführten Anlagen angeführt.

Tabelle 2.

Lieferstation (meist Überschußenergie)	Verbrauchsstation und Zweck des erzeugten Warmwassers	Elektrokessel			Speicher (Boiler)		
		Anzahl	Leistung eines Kessels kW	Spannung Volt	Anzahl	Gesamt- Inhalt der B. m ³	Wasser- temp. °C
Städt. Elektr.-Werk Kaufbeuren	Heil- u. Pflegeanst.	1	750	5 000	2	60	80
Städt. Elektr.-Werk München	städt. Volksbad	2	4 000	5 000	3	100	80
Eigen. Werk d. Karer- seehotels	Hotelbedarf	1	250	2 000		60	80
Elektr.-Werk Fürsten- feldbruck	Schlachthof, Bad	1	250	2 000	2	24	90
Elektr.-Werk Fürsten- feldbruck	Josefspital	1	750	10 000	2	60	90
Elektr.-Werk Ulm . . .	Stadtbad	1	800	5 000	1	90	80

¹⁾ Dr.-Ing. Schwarzweber. »Überschußenergie und Elektrowärme«. Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen. 1927. Heft 6, Seite 175.

Eine weitere hochneuzeitliche und großzügige Warmwasserbereitung und -heizung wird zurzeit in der Römerstadt bei Frankfurt a. M. durchgeführt¹⁾).

Eine Warmwassererzeugung im kleinen auf elektrischem Wege hat immer ihre Berechtigung, da sie die großen Vorteile der elektrischen Heizung in sich schließt, die vor allem in der Reinerhaltung der Luft und dem sauberen, einfachen Betriebe zu suchen sind. Die elektrische Heizung ist aber, wenn nicht eine Speicherung vorliegt, dort nicht zu gebrauchen, wo plötzlich und rasch eine größere Menge warmen Wassers, etwa für ein Bad und mehr, benötigt wird. Je rascher die Erwärmung gefordert wird, um so mehr Strom ist nötig, und es wird sich dann ein Stromaufwand erforderlich machen, wie er an den wenigsten Orten zur Verfügung stehen dürfte.

C. Das Warmwasser und der Dampf.

Warmwasser oder Dampf können eigens zu Heizzwecken frisch erzeugt werden oder als Nebenprodukte von Kraftanlagen u. a. zur Ausnutzung kommen. Letztere Heizmittel umfassen dann mit den Abgasen das Gebiet der neuzeitlichen Abwärmeverwertung.

a) Das Frischwarmwasser und der Frischdampf.

Das Warmwasser und der Dampf liefern sehr beliebte Heizmittel zur Warmwassererzeugung. Für die Entscheidung für eines derselben kommt in erster Linie in Betracht, ob Warmwasser oder Dampf schon für andere Zwecke, etwa für eine Kraft- oder Heizungsanlage, zur Verfügung steht oder mitbenötigt wird. Eine Erzeugung dieser Heizmittel lediglich zum Zwecke des Betriebes einer Warmwasserbereitungsanlage ist, abgesehen von größten Anlagen, meist nicht zu empfehlen; der Zweck läßt sich mit anderen billigeren Heizmitteln und diesbezüglich einfacheren Einrichtungen weit günstiger durchführen. Bei Verbindung mit einer Heizungsanlage ist zu beachten, daß diese nur während der kalten Jahreszeit in Betrieb steht; für die Sommerszeit müßte also die Warmwassererzeugungsstelle mit einer selbständigen Feuerung versehen werden.

Als Heizmittel werden in der Regel Warmwasser unter 100°, seltener Heißwasser bis 150°, ferner Dampf im Niederdruck und Hochdruck zu jeder gebräuchlichen und bestehenden Spannung oder Hochdruck, auf 3 ata und weniger reduziert, benutzt.

In neuester Zeit bringt man für Fernanlagen dem bis auf ~ 120° überhitzten Wasser als Wärmeträger besonderes Interesse entgegen. Praktische Bedeutung hat solch hochtemperiertes Heizwasser in der

¹⁾ Dr. Thierbach: »Eine gasfreie Siedlung mit 1200 Wohnungen bei Frankfurt a. M.« VDI-Nachrichten, 8, Nr. 30, 1928.

Neuköllner Fernwasseranlage erhalten. Der Vorteil des überhitzten Wassers liegt darin, daß die im Fernrohrnetz umzuwälzende Wassermenge bedeutend kleiner sein kann als bei Warmwasser. Hierdurch werden ein wesentlich geringerer Kraftverbrauch für die Umwälzpumpen und entsprechend engere Rohrleitungen benötigt. Während 1 l warmes Heizwasser ~ 20 kcal abgibt, liefert 1 l überhitztes Wasser ~ 50 kcal, so daß dann die umzuwälzende Wassermenge 2,5mal kleiner ausfällt.

Das Warmwasser besitzt die Flüssigkeitswärme. Auf 1 kg Wasser bezogen, ist diese Flüssigkeitswärme q diejenige, die nötig ist, um 1 kg Wasser von 0° ohne Änderung des Aggregatzustandes bis auf die geforderte Höchstwassertemperatur T zu erwärmen. Die spezifische Wärme c ist die, welche nötig ist, um 1 kg des Stoffes von 0° auf 1° zu erhöhen, und $= \sim 1$ gesetzt werden kann.

Besitzen M l Heizwasser T_1° Anfangstemperatur, so ist bei der Erwärmung auf T° die ganze Heizwasserwärme:

$$q_w = M (T - T_1) \text{ in kcal}^1) \dots \dots \dots (20)$$

Ist M auf Stunde bezogen, so gibt q_w auch die Wärmemenge in der Stunde an.

Das natürliche Warmwasser, das Thermalwasser, kann ebenfalls dort, wo es auftritt, unter Umständen mit Vorteil als Heizmittel Verwendung finden. So dient z. B. in der neuen Badeanlage Aachen ein nicht unwesentlicher Teil der Wärme, welche dem 42° Thermalwasser, das kalt zur Mischung von Duschen benötigt wird, entzogen ist, zur Erzeugung warmen Wassers. Die in 150 m Tiefe liegenden heißen Quellen in Boise-Idaho, Nord-Amerika, welche 1890 bereits zugänglich gemacht wurden, liefern nach L. I. Huntington²⁾ als artesischen Brunnen täglich gegen 3000 m^3 Wasser von 80° . Dies Warmwasser wird in 3 km Entfernung, durch eigenes Gefälle den Verbrauchsstellen zufließend, für Zapf- und Heizungszwecke ausgenutzt. Der Temperaturverlust in den innen und außen verzinkten Leitungen beträgt nur $\sim 6^\circ$. Wegen der chemischen Einflüsse mußten die Rohrverbindungen mit Blei verstemmte Abdichtungen erhalten. Ähnliche Anlagen bestehen noch an verschiedenen anderen Orten der Erde.

In diesen Fällen ist das Heizmittel zugleich die Wärmequelle und die Mutter Erde die natürliche Warmwassererzeugerin.

Um gesättigten Dampf von bestimmter Spannung aus 1 kg Wasser erzeugen zu können, sind aufzubringen:

eine Flüssigkeitswärme q , welche nötig ist, um 1 kg Wasser von 0° ohne Änderung des Aggregatzustandes bis auf die Siede-

¹⁾ Entsprechend den weiteren Darlegungen im Abschnitt XII wird sein:

T = Vorlauftemp. T_s im Steigrohr zum Warmwasserbereiter,

T_1 = Rücklauftemp. T_r im Rücklaufrohr vom Warmwasserbereiter.

²⁾ The Plumbers and Heating Contractors Trade Journal. Bd. 82, Nr. 2. New York.

temperatur T (Dampf­temperatur entsprechend der Spannung) zu erwärmen, und

eine Verdampfungswärme r , welche nötig ist, um 1 kg Wasser in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln.

Somit ist die Wärme des Sattdampfes:

$$\lambda = q + r \text{ in kcal/kg} \dots \dots \dots (21)$$

Die Werte q und r sind für eine bestimmte, gegebene Dampfspannung in ata aus Tabellen zu entnehmen, wie eine solche in Abschnitt XIII als Tabelle III angeführt ist. Ist also der Überdruck oder Betriebsdruck p_u in atü gegeben, so hat man q und r zu entnehmen für:

$$p = p_u + 1 \text{ ata} \dots \dots \dots (22)$$

Man benutzt den Frischdampf (im Gegensatz zum Abdampf) mit:

- $p = 1,001 \div 1,5$ ata als Niederdruckdampf,
- $p = 1,05 \div 3,0$ » » reduzierten Hochdruckdampf,
- $p = 4,0 \div 25$ » » Hochdruckdampf,
- $p = 25 \div 100$ » » Höchst­druckdampf.

Dampfanlagen mit $p < 1,5$ ata, also $p_u < 0,5$ atü sind konzessionsfrei und können überall, auch unter bewohnten Räumen, vorgesehen werden.

Bisher war eine Anfangstemperatur des Wassers von 0° vorausgesetzt. In Wirklichkeit besitzt aber das Speisewasser eine höhere Temperatur T_1 , und zwar:

- $T_1 = \sim 7 \div 20^\circ$ ohne besondere Vorwärmung,
- $T_1 = \sim 40 \div 120^\circ$ mit besonderer Vorwärmung.

Sind nun D kg Sattdampf von p ata aus Speisewasser von T_1° stündlich zu erzeugen, so ist zu dieser Erzeugung eine Wärmemenge erforderlich von:

$$\lambda_D = D (\lambda - T_1) \text{ in kcal/h} \dots \dots \dots (23)$$

Bei allen Verdampfungsversuchen bezieht man aber das von 1 kg Brennstoff oder 1 m² Heizfläche erzeugte Dampf­gewicht auf Wasser von 0° und Sattdampf von 100° , also auf eine Wärmemenge:

$$\lambda = 606,5 + 0,305 \cdot 100 = 637 \text{ kcal.}$$

Dadurch macht man die Angaben nicht nur unabhängig von T_1 , sondern auch von p und T , was zu Vergleichen unbedingt nötig ist.

Nach den Gesetzen für gesättigte Wasserdämpfe ergibt sich, daß die Verdampfungswärme, die zur Ausnutzung kommt, mit zunehmender Dampfspannung nicht mitsteigt, sondern sogar abnimmt, wenn auch unbedeutend. Da Dampf von höherer Spannung die ganze Anlage verteuert, so empfiehlt es sich dort, wo andere Gründe nicht mitsprechen, bei einer Wahl zwischen Hochdruckdampf und Niederdruckdampf letzterem den Vorzug zu geben, infolgedessen die Anlage auch konzessionslos bleibt. Hochdruckdampf dient vielfach als Überschußdampf von Kraftanlagen u. dgl. zur direkten und indirekten Warmwassererzeugung.

Es ist stets zu empfehlen, vor der Warmwasserbereitungsstelle ein Verminderungsventil einzuschalten, durch das die Dampfspannung auf mindestens 3 ata herabgedrückt wird. Bis zu dieser Spannung lassen sich Apparate und Dichtungen noch ohne besonderen Kostenaufwand bequem durchführen und lebensfähig erhalten. Bei der indirekten Erwärmung mittels Heizschlangen und anderen Hilfsmitteln muß bei Hochdruckdampf an der Austrittsstelle ein Kondenswasserableiter eingeschaltet werden, um ein Durchschlagen des Dampfes zu verhindern. Beim Niederdruckdampf läßt sich das Kondenswasser zur Erreichung eines wirtschaftlicheren Betriebes dem Dampfkessel als Speisewasser direkt wieder zuführen; es muß dann aber der Kondenswassereintritt mindestens in Höhe des niedrigsten Wasserstandes des Kessels liegen, so daß dadurch eine gewisse Vorbedingung für die Disposition der Gesamtanlage und für die Verwendung von Niederdruckdampf gegeben ist.

Überhitzter Dampf bietet, abgesehen von Fernanlagen, für Warmwasserbereitungen keine erheblichen Vorteile, da die Überhitzungswärme nicht so bedeutend ist, daß ihre besondere Erzeugung gerechtfertigt erscheint. Besteht in irgendeinem Betriebe überhitzter Dampf, so wird man ihn auch zur Warmwasserbereitung auszunutzen wissen, gegebenenfalls durch Einbau von Heißdampfumformer¹⁾ oder Heißdampfkühler²⁾.

b) Der Abdampf.

Der Abdampf einer Maschine kann vorteilhaft zur direkten und indirekten Warmwassererzeugung ausgenutzt werden. Die Unterbringung der Abdampfwärme erfolgt am günstigsten in dem gut Wärme aufspeichernden Wasser. Warmwasser wird in jedem Betriebe gebraucht oder läßt sich als sekundäres Heizmittel weiter verwenden. Es ist darum nichts vorteilhafter, als die Erzeugung warmen Wassers selbst durch die kleinste Abdampfmenge zu bewirken, anstatt diese in die Atmosphäre oder den Kondensator zu leiten. Die heutige Wärmewirtschaft bedingt ohne weiteres eine restlose Erfassung und Rückgewinnung aller Abwärme, um so mehr, als sich bei geringen Anlagekosten einer Abdampfverwertung die Betriebskosten auf ein Minimum, und zwar meist nur für Ausbesserungen beschränken. Die Wärmemenge, die im Abdampf enthalten ist, hat solch beträchtliche Größe, daß es wohl zu verstehen ist, wenn die Abwärmeverwertung in der heutigen Technik eine große Rolle spielt und weite Gebiete der Industrie geradezu beherrscht.

¹⁾ Lichte: »Die Umformung von Heißdampf in Sattedampf«. Wärme- u. Kältetechnik, XXIX, Heft 11, 1927.

²⁾ Dr. Deinlein: »Heißdampfkühler«. Ztschr. d. Bayer. Rev.-Ver., XXXII, Heft 14, 1928.

Kämmerer: »Über die Temperaturregelung der Dampfkesselüberhitzer«. Sparwirtschaft, Heft 5, 1929.

Zur Erzeugung der Expansionskraft wird von der Maschine eine erhebliche Menge Dampf für 1 PS_i verlangt, die nach dem Bau der Maschine verschieden ist; z. B. sind für eine Einzylindermaschine ~ 12 kg pro PS_i erforderlich. Das mechanische Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit ist $A = \frac{1}{427}$. Für 1 PS_i werden daher theoretisch $\frac{60 \cdot 60 \cdot 75}{427} = 632,32$ kcal/h oder ~ 632 kcal verbraucht, also die Wärme von ~ 1 kg Dampf. In modernen Dampfmaschinen werden aber nur $\sim 10 \div 18\%$ der zugeführten Wärme in Arbeit umgesetzt. In Wirklichkeit beträgt der Dampfverbrauch bei neuzeitlichen Kondensationsmaschinen $\sim 4,5 \div 7,5$ kg/PS_ih und bei Auspuffmaschinen $\sim 6,5 \div 12$ kg pro PS_ih. Da sich somit der mittlere Wärmeverbrauch einer Kondensationsmaschine auf $6 \cdot 632 = \sim 3800$ kcal/PS_ih stellt, so treten bei 16% Arbeitsleistung in der Maschine aus derselben $3800 \cdot (0,16) = 3200$ kcal/PS_ih aus. Bei z. B. 100 PS_i erhalte man dann eine Abdampfwärme mit 320000 kcal/h. Durch die Kondensation liegt aber in dieser an sich bedeutenden Wärmemenge eine so niedrige Temperatur (= 55°), daß jene für Warmwasserbereitzungszwecke nur beschränkten Wert hat. Weit günstiger liegen die Verhältnisse bei der Auspuffmaschine, deren Abwärme bis 100° besitzen kann.

Nach Hüttig¹⁾ ist bei p ata Dampfdruck und $n\%$ Dampfnässe der Wärmeinhalt des in die Maschine einströmenden Dampfes:

$$\lambda_e = q + \left(1 - \frac{n}{100}\right) r \text{ kcal/kg} \dots \dots \dots (24)$$

darin q = Flüssigkeitswärme des Sattdampfes bei p ata, }
 r = Verdampfungswärme des Sattdampfes bei p ata, } Tabelle III.
 $n = 2\%$ bei Flammrohr- und Zylinderkesseln,
 $= 3\%$ bei Kammerkesseln, Heizröhrenkesseln,
 $= 5\%$ bei Steilrohrkesseln, stehenden Kesseln.

Ist ferner:

$$632,32 = \frac{75 \cdot 3600}{427} = \text{theoretische Wärmemenge für 1 PS}_i\text{h, also die}$$

Wärmemenge, die in Arbeit umgesetzt und durch die indizierte Leistung der Maschine angegeben wird,

$$V = \text{Wärmeverlust der Maschine,} \\ = 100 \div 120 \text{ kcal/PS}_i \text{ (bei hohem } p \text{ und Überhitzung größer),}$$

$$C_m = \text{Kondensat der Mantelheizung} = \frac{y}{100} D_i \text{ in kg/PS}_i,$$

$$D_i = \text{Dampfverbrauch in kg/PS}_i\text{h,} \\ y = 10 \div 15\% \text{ bei Zweizylindermaschine und ges. Dampf,} \\ = 2,5 \div 4,5\% \text{ bei Zweizylindermaschine und überh. Dampf,}$$

¹⁾ Hüttig: Heizungs- und Lüftungsanlagen in Fabriken. 1923. Verlag Otto Spamer, Leipzig.

so ist der Wärmehalt des aus der Maschine austretenden Dampfes:

$$\lambda_a = \frac{D_i \lambda_s - 632,32 - V - C_m q}{D_i} \text{ kcal/kg} \dots (25)$$

Der Warmwasserbereiter findet zwischen der Maschine und dem Kondensator, in möglichster Nähe der ersteren, seinen Einbau, daher hat man zu rechnen mit:

$$\begin{aligned} p_a &= \text{Kondensatordruck} + \text{Widerstand vom Ausströmungsventil der} \\ &\quad \text{Maschine bis zum Kondensator} = (0,15 \div 0,25) + 0,05 \text{ ata,} \\ q_a &= \text{Flüssigkeitswärme bei } p_a, \\ r_a &= \text{Verdampfungswärme bei } p_a \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} p_a \\ q_a \\ r_a \end{aligned}} \right\} \text{ Tabelle III.}$$

Es ist dann die spezifische Dampfmenge:

$$x = \frac{\lambda_a - q_a}{r_a}, \dots (26)$$

d. h. das aus der Maschine austretende Gemisch besteht aus $100x\%$ Dampf und $100(1-x)\%$ Wasser.

Es stehen mithin für den Warmwasserbereiter bei N_i indizierten PS_i zur Verfügung:

$$W_o = x \lambda_a D_i N_i \text{ kcal/h} \dots (27)$$

Praktisch nimmt man überschläglich die in Arbeit umgesetzte Wärme einschließlich Verluste zwischen Dampfleinlaß der Maschine und Heizkörper mit $25 \div 30\%$ an, so daß sich danach die im Heizdampf enthaltene Wärme mit λ entsprechend p ata bestimmt zu:

$$W_o = \sim (0,70 \div 0,75) \lambda D_i N_i \text{ kcal/h} \dots (27a)$$

und weiter die absolute Dampfaustrittsspannung an der Maschine zu:

$$\begin{aligned} p_a &= \sim 1,03 \div 1,25 \text{ ata bei Auspuffmaschinen,} \\ p_a &= \sim 0,15 \div 0,35 \text{ ata bei Kondensationsmaschinen.} \end{aligned}$$

In der weiteren Verwertung hat der Abdampf als Heizmittel für Warmwasserbereitungszwecke nun weitere Arbeit zu leisten. Dabei ist aber darauf zu achten, ob nicht durch die hierbei geleistete Arbeit des Abdampfes auf den Kolben der Maschine ein Rückdruck ausgeübt wird, der zu seiner Überwindung mehr direkten Dampf erfordert, als zur Erzeugung des warmen Wassers durch diesen direkt nötig gewesen wäre. Es muß daher stets ein Absaugen des Abdampfes von der Maschine stattfinden. Diese Bedingung ist jedoch bei der geringen Spannung des Abdampfes nicht immer leicht zu erreichen. Da der Heizdampfbedarf im Warmwasserbereiter meist annähernd konstant sein wird, ergeben sich die wirtschaftlich günstigsten Verhältnisse bei einer gleichbleibenden Maschinenleistung. Ist die Abdampfmenge größer als die benötigte Heizdampfmenge, so kommen Anlagen mit Gegendruckmaschine oder mit Zwischendampfenahme in Frage.

Der theoretische Vorgang bei der Auspuffmaschine ist sehr einfach. Der in dem Warmwasserapparat eingeströmte Abdampf kondensiert, das hierdurch entstehende Vakuum saugt weiteren Dampf an, verringert den Gegendruck vor dem Kolben der Maschine und bewirkt dadurch einen geringeren Dampfverbrauch bzw. bei demselben Dampfverbrauch eine größere Leistung der Maschine. Der Warmwasserbereiter wirkt also ähnlich wie ein Kondensator, wobei das zu erwärmende Nutzwasser der Warmwasserbereitung als Kühlwasser dient. An sich erfolgt die Wassererwärmung in der gleichen Weise wie durch den Frischdampf, dessen höhere Spannung ihm zwar eine entsprechend hohe Heiztemperatur sichert. Trotzdem ermöglicht der Abdampf der Auspuffmaschine eine Wassererwärmung bis $\sim 95^{\circ}$.

Der Abdampf und Zwischendampf¹⁾ der Kondensationsmaschine gewährt dort eine vorzügliche ergiebige Wärmequelle, wo Wasser nur auf $40 \div 50^{\circ}$ erwärmt zu werden braucht. Die vielfach vertretene Ansicht, daß durch Einbau eines Warmwasserbereiters eine Verschlechterung des Vakuums und damit ein erhöhter Dampfverbrauch der Maschine eintritt, ist nur dann berechtigt, wenn dadurch eine erhöhte Anzahl Dichtungsstellen geschaffen und der Dampfweg verengt und erheblich verlängert wird. Da das Dampfluftgemisch eine dem Vakuum entsprechende Temperatur besitzt, die meistens zwischen 50 und 60° liegt, so läßt sich ein $40 \div 50^{\circ}$ temperiertes Wasser ganz gut erzielen. Mit Sicherheit kann man rechnen, daß mittels 1 kg Abdampf von Kondensationsmaschinen $10 \div 13$ l Wasser auf $40 \div 50^{\circ}$ erwärmt werden. An kalten Tagen kann man aber unbedenklich das Wasser weit höher, etwa bis auf $\sim 70^{\circ}$ erwärmen, da erfahrungsgemäß der Dampfverbrauch erst bei einem Vakuum unter 550 mm nachteilig und erheblich steigt. Liegt in einer Fabrik Verwendung für warmes Wasser vor, so ist es meist vorteilhafter, die Kondensation mit schlechtem Vakuum zu führen und dafür erwärmtes Wasser zu erzeugen, als die Maschine mit gutem Vakuum arbeiten und das erwärmte Kühlwasser unbenutzt ablaufen zu lassen.

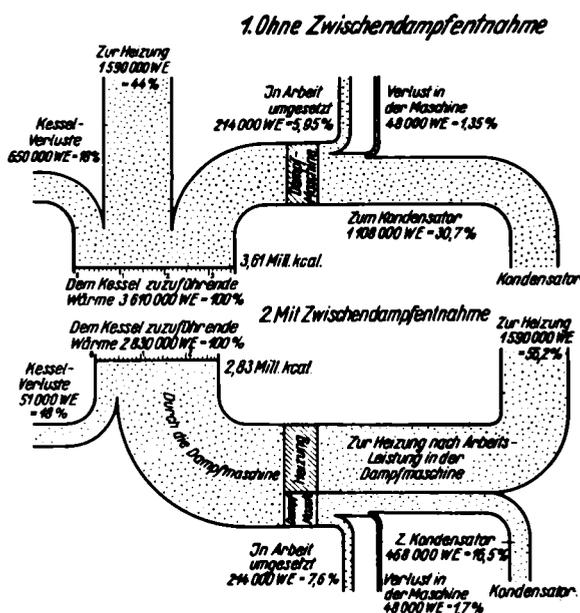
Auf jeden Fall darf wohl behauptet werden, daß das Hauptgebiet der Abdampfverwertung neben Koch-, Heiz- und Trockenzwecken in der Warmwasserbereitung liegt; daß also Abdampfverwertung für Badeanstalten, Brauereien, Brennereien, Färbereien, Waschanstalten, Schlachthöfen, Papierfabriken, chemische Fabriken usw. zur Erreichung eines wirtschaftlichen Betriebes selbstverständlich sein sollten.

Was die wirklich erreichbare Wärmemenge anbetrifft, die durch Verwertung des Abdampfes gewonnen werden kann bzw. sonst verlorengeht, dafür seien einige praktische Beispiele angeführt.

In der Abdampf-Badewasserbereitungsanlage auf der staatlichen Zeche Waltrop wird das Wasser für die Mannschaftskaue, 62000 m³

¹⁾ Zwischen den Zylindern einer Verbundmaschine entnommen.

jährlich, dem Kaminkühler-Zulaufrohr entnommen; dasjenige für Wannenküder, 7600 m³ jährlich, ist Leitungswasser, das durch einen Teil des Abdampfes der Fördermaschine in 3 Gegenstromapparaten von je 100 m² Heizfläche erwärmt wird. — Die Pumpstation des städt. Wasserwerkes Spandau besitzt zwei liegende Zwillings-Dampfpumpen mit Einspritzkondensation. In die Vakuumdampfleitung ist ein durch Wechselventile ausschaltbarer Schaffstaedt-Gegenstromvorwärmer eingebaut, durch welchen 30 ÷ 40 m³/h Warmwasser von 40 ÷ 45° für das 3 km entfernt liegende Hallenschwimmbad ohne jede Rückwirkung auf die Ma-



schine oder Verringerung des Vakuums erzeugt werden (siehe auch S. 54 Fernvers.). — Eine von der MAN erbaute Kesselanlage mit Kondensationsmaschine liefert nach dem oberen Wärmediagramm (Abb. 10) Frischdampf für Maschine und Heizung (letztere mit 1 590 000 kcal) und bedarf dazu einer Wärmezuführung von 3 610 000 kcal, während nach dem unteren Diagramm dieselbe Menge Wärme von 1 590 000 kcal für Heizung, Warmwasserbereitung usw. von dem Zwischendampf der Maschine geleistet wird und die Kesselanlage dann nur noch 2 830 000 kcal von der Feuerung verlangt.

Manchmal ist für die Abdampfausnutzung zu deren Nachteil der Umstand ausschlaggebend, daß eine Abdampfanlage weit größere Rohrquerschnitte erfordert als eine Hochdruckdampfanlage. Bei gut ver-

legten, hinreichend weiten Abdampfzöhren macht sich eine schädliche Rückwirkung auf den Kolben nicht bemerkbar, selbst wenn die Auspuffleitung eine erhebliche Länge hat. Unter »gute Verlegung« ist eine Verlegung der Röhre ohne scharfe Knie, Querschnittsverengungen usw. zu verstehen. Reicht der Abdampf nicht aus oder ist die Maschine nicht dauernd in Betrieb, so muß Frischdampf mitbenutzt werden, der behufs Ansaugens des Abdampfes in die Abdampfleitung gleichgerichtet wie dieser einzuföhren ist. Um auch hierbei einen Gegendruck auf die Maschine durch den Frischdampf zu vermeiden, ist an der Mischstelle ein Dampfstrahlsauger (Abb. 11) oder Mischapparat einzubauen.

Diese Armatur ist aber so zu bemessen, daß eine Drosselung des Abdampfes nicht eintritt, wenn kein Frischdampf

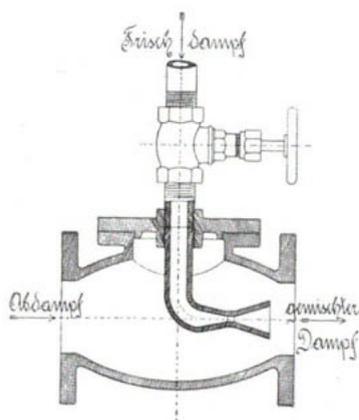


Abb. 11.

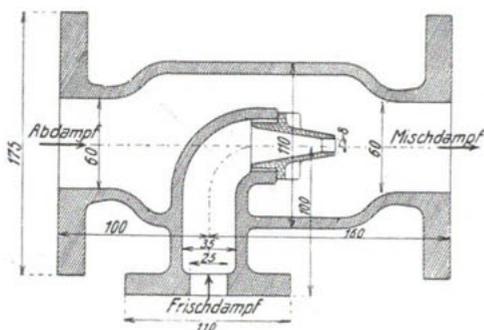


Abb. 12.

eingeföhrt wird. Daher ist die Ausführung von Körting nach Abb. 12 der nach Abb. 11 vorzuziehen. Die Tabelle 3 gibt die einzuhaltenden Rohrmaße an.

Tabelle 3.

Mischapparate für Frisch-Abdampf.

Abdampfrohr- ϕ . . . mm	32	38	45	51	60	70	80	90	100
Frischdampfrohr- ϕ . . . mm	15	15	20	20	25	25	30	30	35
Baulänge mm	170	200	230	250	260	300	330	360	400

Man kann auch an Stelle dieser Organe den Frischdampf mit Hilfe eines Druckverminderers auf die Spannung des Abdampfes herabdrücken. Bei zu großer Menge Abdampf wird nur dieser allein benutzt und der Überschuß durch die Auspuffleitung abgeföhrt. Zur Einregelung des Dampfverbrauches dienen ein Sicherheitsventil, Reduzierventil, Absperrventil und zwei durch einen Gelenkhebel zwangsläufig verbundene Drosselklappen oder ein Dreiweghahn u. dgl. Das Sicherheitsventil hat den Zweck, einen Gegendruck auf den Kolben der Maschine zu ver-

hindern, indem es bei Abschluß der Heizkörper den Überschußdampf durch das Abspuffrohr entweichen läßt. Eine Anordnung aller dieser Teile gibt nach Abb. 13¹⁾ die ältere Anlage einer Badeanstalt, betrieben

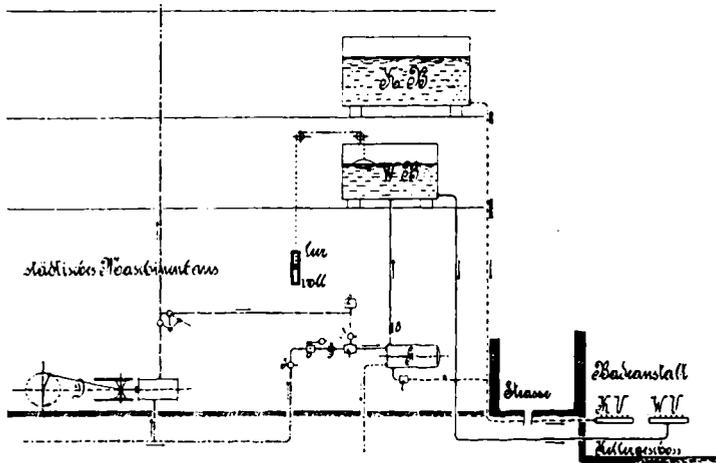


Abb. 13.

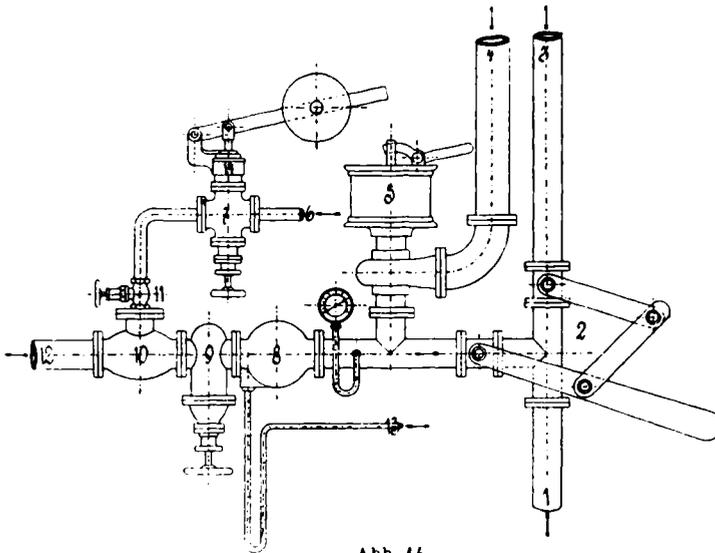


Abb. 14.

von einem in der Nähe liegenden städtischen Maschinenhause, nach einem Entwurf des Stadtbaurates Arnoldt, an.

¹⁾ Es bedeuten in Abb. 13: 1 = 2 Drosselklappen als Wechselklappe, 2 = Sicherheitsventil, 3, 5 = Absperrventile, 4 = Mischapparat, 6 = Reduzierventil, 7 = Regulierventil zur Einstellung der Warmwassertemperatur, 8 = Thermometer, G = Gegenstromapparat.

Anstatt dieser umfangreichen, weitläufigen und umständlichen Anhäufung der vielen Organe, wendet man jetzt gedrängtere Konstruktionen nach Abb. 14¹⁾ an. Die zwangsläufig verbundenen Drosselklappen bei

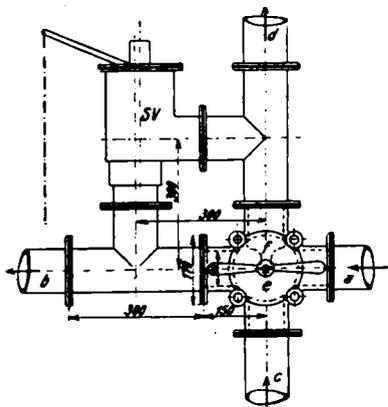


Abb. 15.

2 in Auspuff 3 und Heizleitung 12 ersetzt Buderus durch die Umschaltvorrichtung der Abb. 15, die in dem Kugelkreuzstück *e* einen inneren Rotguß-Drehschieber *f* enthält. Das Organ wird in den Kreuzpunkt der Frischdampfleitung *a* — Heizleitung *b* und Maschinenabdampfleitung *c* — Auspuff *d* eingebaut. Ist nicht genug Abdampf vorhanden, so wird durch das in Leitung *a* eingeschaltete Reduzierventil Frischdampf in die Heizleitung eingelassen. Steigt in letzterer der Druck über 0,12 at, dann öffnet sich das Sicherheitsventil *SV* und läßt den Überschußdampf durch *d* ins Freie.

Eine weitere vorteilhafte Zusammendrängung der Apparatur bietet der Druckregler mit Umschaltvorrichtung von Schäffer & Budenberg nach Abb. 16. Wird Abdampf nicht benötigt, dreht man das obere Handrad so, daß die Umschaltbuchse *a* an der am Ventildeckel angebrachten Skala auf Auspuff zeigt. Der Regulierkolben, der als Sicherheitsventil wirkt, nimmt dann die Stellung nach Abb. 16 ein. Der von unten eintretende Abdampf zieht ungehindert durch *d* ab, der Heizbetriebstutzen ist abgeschlossen. Für Heizbetrieb ist das Handrad um 90° zu drehen, so daß Abdampf durch *g* und *e* abfließt und das Frischdampfventil *f* geöffnet ist. Das Gewicht *i* sichert den gewünschten Druck in der Heizleitung. Die Öffnungen *h* dienen zum Abziehen von Überschußdampf bei Heizbetrieb.

Bei der direkten oder unmittelbaren Erwärmung strömt der Abdampf direkt in das zu erwärmende Wasser, sich mit diesem vermischend. Wegen des Ölgehaltes wird aber wohl überall dort, wo es eben angängig ist, die indirekte Erwärmung unter Einschaltung eines Heizkörpers vorzuziehen sein, dessen Platz möglichst nahe der Maschine zu wählen ist. Bei der Kondensationsmaschine wird der Platz zwischen Motor und Kondensator liegen, so daß der Warmwasserbereiter einen primären Kondensator darstellt, während der eigentliche Kondensator als sekundärer Verdichter des Dampfes anzusehen ist.

¹⁾ Es bedeuten in Abb. 14: 1 = Abdampf von der Maschine, 2 = Wechsellappe, 3 = Auspuff, 4 = Dampf ins Freie, 5, 7 = Sicherheitsventil, 6 = Frischdampf vom Kessel, 8 = Wasserabscheider, 9 = Absperrschieber, 10 = Dampfmischapparat, 11 = Absperrventil, 12 = Heizungsleitung, 13 = Entwässerung, 14 = Reduzierventil.

Immerhin wird in vielen Betrieben wie in Färbereien, chemischen Fabriken, selbst Schlachthöfen direkte Erwärmung gern bevorzugt. Anlage und Betrieb stellen sich äußerst einfach, der Abdampf wird restlos ausgenutzt. Aber immer wieder muß als ein wichtiger Faktor,

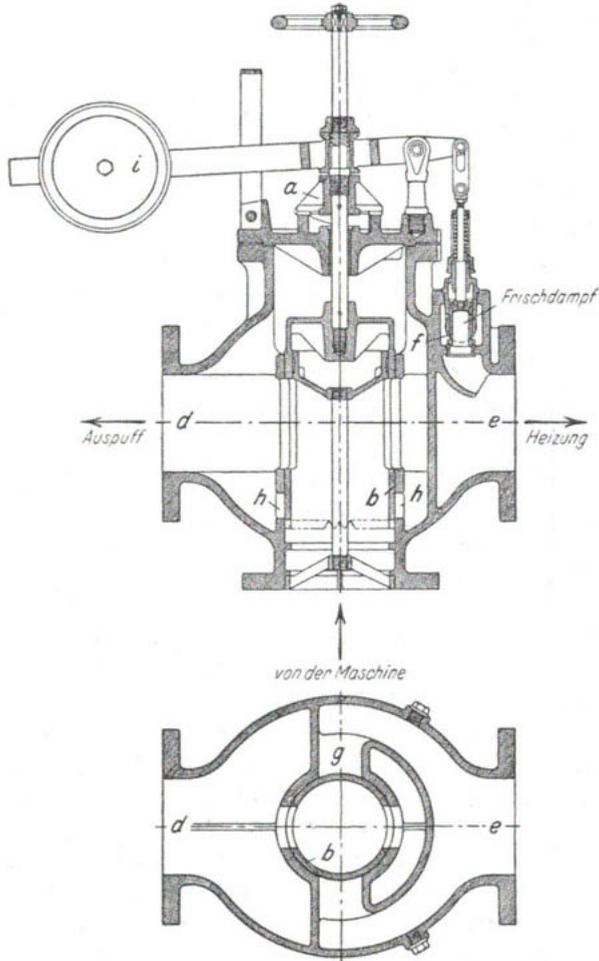


Abb. 16.

der für Benutzung des Abdampfes zur Erwärmung von Gebrauchswasser mitzusprechen und ausschlaggebend zu sein hat, der Ölgehalt erachtet werden. Und dieser ist in der Regel ein hoher.

Viele Betriebsstörungen und Unannehmlichkeiten sind auf das Öl im Abdampf zurückzuführen. Steht auch einer indirekten Erwärmung des Wassers mittels Abdampf, z. B. in den Gegenstromapparaten, nichts

im Wege, so ist aber für direkte Erwärmung unbedingt eine Entölung vorzunehmen, auch wenn das Wasser nicht für Genußzwecke Verwendung findet und es auf Kosten der Dampfmenge geht. Man erreicht dafür den Vorteil eines nicht unbedeutenden Ölgewinnstes; je nach der Größe der Maschine lassen sich täglich $\sim 1,5 \div 8$ l Öl wieder gewinnen. Sogar Frischdampf kann unter Umständen eine Ölreinigung bedingen, ehe er zur direkten Erwärmung eines Gebrauchswassers herangezogen wird.

Die Konstruktion der Abdampfentöler muß als bekannt vorausgesetzt werden. Eine Ölreinigung auf elektrischem Wege erbringt sehr klares Wasser.

Die Anlage einer Groß-Warmwasserbereitung mit vereinigttem Turbinenabdampf- und Frischdampfbetrieb beschreibt im Prinzip Provinzial-Ingenieur Tilly im »Gesundheits-Ingenieur«¹⁾, um in erster Linie die Rentabilität einer Niederdruck-Dampfturbinenanlage gegenüber einer Dampfmaschinen- und Gasmotorenanlage festzustellen. Die Anlage, wie sie in schematischer Weise in Abb. 17 dargestellt ist, ist für eine Krankenanstalt zu 800 Köpfen mit ~ 900 l Wasserverbrauch für Kopf und Woche gedacht. Außer der Warmwasserbereitung dient die Zentrale dem Kraftbetrieb, der Heizung und Beleuchtung.

Der Dampf wird nach Abb. 17 in drei Koksschüttkesseln für $\sim 0,4$ atü erzeugt, von denen einer zur Reserve aufgestellt ist. Die Sammlung und Verteilung des Dampfes erfolgt mittels des Dampfsammlers, des Ventilstockes. Der Abdampf der Niederdruck-Dampfturbinen strömt zum Kondensator. Dieser wird vom Hochbehälter 1 mit Kühlwasser versorgt, das nach erfolgter Erwärmung unter einer dem Wasserstandsunterschiede des Hochbehälters 1 und des Überlaufgefäßes 2 entsprechenden Druckhöhe in das Überlaufrohr des letzteren abfließt, wenn es nicht vorher der Warmwasserbereitungsanlage entnommen wird. Da das Kühlwasser des Turbinenkondensators im allgemeinen nicht die für seine Benutzung zu Bade- und Spülzwecken erforderliche hohe Temperatur besitzt, dient ein mit Heizrohrbündel versehener Nachwärmer zur Erreichung der gewünschten Wärmewirkung. Letzterer hat gleichzeitig die Aufgabe, bei Außerbetriebsetzung der Turbinenanlage die Bereitung des warmen Wassers mittels direkt aus dem Kessel übergeleiteten Dampfes zu übernehmen. In diesem Falle besorgt, zur Erhaltung einer gleichmäßigen Wassertemperatur, die Zentrifugalpumpe die Umwälzung der im Rohrnetz befindlichen Wassermenge. Das Überlaufrohr des Behälters 2 wird dann durch entsprechende Stellung der Ventile in den anschließenden Leitungen außer Betrieb gesetzt. In jeder Gebäudegruppe ist eine Erweiterung der Warmwasserzuleitung in Form eines geschlossenen Warmwasserspeichers angeordnet, dessen Inhalt bei

¹⁾ Gesundheits-Ingenieur, 32. Jahrgang, Nr. 35.

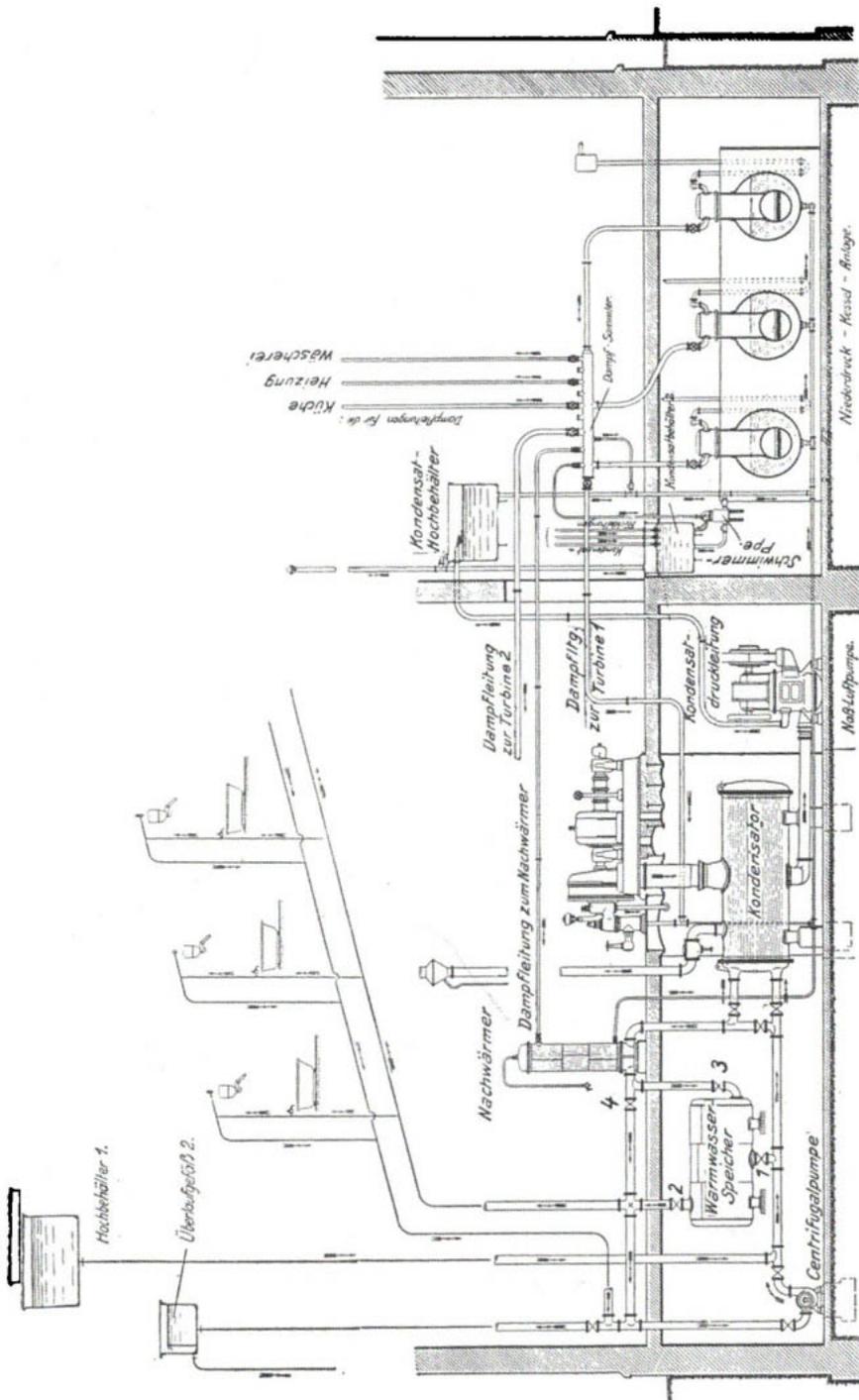


Abb. 17.