

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Zum Gaskursus

Bunte, Hans

München, 1903

[urn:nbn:de:bsz:31-289873](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289873)

03

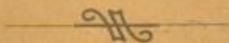
IVA
418

IV A 418

ZUM GASKURSUS.

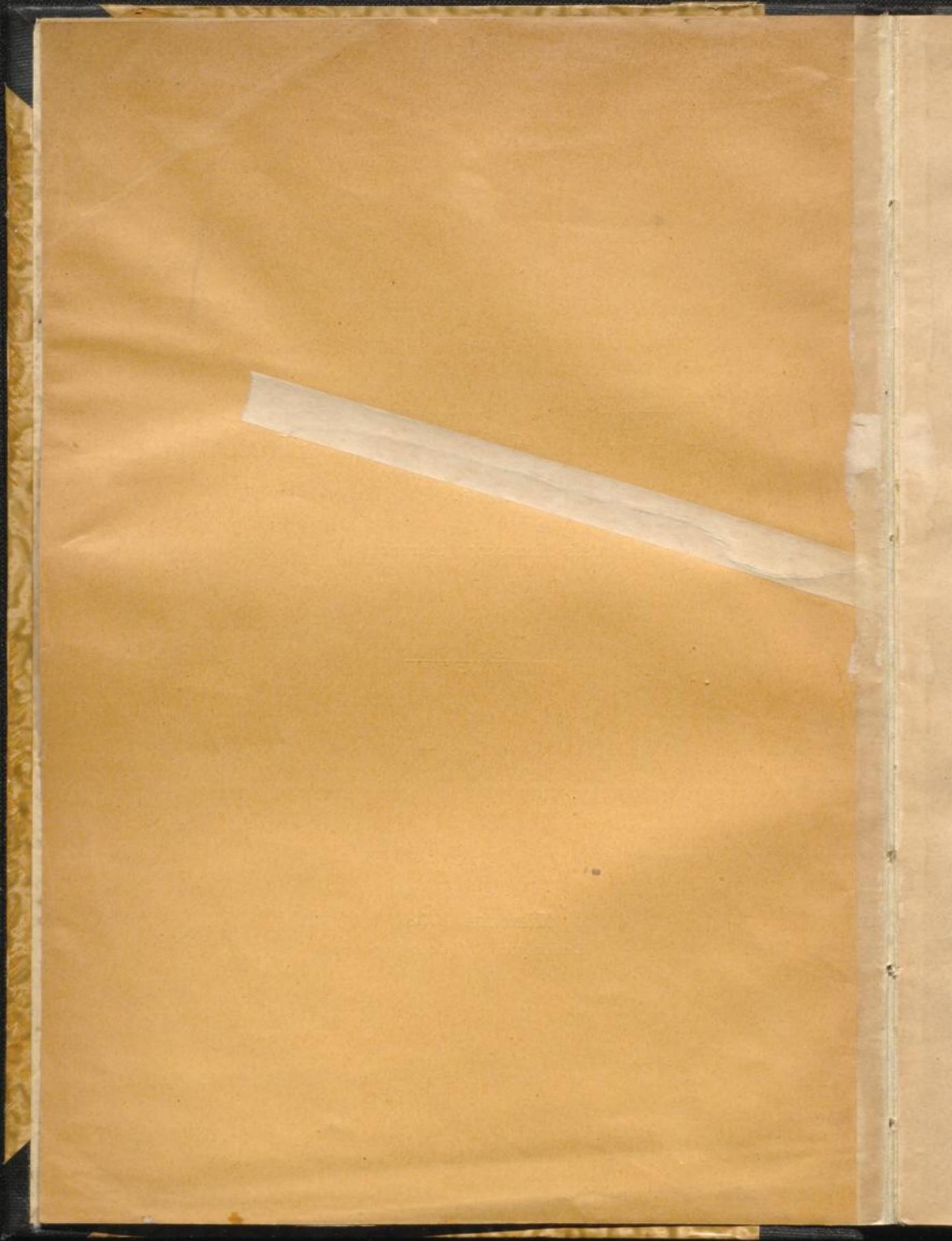
1903.

(Als Manuskript gedruckt.)



München 1903.

Druck von R. Oldenbourg.



ZUM GASKURSUS.

Leitsätze

aus dem chemisch-physikalischen Teil des Unterrichtes

in

GAS - CHEMIE

und

Anleitung zu den praktischen Übungen

beim

Ferienkursus für Gasingenieure.

(Von d[ans] Bunde).

W. Lelek

München 1903.

Druck von R. Oldenbourg.

IV A 418-1903



Inhaltsverzeichnis:

	Seite
I. Gas-Chemie	3
II. Gasanalyse	36
III. Brennstoffe und Verbrennung	56
IV. Photometrie	83
V. Wasseruntersuchung	90

Die nachstehende kurze Zusammenfassung des Wichtigsten aus dem chemisch-physikalischen Teil der Gasbeleuchtung ist als Leitfaden für den

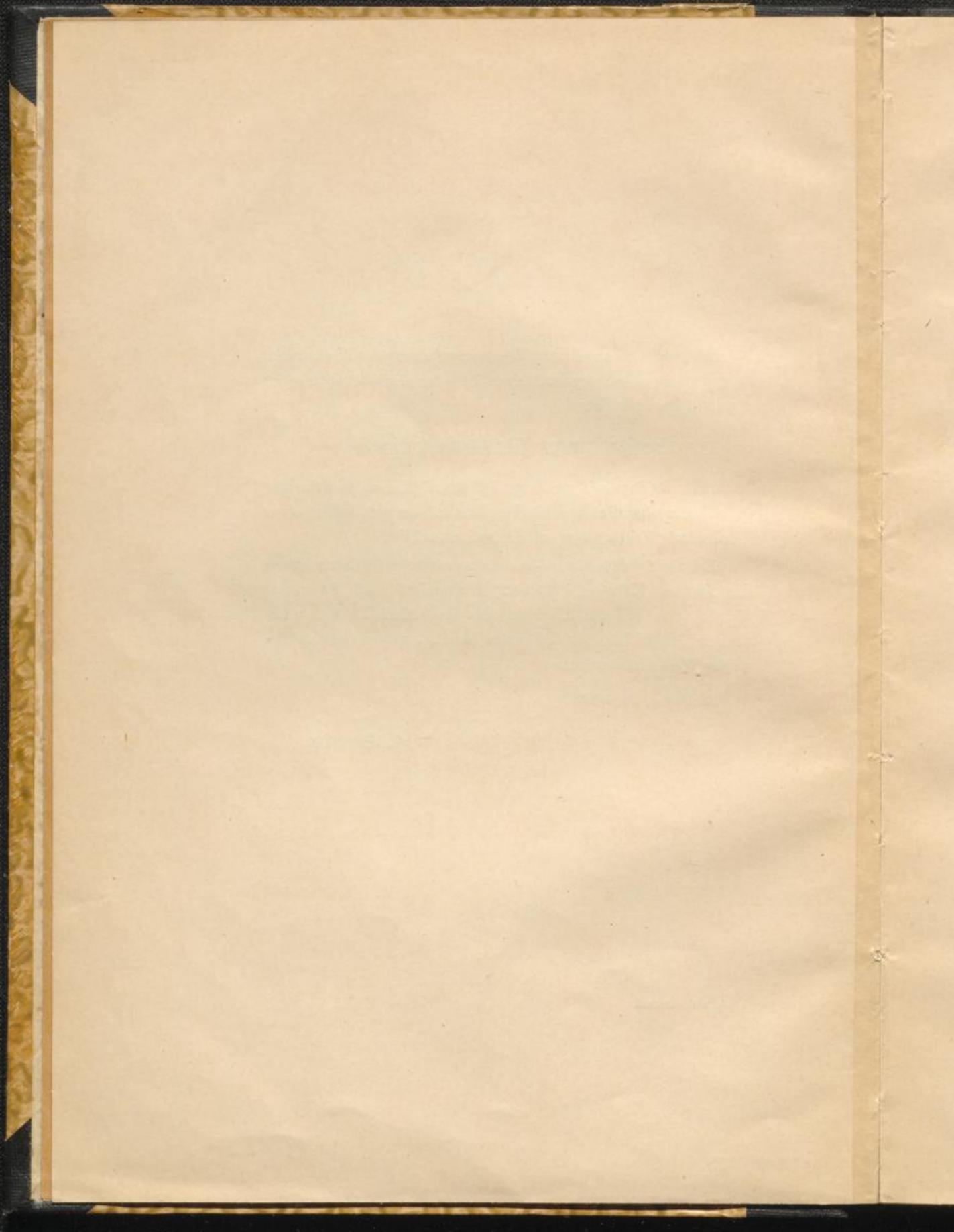
Ferienkursus für Gasingenieure

bestimmt, welcher seit mehreren Jahren alljährlich im Frühjahr in meinem chemisch-technischen Institut an der technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe stattfindet.

Bei der Ausarbeitung des vorliegenden Schriftchens haben die Herren Eitner, Haber, Schmidt und Steude, welche auch bei der Erteilung des theoretischen und praktischen Unterrichtes am Gaskursus beteiligt waren, in dankenswerter Weise mitgewirkt.

Karlsruhe, Juni 1903.

H. Bunte.



Zum Gaskursus.

(Als Manuskript gedruckt.)

I. Gas-Chemie.

1.

Die »Gasbeleuchtung« ist etwa 100 Jahre alt; am 28. März 1802 wurde zur Feier des Friedens von Amiens die Maschinenfabrik von Boulton & Watt bei Birmingham durch William Murdoch mit Steinkohlengas festlich beleuchtet; ein Jahr später war die Ölbeleuchtung durch Gasbeleuchtung ersetzt.

2.

In früheren Zeiten dienten feste und flüssige Brennstoffe zur Beleuchtung (Wachtfeuer, Kienspan, Fackel, Wachskerze, Talgkerze, Pflanzenöle, Olivenöl, Rüböl, Tran etc.).

3.

Je nachdem die Brennstoffe vorwiegend zur Erzeugung von Wärme oder Licht benutzt werden, unterscheidet man Heizstoffe und Leuchtstoffe. Die wichtigsten sind:

Brennstoffe.

Heizstoffe.		Leuchtstoffe.	
fest	{ Holz	fest	{ Talg
	{ Torf		{ Wachs
	{ Braunkohle		{ Walrat
flüssig	{ Steinkohle	flüssig	{ Stearinsäure
	{ Erdöl		{ Paraffin
	{ Spiritus		{ Rüböl
luftförmig	{ Leuchtgas	luftförmig	{ Petroleum
	{ Wassergas		{ Leuchtgas
	{ Heizgas		{ Acetylen

1*

4.

Alle Brennstoffe bestehen vorwiegend aus Kohlenstoff und Wasserstoff, neben mehr oder weniger Sauerstoff; die festen Heizstoffe enthalten noch wechselnde Mengen von mineralischen Bestandteilen (Asche) und Wasser; außerdem Stickstoff und Schwefel (1—2%)

5.

Die Produkte vollkommener Verbrennung sind bei allen Brennstoffen: Kohlensäure und Wasserdampf.

6.

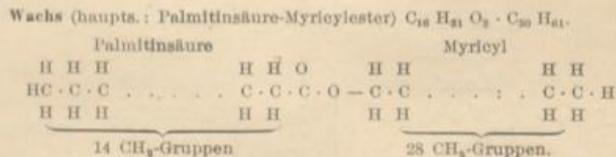
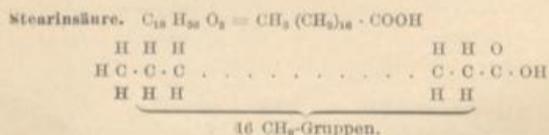
Feste und flüssige natürliche Brennstoffe verbrennen nicht direkt, sondern werden vorher durch Hitze zu gasförmigen Produkten zersetzt, die mit Flamme verbrennen.

7.

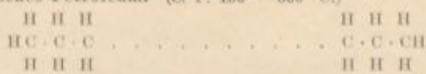
Jede Flammenbeleuchtung ist daher eigentlich »Gasbeleuchtung«. Bei festen und flüssigen Leuchtstoffen (Kerzen, Öl) ist Gaserzeugung und -verbrennung örtlich und zeitlich zusammenfallend; bei der Gasbeleuchtung im engeren Sinn sind Gasbereitung und -verbrennung räumlich und zeitlich vollständig getrennt. (Versuch mit der Kerze.)

8.

Die Leuchtstoffe: Stearinsäure, Wachs, Paraffin, Petroleum sind chemisch aufzufassen als lange Ketten, in der Hauptsache gebildet aus Kohlenwasserstoff-Gliedern (CH₂-Gruppen); die Endglieder sind verschieden zusammengesetzt (CH₃, COOH).

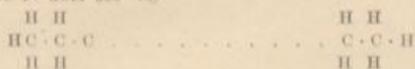


Amerikanisches Petroleum. (S. P. 150°–300° C.)



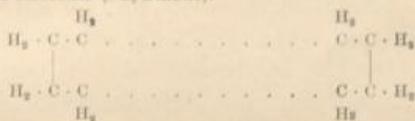
10 bis 20 CH₂-Gruppen.

Paraffin. (S. P. über 300° C.)



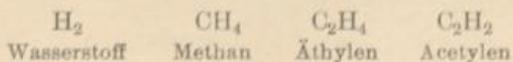
20 bis 30 CH₂-Gruppen.

Russisches Petroleum (Naphthene).

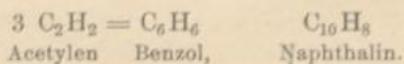


geschlossene Ringe von (CH₂)₂Gruppen.

In der Hitze zerfallen diese Ketten in kürzere Stücke; je höher die Temperatur, um so kürzer im allgemeinen die Stücke:



Durch Wiedervereinigung solcher Stücke können geschlossene Ketten entstehen, welche stabiler sind:



9.

In der hohen Temperatur der Flamme wird fester Kohlenstoff (Ruß) abgespalten, dessen Glühen das Leuchten der Flamme bedingt (Davys Flammentheorie).

10.

Das Petroleum steht den Fetten sehr nahe; es ist höchstwahrscheinlich entstanden aus den Fettresten vorweltlicher Meertiere (Engler-Höfersche Petroleumtheorie).

11.

Bei der Zersetzung der Heizstoffe (Holz, Torf, Steinkohlen) durch Hitze finden ähnliche Vorgänge statt.

Da dieselben nicht regelmäfsig abbrennen, lästige Verbrennungsprodukte entwickeln (Rufs, Rauch) und unverbrennliche Rückstände hinterlassen, werden sie nicht direkt als Leuchtstoffe verwendet.

12.

Die Heizstoffe, besonders die Steinkohle (Gaskohle), eignen sich zur Herstellung von Leuchtgas durch Erhitzen unter Luftabschluss (trockene Destillation). (Steinkohlen-Gasanstalten.)

13.

Bei der Destillation der Brennstoffe in geschlossenen Retorten entstehen:

1. feste kohlige Rückstände: Holzkohle, Grudekoks, Gaskoks, Hüttenkoks;
2. flüchtige Produkte:
 - a) flüssig: Teer, Wasser,
 - b) brennbare Gase und Dämpfe.

14.

Die chemische Zusammensetzung der aschefreien Brennstoffe (des brennbaren Teils) sowie die Produkte der trockenen Destillation derselben lassen sich nach Gewichtsprozenten in runden Zahlen wie folgt angeben:

	Zeit der Bildung	C H O			Koks	Flüchtige Stoffe		Gas			
		Gewichts-Prozente				Wasser	Teer		Gewichts-Prozente		
Holz	} jetzt	50	6	44	15	} 60	6	19			
Torf		60	6	34	20						
Braunkohle	Tertiär	65	6	29	40	25	15	20			
Wälderkohle	Kreide	70	6	24	45	—	—	—			
Flammkohle	} Karbon	75	6	19	50	—	—	—			
Gaskohle		80	6	14	60	} 8	5	17			
Kokskohle		85	5	10	70/80						
Magerkohle		90	4	6	90				—	—	—
Anthracit		95	2	3	95				—	—	—

15.

Alle natürlichen festen Heizstoffe stammen aus Pflanzen (Cellulose); Holz und Torf wachsen noch jetzt. Bei dem Torf sind die Sumpfpflanzen durch einen Vermoderungsvorgang unter Abspaltung von Kohlensäure, Wasser und Methan (Sumpfgas) verändert; die Torfsubstanz ist ärmer an Sauerstoff, reicher an Kohlenstoff als die frischen Pflanzen. Je länger die Vermoderung gedauert hat, desto mehr ist die Pflanzensubstanz verändert. Braunkohle und Steinkohle sind vor Jahrtausenden gewachsene und im Laufe der Zeit stark veränderte Pflanzenreste; zuerst überwiegt Abspaltung von H_2O und CO_2 (schwere Wetter, Braunkohle), später CH_4 (Methan, Grubengas, schlagende Wetter).

16.

Je älter die Heizstoffe sind, um so mehr Kohlenstoff, um so weniger Sauerstoff enthalten sie, um so mehr festen Rückstand (Koks) hinterlassen sie beim Erhitzen unter Luftabschluss (s. 14. Tabelle).

17.

Die chemische Zusammensetzung des Rohstoffs bedingt die Beschaffenheit des Gases:

Bestandteile des Gases	Steinkohlengas Vol. %	Holzgas Vol. %	Ölgas (Fettgas) Vol. %	Ölkarburiertes Wassergas Vol. %
Wasserstoff H_2	49	33	27	36
Methan CH_4	34	23	40	14
Schwere Kohlenwasserstoffe ¹⁾ $C_n H_m$	5	8	33	9
Kohlenoxyd CO	8	36	—	30
Kohlensäure CO_2	2	(im Rohgas 25% CO_2)	—	5
Stickstoff N_2	2	—	—	6

¹⁾ Vorwiegend Äthylen C_2H_4 und Benzol C_6H_6 .

Je größer der Sauerstoffgehalt des Rohstoffs, um so reicher sind die Gase an Kohlensäure und Kohlenoxyd. Holz gibt ein Rohgas mit 25% CO_2 , das erst nach Entfernung dieser

Verunreinigung durch Kalk mit stark leuchtender Flamme brennt; es enthält 36% CO. Steinkohlengas enthält rund 2—3% CO₂ und 7—10% CO, Ölgas kein CO₂ und CO, weil der Rohstoff (Erdöl oder Braunkohlengasöl) wenig oder keinen Sauerstoff enthält.

18.

Für die wirtschaftliche Erzeugung von Leuchtgas eignen sich besonders die Steinkohlen, und unter diesen jüngere, in den oberen Schichten gelagerte **Gaskohlen**; die Gaskohlen geben neben einer großen Menge mit leuchtender Flamme brennender Gase einen gut gebackenen verwertbaren Destillationsrückstand, Gaskoks, und liefern wertvolle Nebenprodukte, Teer, Ammoniakwasser, Cyan.

19.

Zusammensetzung verschiedener Gaskohlen.

	West- fälische K. Konsoli- dat.	Eng- lische Boldon	Saar- K. Heinitz I	Böhm. Thurn u. Taxis	Sächs. Bürger- gewerk- schaft	Plattel- Kohle
Chemische Zusammensetzung von Gaskohlen:						
Kohlenstoff %C	78,94	80,18	77,18	71,97	68,75	67,43
Wasserstoff %H	5,22	5,01	4,97	5,36	4,91	5,98
Sauerstoff %O	7,58	8,46	9,37	10,18	11,05	8,84
Wasser % H ₂ O	1,64	0,74	2,00	5,61	7,79	3,33
Asche %	6,62	5,61	6,48	6,88	7,50	14,42
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Gehalt der Rohkohle an Kohlensubstanz:						
	91,74	93,65	91,52	87,51	84,71	82,25
Zusammensetzung der Kohlensubstanz:						
Kohlenstoff . .	86,04	85,63	84,44	82,24	81,16	81,95
Wasserstoff . .	5,69	5,35	5,43	6,12	5,80	7,27
Sauerstoff . . .	8,27	9,02	10,13	11,64	13,04	10,78
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

20.

Vergasungsergebnisse deutscher Gaskohlen.

Es wurden erhalten aus 100 kg	cbm Gas	Leuchtkraft 150 l pro Stunde		Koks kg	Teer kg	Gas- wasser kg	Leucht- gas kg	Ver- lust kg	Temperatur im Ofen ° C.
		D.V.K.	HK.						
Westfälische Kohle . . .	30,3	13,17	15,80	71,4	4,09	4,44	16,95	3,12	1370
Saarkohle . .	30,2	12,09	14,50	68,3	5,33	6,90	17,71	1,76	1250
Böhmische Schwarzkohle	28,5	12,00	14,40	63,3	5,79	9,06	18,52	3,33	1300
Zwickauer Kohle . . .	25,5	12,04	14,45	62,7	5,22	11,89	15,81	4,38	1210
Platttelkohle .	30,4	21,38	25,66	56,3	8,81	6,45	25,72	2,72	1270

21.

Wichtigste Bestandteile des Steinkohlen-Leuchtgases.

Bestandteile des Leuchtgases	Volum- %	Gewichts- %	1 cbm Gas enthält g	100 kg Kohle geben 30 cbm Gas mit kg
Wasserstoff H ₂ . . .	47	7,4	42	1,26
Methan CH ₄	34	42,8	243	7,29
Kohlenoxyd CO . . .	9	19,9	113	3,39
Äthylen C ₂ H ₄ (Pro- pylen, Acetylen) .	3,8	8,4	48	1,44
Benzol C ₆ H ₆ (Toluol)	1,2	7,4	42	1,26
Kohlensäure	2,5	8,6	49	1,47
Stickstoff	2,5	5,5	31	0,93
	100,0	100,0	568 g	17,04 kg

(Spezifisches Gewicht des Gases: 0,44.)

22.

Wichtigste Eigenschaften der einzelnen Gase (Demonstration).

Spezifisches Gewicht und Litergewicht der Gase:

Name	Spez. Gew.	Litergewicht g	Name	Spez. Gew.	Litergewicht g
Luft	1,000	1,294	C ₂ H ₄ Äthylen .	0,967	1,2510
H ₂ Wasserstoff .	0,069	0,0895	CO Kohlenoxyd .	0,967	1,2510
CH ₄ Grubengas .	0,553	0,7150	Stickstoff	0,970	1,2544
NH ₃ Ammoniak .	0,589	0,7615	Sauerstoff	1,105	1,4291
H ₂ O Wasserdampf	0,622	0,8041	Kohlensäure . . .	1,520	1,9650
C ₂ H ₂ Acetylen .	0,898	1,1614	C ₆ H ₆ Benzol . . .	2,694	3,4860

23.

Die Bestandteile des Leuchtgases teilt man in drei Gruppen:

1. Lichtträger oder Heizgase, mit nicht oder schwach leuchtender Flamme brennend: Wasserstoff (H₂), Methan (CH₄), Kohlenoxyd (CO).
2. Lichtgeber, »schwere Kohlenwasserstoffe« mit stark leuchtender (rufsender) Flamme brennend: Äthylen (C₂H₄), Benzol (C₆H₆) und Homologe. Ferner Äthan und Homologe.
3. Verunreinigende Bestandteile:
Kohlensäure (CO₂), Ammoniak (NH₃), Schwefelwasserstoff (SH₂), Cyanwasserstoff (CNH), Schwefelkohlenstoff (CS₂), Stickstoff (N₂).

24.

Die Menge und Beschaffenheit des Gases ist nicht nur abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Rohstoffs (17), sondern auch von den Destillationsbedingungen, namentlich der Destillationstemperatur. 100 kg einer Kohle bei verschiedenen Temperaturen vergast gaben:

	cbm	Leuchtkr.	HK	Wertzahl.
bei Dunkelrotglut	23,3	20,5		18,51
bei Hellrotglut	27,5	17,8		32,36
bei Orangeglut	34,0	15,6		35,4

25.

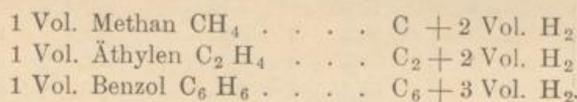
Die Wertzahl, d. h. die Anzahl Stundenkerzen (Std HK) aus 1 kg Kohle wird erhalten aus: Ausbeute in Liter (V) mal Leuchtkraft pro 150 l (L) geteilt durch 150.

$$W = \frac{V \times L}{150} \text{ z. B. } 340 \times \frac{15,6}{150} = 35,4.$$

Die Anwendung hoher Temperaturen (Gasfeuerung) bei der Destillation gibt eine hohe Wertzahl (24).

26.

Bei Einwirkung sehr hoher Temperatur (1200° C) werden die leuchtenden Kohlenwasserstoffe zersetzt; man erhält unter Abscheidung von Kohlenstoff (Graphit) und Vergrößerung des Gasvolumens ein hauptsächlich aus Wasserstoff bestehendes Gas:



27.

Die Leuchtkraft verdankt das Steinkohlengas hauptsächlich dem Gehalt an Benzoldampf (ca. 1%), sodann dem Äthylen (ca. 4%); die Leuchtkraft gleicher Volumina verschiedener Gase steht etwa in folgendem Verhältnis:

Methan CH_4	6
Äthan C_2H_6	35
Propan C_3H_8	54
Äthylen C_2H_4	68
Acetylen C_2H_2	240
Benzol C_6H_6	420

28.

Während sich Benzoldampf (und Toluol) bei sehr niedrigen Temperaturen (— 20° C) aus dem Gas auszuscheiden beginnt und bei — 70° C vollständig sich abscheidet, bleibt Äthylen (hauptsächlich im Ölgas und Cannelgas) selbst bei den

niedrigsten Temperaturen beständig und erhält die Leuchtkraft des Gases. Das Steinkohlenleuchtgas enthält etwa 1% Benzol (und Toluol) ≈ 40 g in 1 cbm.

Löslichkeit des Benzols in Gasen.

t°	Tension	Vol. %	1 l Benzoldampf wiegt bei t° g	g in 1 cbm	Differenz
— 20°	5,79	0,76	3,76	28,6	
— 15°	8,82	1,17	3,69	43,2	14,6
— 10°	12,92	1,70	3,62	61,5	18,3
— 5°	18,33	2,41	3,55	85,5	24,0
± 0°	25,31	3,33	3,49	116,1	30,6
+ 10°	45,25	5,95	3,36	200,0	83,9
+ 20°	76,65	9,95	3,25	323,2	123,2
+ 30°	120,24	15,83	3,14	497,5	174,3
+ 40°	183,62	24,2	3,04	735,5	238,0
+ 50°	271,37	35,7	2,95	1052	316,5
+ 60°	390,10	51,4	2,86	1470	418
+ 70°	547,42	72,0	2,77	1995	525
+ 80°	751,86	98,8	2,70	2670	675
+ 90°	1012,75	133,3	2,62	3495	825
+ 100°	1340,05	176,3	2,55	4500	1005

Das Leuchtgas enthält also gewöhnlich nur etwa $\frac{1}{3}$ des Benzols, das es bei 0° C zu lösen vermag. Man kann daher demselben noch Benzol zuführen (Karburation) und dadurch die Leuchtkraft bis zu einem gewissen Grad erhöhen. Etwa 4 g Benzol pro cbm gibt 1 HK bei 150 l im Schnittbrenner.

29.

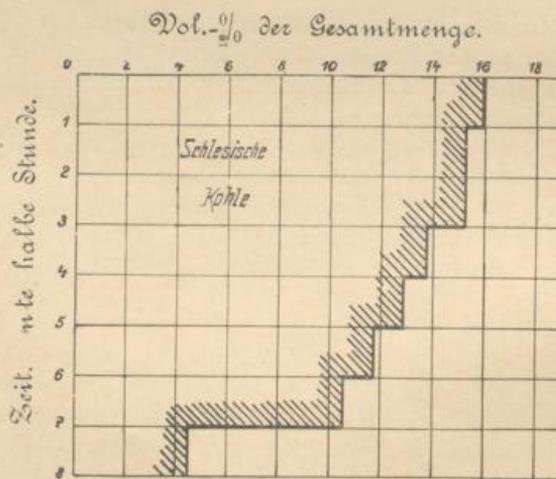
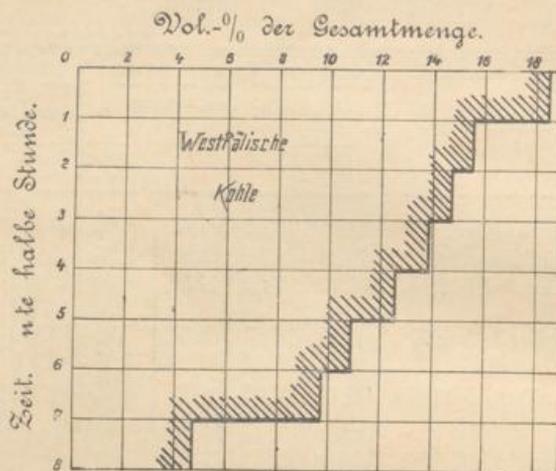
Auch durch Zusatzkohlen, welche bei niedriger Destillationstemperatur äthylenreiche Gase liefern, und Gasöl (Ölgas) kann die Leuchtkraft von nicht oder schwach leuchtendem Gase aufgebessert werden.

Chemische Zusammensetzung gebräuchlicher Zusatzkohlen.

Bezeichnung	Elementare Zusammensetzung				Verkokung	
	100 Teile Kohlenstoffsubstanz enthalten				100 Teile Kohlenstoffsubstanz liefern	
	C	H	O	Disp. H	Fixen C	Flüch- tig
Consolidation Cannel .	85,41	6,02	9,62	4,82	58,39	41,61
Böhm. Plattelkohlen .	79,24	7,46	13,30	5,80	40,68	59,32
Böhm. Braunkohle (Falk.)	77,61	7,80	14,59	6,00	29,64	70,36
Tyne Boghead Cannel .	84,55	6,63	8,82	5,53	54,15	45,85
Schott. Woodville Boghd.	81,87	7,04	11,09	5,65	43,30	56,70
Austral. Shale Boghead	83,17	10,04	6,79	9,18	17,63	82,37

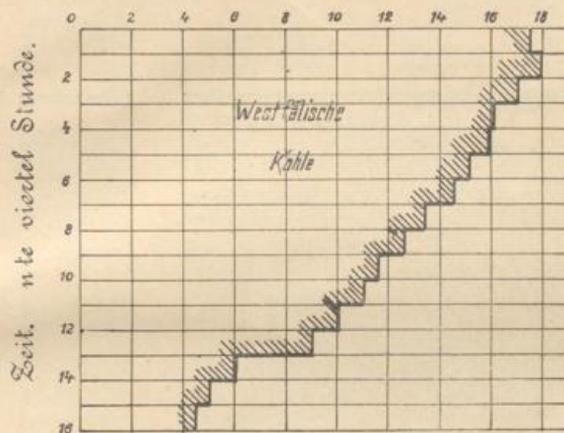
Im Verlauf der Destillation ändert sich mit steigender Temperatur in der Retorte die Menge und Leuchtkraft des Gases, wie aus den Bildern für westfälische und schlesische Kohlen zu entnehmen ist.

Verlauf der Gasentwicklung.

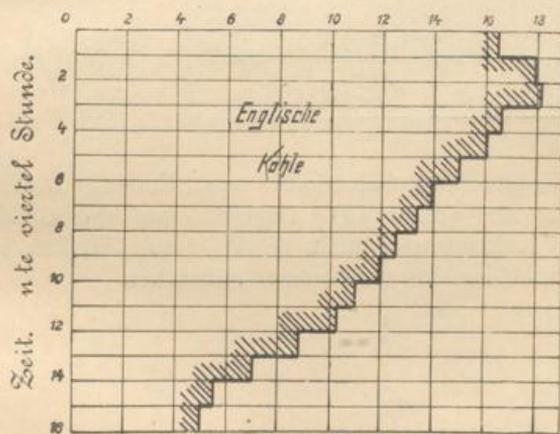


Veränderung der Leuchtkraft im Verlaufe der Destillation.

Kerzen.

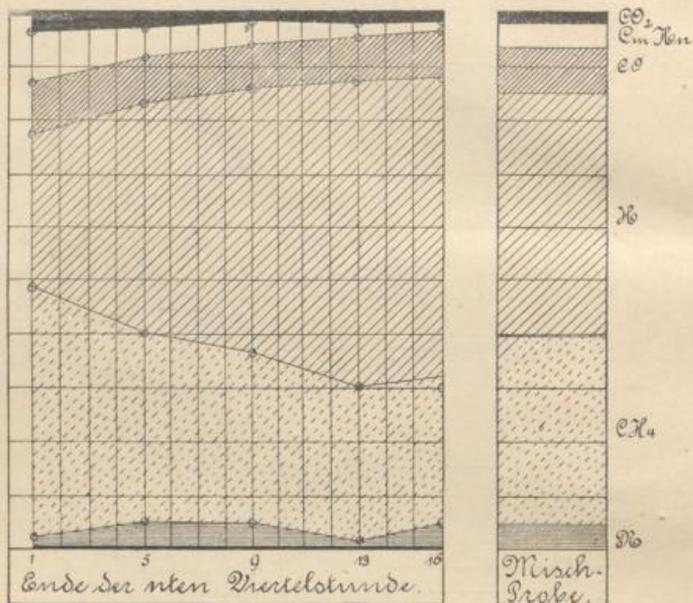


Kerzen.



Die Änderung der Zusammensetzung des gereinigten Gases während der 4stündigen Destillation zeigt folgendes Bild für Saarkohle:

Saarkohle. Heinitz f.



Der Kohlensäuregehalt nimmt gegen Ende der Destillation nur wenig ab; ebenso CO. Dagegen wird der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen (C_nH_m) und Methan immer geringer und das Gas wird wasserstoffreicher.

33.

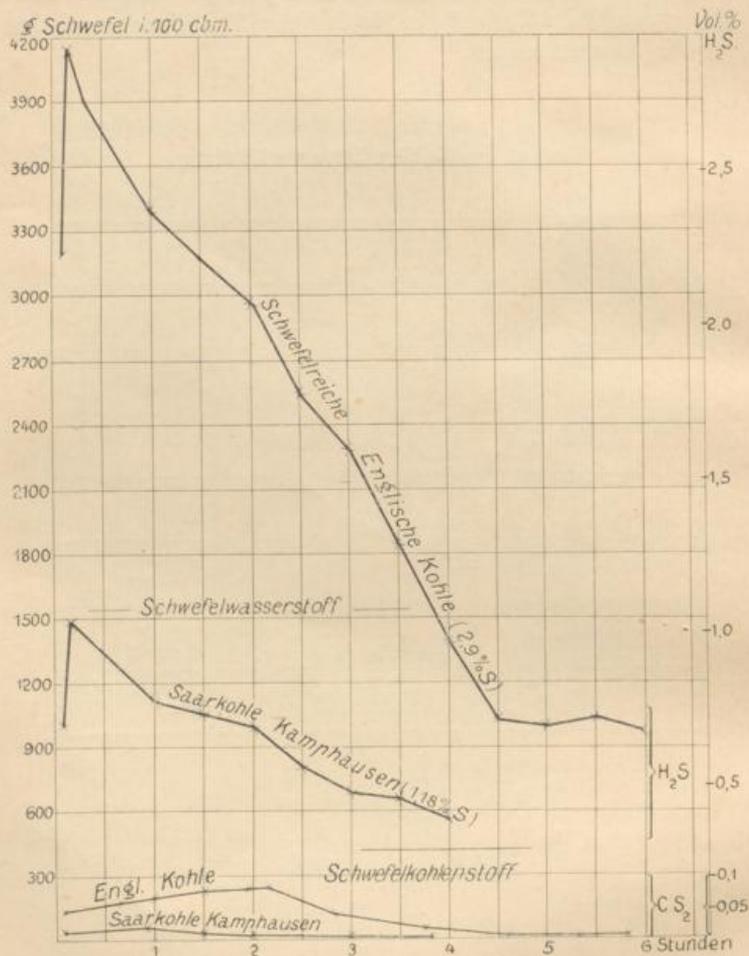
Die Menge der verunreinigenden Bestandteile (CO_2 und SH_2) wechselt im Verlauf der (4stündigen) Destillationsperiode, wie die Figuren zeigen.

Verlauf der Kohlensäureentwicklung.



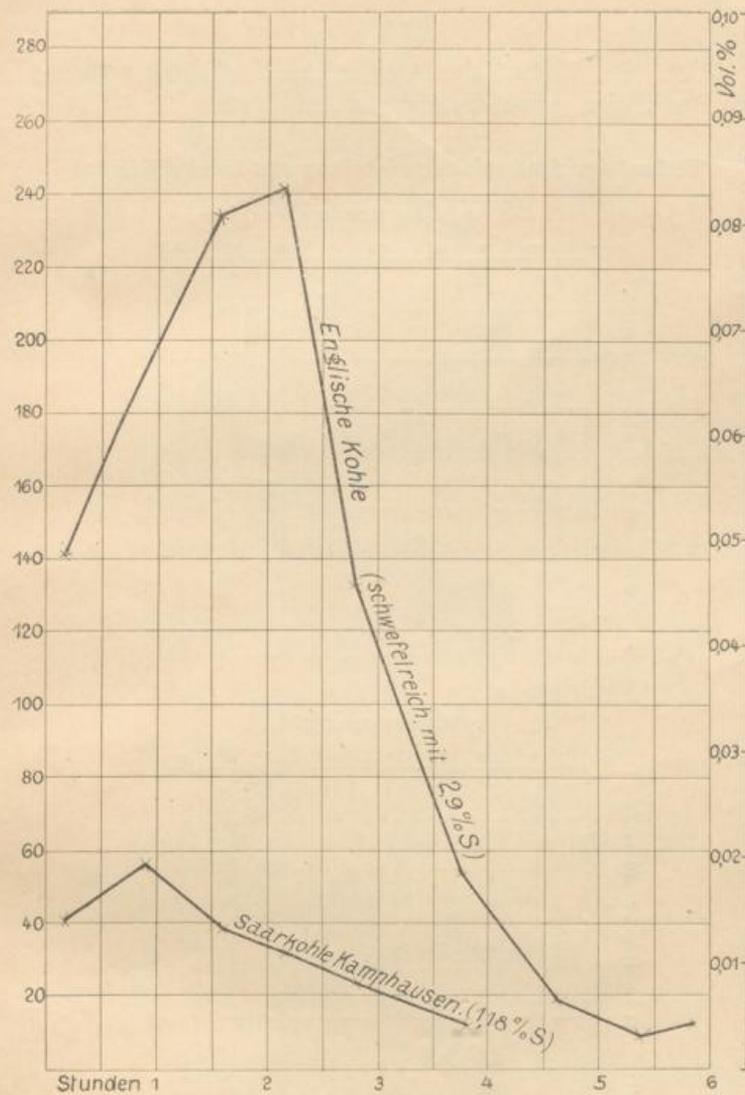
Zum Gaskursus.

Verlauf der Schwefelwasserstoffentwicklung bei der Destillation von Saarkohle und einer schwefelreichen englischen Kohle.



34.

Ein Teil des Schwefels tritt als Schwefelkohlenstoff (CS_2) aus. Über den Verlauf der Schwefelkohlenstoffentwicklung gibt die Figur Aufschluss.

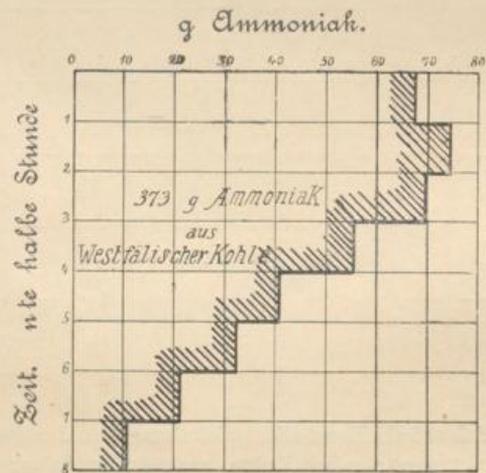
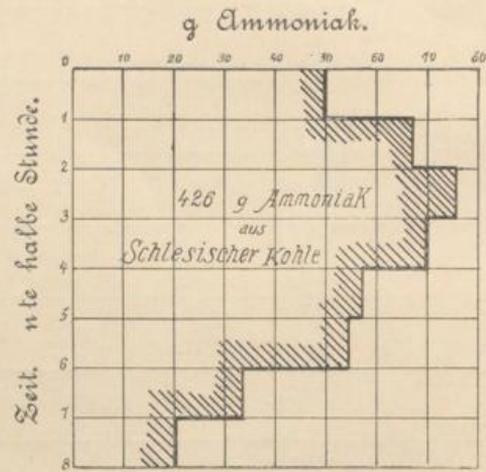


Verlauf der Schwefelkohlenstoffentwicklung bei der Destillation von Saarkohle und englischer Kohle, ausgedrückt in mg Schwefel pro 100 l oder in g Schwefel pro 100 cbm.

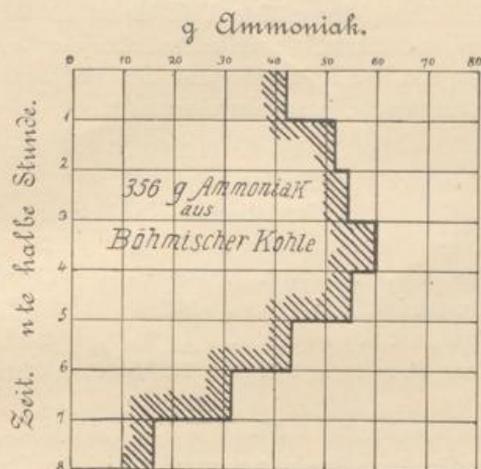
2*

Über den Verlauf der Ammoniakentwicklung während der Destillation geben die Figuren Aufschluss.

Verlauf der Ammoniakentwicklung aus 150 kg Kohle.



Verlauf der Ammoniakentwicklung aus 150 kg Kohle.



36.

Von dem S- und N-Gehalt der Steinkohle geht nur ein Teil in das Gas über; der größte Teil bleibt im Rückstand. Die Verteilung des Stickstoffs auf die Produkte der Destillation ist je nach der Art der Rohstoffe und den Bedingungen der Destillation verschieden; beispielsweise:

Verteilung des Stickstoffs (1,5% N) bei der
Destillation von
Westfälischer Kohle Saarkohle

im Koks	35 %	63 %
» Gas	48 %	17 %
» Ammoniak (NH ₃)	14 %	16 %
» Cyan	1,8 %	2,0 %
» Teer	1,2 %	2,0 %

37.

Neben gasförmigen Produkten werden bei der Destillation Teer und Ammoniakwasser gebildet; durch sorgfältige Kühlung werden dieselben in Form feiner Nebel abgeschieden, welche im Gas schweben und durch besondere Vorrichtungen (Stofskondensatoren, Teerscheider) entfernt werden.

38.

Teer ist ein sehr kompliziertes Gemenge unvollständig zersetzter oder durch Zusammenlagerung einfacher Spaltungsstücke entstandener flüssiger und fester organischer Substanzen (etwa 80 bekannt) mit Kohlenstoff (Rufs). Aus 100 kg Steinkohlen entstehen etwa 5 kg Teer.

39.

Die Hauptmasse des Teers besteht aus 50—60% »Pech« in der Kälte fest und spröde, in der Hitze dickflüssig (Steinkohlenbrikets); darin sind 20—30% Kohlenstoff (Rufs) enthalten. 20% des Teers sind sog. Schweröle, welche zwischen 200° und 300° destillieren; die übrigen Bestandteile sind leichter flüchtig (Leichtöl—Mittelöl).

Sie enthalten als wertvolle Bestandteile

ca. 1—1½%	Benzol C ₆ H ₆	. . . . .	Siedep.	80° C.
	Toluol C ₇ H ₈	. . . . .	»	110° C.
0,8%	Schwerbenzol (Xylol)	. . . . .	»	140° C.
0,5%	Phenol (Karbolsäure)	. . . . .	»	183° C.
1,0—1,5%	Kresöl (Homologe d. Phenols)	. . . . .	
4—6%	Naphthalin. Schmelzpunkt 80	. . . . .	»	218° C.
0,5%	Anthracen. Schmelzpunkt 213	. . . . .	»	360° C.

40.

Sind die Steigeröhren der Retortenöfen oder die Vorlage zu heiß (Ofenwand dünn etc.), so verdichten sich nur die festen und zähflüssigen Teile des Teers, es entstehen Verstopfungen und Verdickungen. Sind diese Apparate kühler (Spülung der Vorlage mit kaltem Gaswasser), so werden auch die leichter flüssigen Öle, die den Teer flüssig machen, verdichtet.

41.

Von den leichter flüchtigen Kohlenwasserstoffen des Teers bildet das Naphthalin die Hauptmasse. Bei mangelhafter Kühlung bleibt Naphthalin im Gas und kann, weil es sich leicht in fester Form abscheidet, Verstopfungen der Rohrleitungen veranlassen. Durch Teeröle (Xylol, Anthracenöle) wird Naphthalin leicht gelöst und kann mittels derselben aus den Rohrleitungen entfernt oder schon auf der Gasanstalt aus dem Rohgas ausgewaschen werden (Naphthalinwascher).

42.

Bei der Kühlung des Gases scheidet sich mit dem Gaswasser ein Teil des darin leicht löslichen Ammoniaks aus; vollständig wird dasselbe in den Waschern (Scrubber) durch fein verteiltes Gaswasser und Reinwasser entfernt (nasse Reinigung). Mit dem Ammoniak scheidet sich ein Teil der übrigen Verunreinigungen, hauptsächlich Kohlensäure (CO₂), auch Schwefelwasserstoff (SH₂) und Cyanwasserstoff (CNH) aus.

43.

Schwefelwasserstoff (und Cyanverbindungen) werden durch gekörntes Eisenhydroxyd (Raseneisenstein) abgetrennt (trockene Reinigung):

1. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3 \text{SH}_2 = \text{Fe}_2\text{S}_3 (\text{Fe}_2\text{S}_2, \text{S}) + \text{H}_2\text{O} + 3 \text{H}_2\text{O}$.
Bei diesem Prozess werden für 1000 g SH_2 146 Kal. Wärme entwickelt. Ist die Masse mit Schwefelwasserstoff gesättigt, so wird sie angefeuchtet und an der Luft oxydiert. 1 kg FeS braucht 910 l Luft zur Regeneration.

2. $\text{Fe}_2\text{S}_2, \text{S} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{S}_3$ (Regeneration).
Auf die Menge unter 1 bezogen, werden bei der Regeneration des Schwefeleisens 1418 Kal., also fast die 10fache Wärme entwickelt. Die Masse kann alsdann von neuem benutzt werden, bis der S-Gehalt ca. 40–50% beträgt (ausgebrauchte Reinigungsmasse).

Anfeuchtung und nicht zu starke Erhitzung sind wesentliche Bedingungen für wirksame Masse. Bei starker Erwärmung wird SO_3 gebildet (saure Massen) und Cyan zerstört.

Man kann die Reinigungsmasse auch in den Kasten regenerieren, indem man dem Rohgas Luft (Sauerstoff) beimischt. Für 1 Vol. % SH_2 ist $\frac{1}{2}$ % O erforderlich; da Luft $\frac{1}{5}$ O neben $\frac{4}{5}$ N enthält, muß das Fünffache zugesetzt werden; also für 1 Vol. % SH_2 2,5 Vol. % Luft. Man hält sich meist zwischen 1–2% Luft.

Bei dieser Art der Reinigung mit Luft verlaufen die oben unter 1. und 2. geschilderten Prozesse nebeneinander, und die Wärmeentwicklung beträgt daher für 1000 g $\text{SH}_2 = 146 + 1418 = 1564$ Kal. Die Masse erwärmt sich bei der Reinigung stark, trocknet aus, da das Wasser verdampft, und kann unwirksam und sauer werden. Cyanverbindungen gehen zurück.

45.

Cyanverbindungen werden durch FeS der Reinigungsmasse (nicht durch Fe_2O_3) absorbiert (10% und mehr Blau). Die Masse wird dadurch wertvoll und ist der wichtigste Rohstoff für Cyanverbindungen geworden (CNK-Gold-Extraktion).

Das Cyan kann auch in besonderen Cyanwäschern vor der nassen Reinigung mit Eisensalzen abgeschieden werden.

46.

Kohlensäure wird in der Regel nicht aus dem Gas entfernt; sie ist der Leuchtkraft sehr schädlich, da sie den in der Flamme sich ausscheidenden C in CO verwandelt und die Flamme dadurch entleuchtet: $C + CO_2 = 2 CO$. Für die Gasglühlichtbeleuchtung ist die CO_2 nicht schädlich.

47.

Schwefelkohlenstoff- (CS_2) -Dampf, der den Hauptbestandteil der S-Verbindungen (Merkaptan, Senföl, Thiophen) des Gases bildet, welche nicht durch die Eisenreinigung entfernt werden können, wird in Deutschland nicht entfernt. In England wird derselbe durch Reiniger mit Schwefelcalcium (CaS) grofsenteils absorbiert bis auf 50,3g S in 100 cbm Gas, ein Gehalt, der in Deutschland auch ohne Reinigung meist nicht überschritten wird.

Bei der Verwendung des Gases zum Heizen ist das Auftreten von Schwefelsäure in den Verbrennungsprodukten lästig.

48.

Das in den Retorten entwickelte Rohgas wird durch eine Gaspumpe (Gassauger, Exhaustor, zweckmäfsig zwischen Kühler und Teerscheider oder nasser Reinigung aufgestellt), durch die Reinigungsapparate (nasse und trockene Reinigung) und das gereinigte, von Teer, Ammoniak, Cyan, Schwefelwasserstoff befreite Gas durch den Stationsgasmesser nach dem Gasbehälter gedrückt und gelangt von da durch Druckregler zur Abgabe.

49.

Der wichtigste Apparat ist der Retortenofen: in kleinen Gasanstalten mit direkter Feuerung, sonst allgemein mit Gasfeuerung und Regeneration (d. h. Vorwärmer für Oberluft durch die Verbrennungsgase). Als Brennstoff für die Heizung dient Koks. Bei Gasfeuerung ist allgemein der nasse Betrieb der Koksgeneratoren (nach dem Vorbild des Münchener Ofens 1879) eingeführt.

50.

Das Heizgas aus einem Koksgenerator mit Wasserdampfzuführung (Münchener Ofen) hat etwa folgende Zusammensetzung:

CO ₂	8,6 %	9,3 %
CO	20,6 »	23,3 »
H ₂	15,0 »	12,9 »
CH ₄	0,8 »	0,8 »
N ₂	55,0 »	53,7 »
	<u>100,0 %</u>	<u>100,0 %</u>

Eine ganz ähnliche Zusammensetzung hat das sog. Dowsongas und das Gas der Sauggasanlagen. Halbwassergas.

Verbrennungsgase, nach der Regeneration, Abgangstemperatur 600° C., Temperatur im Ofen 1200—1300° C.:

18,0 %	CO ₂
1,5 »	O
80,5 »	N
<u>100,0 %</u>	

Die Verbrennungsprodukte einer gut geleiteten Gasfeuerung mit nassem Betrieb schwanken innerhalb 24 Stunden in ihrem CO₂gehalt nur wenig.

51.

Der nasse Betrieb der Koksgeneratoren gestattet wegen seiner außerordentlichen Regelmäßigkeit und Vermeidung störender Schlackenbildung nicht allein die Vorwärmung der Oberluft ($\frac{1}{2}$), sondern auch der Unterluft, also der gesamten erforderlichen Verbrennungsluft.

52.

Durch die Gasfeuerung ist die gleichmäßige Erhitzung auch geneigter Retorten möglich geworden; durch die Einführung der Öfen mit geneigten Retorten (Coze-Öfen) und die dadurch ermöglichte selbsttätige Beschickung und Entleerung der Retorten, verbunden mit geeigneten Transporteinrichtungen für Zufuhr der Kohlen und Abfuhr des Koks (de Brouwersche Rinne) ist die Einrichtung von Steinkohlengaswerken wesentlich verbessert worden.

53.

Nach den Berliner Normen wird die Größe der einzelnen Apparate einer Steinkohlengasanstalt wie folgt bemessen:

1. Retorten: Normalformat I. Gaserzeugung 250 cbm in 24 Stunden. (15% Reserve für den Maximaltag.)
2. Kühler mindestens 12, besser 15 qm Kühlfläche für 1000 cbm Gaserzeugung in 24 Stunden.
3. Wascher (Skrubber, Zylinder mit Holzhorden 5—6 cbm Raum für 1000 cbm Gas pro 24 Std.
4. Eisenreiniger à 4 Horden: auf 1000 cbm Gas pro Tag 4 qm Kastengrundfläche (4 Reiniger zusammen).
5. Produktionsgasmesser: stündlicher Durchgang $\frac{1}{8}$ des Maximaltages: Maximaltag = $\frac{1}{200}$ der Jahreserzeugung.
6. Gasbehälterraum 60—80% des Maximaltages.
7. Fabrikationsrohr 3—3,7 m Geschwindigkeit des Gases. Abgangsrohr von 5 Öfen à 9 Retorten 315 mm Durchmesser.

Maximalabgabe in der Stunde = $\frac{1}{8}$ der Maximaltagesabgabe.

(Z. B. Stadt K., ca. 100 000 Einwohner: 10 000 000 cbm Jahresproduktion $\times \frac{1}{200} = 50 000$ cbm Maximaltagesverbrauch. 1 Retorte à 250 cbm; 1 Neunerofen mit Gasfeuerung 2250 cbm. Für den Maximaltag sind erforderlich $22,2 + 0,15 \times 22,2 = 25 \approx 26$ Öfen.

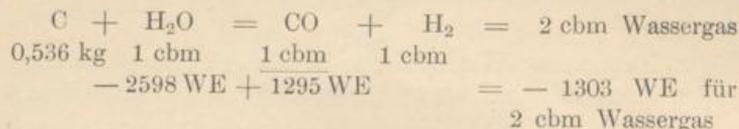
54.

Bei der Destillation (Entgasung) der Steinkohle wird nur 15—18% des Rohstoffes in Gas verwandelt. 60—70% des Gewichtes bleiben als Koks zurück. Dieser an sich nicht flüchtige Teil kann bei hoher Temperatur (1000° C) durch Wasserdampf in Gas verwandelt (vergast) werden:

Wassergas, Blaugas.

55.

Die Vergasung ist mit einem beträchtlichen Wärmeverbrauch verbunden.



$$\text{Wärmeverbrauch für 1 cbm Wassergas} = \frac{1303}{2} = 651 \text{ WE.}$$

Das Wassergas besteht nach der Theorie aus

$$\left. \begin{array}{l}
50 \text{ Vol.}\% \text{ H} \\
50 \text{ } \text{ } \text{CO}
\end{array} \right\} \text{Blaugas.}$$

100.

56.

Während der Vergasung der Kohle (C) zu Wassergas muß Wärme zugeführt werden; dies geschieht nicht mit Vorteil in Retorten, sondern in Schachtöfen (Lowe, Strong), welche durch Luft heißgeblasen werden; alsdann wird die Luft abgestellt und Wasserdampf zugelassen.

57.

Damit dieses Gas im Schnitt- und Argandbrenner leuchtet, muß man es karburieren. Das geschieht auf heißem oder kaltem Weg; in Amerika (England etc.) mit Ölgas aus Petroleumölen, in Deutschland mit Benzol (oder Braunkohlenölen; Zoll auf Petroleumrückstände M. 10).

58.

Beispiel für Berechnung der Wärmebilanz einer Wassergasanlage: Aus 1 kg Koks mit 10% Asche = 900 g Kohlenstoff wurden erzeugt (nach Reduktion auf 0° und 760 mm Druck) 2 cbm Wassergas von der Zusammensetzung:

6,2 % CO ₂	}	44,8 × 0,536 = 0,240 kg C in 1 cbm	
38,6 % CO	}	× 3046 = 1175	[Wassergas
51,0 % H ₂	}	× 2598 = 1325	
4,2 % N ₂	}	Heizwert 2500 × 2 = 5000 WE	
<hr style="width: 20%; margin-left: 0;"/>			
100 %.			

Gesamtwärme in Wassergasenergie	5000 WE
Im verbrauchten Koks enthalten $0,9 \times 8100 = 7290$ »	
also zur Umwandlung im Apparat verbraucht	
2290 WE	31,4 %
im Wassergas enthalten	68,6 %
	100 %

59.

Zur Verbrennung von 1 cbm Steinkohlengas in Luft (aus 21 Vol.-% O und 79 Vol.-% N bestehend) sind erforderlich, je nach der Zusammensetzung des Gases, etwa 5—6 cbm Luft.

Berechnung des Luftbedarfs für Leuchtgas.

Zusammensetzung Vol.-%	Sauerstoff-Bedarf		Verbrennungsprodukte	
	für 1 Vol. Vol.	zusammen Vol.	Vol. H ₂ O	Vol. CO ₂
49 H ₂	0,5	24,5	49	—
34 CH ₄	2,0	68,0	68	34
8 CO	0,5	4,0	—	8
4 C ₂ H ₄	3,0	12	8	8
1 C ₆ H ₆	7,5	7,5	3	6
2 CO ₂	—	—	—	—
2 N ₂	—	—	—	—
Zusammen:	—	116,0	128	56

$$116 \text{ Vol. O} \times \frac{79}{21} = \frac{436,0 \text{ N in Luft}}{552,0 \text{ Vol. Luft für 100 Vol. Leuchtgas.}}$$

Für 1 Vol. Gas. Luftbedarf = 5,52 Vol. Luft. 1 Vol. Gas liefert 1,28 Vol. H₂O Dampf und 0,56 Vol. CO₂.

Nach Abscheidung des Wassers bestehen die Verbrennungsprodukte aus $2 + 56 = 58 \text{ Vol. CO}_2 = 11,4 \text{ Vol.-% CO}_2$

$$436 + 2 = 438 \text{ Vol. N} = 88,6 \text{ Vol.-% N}_2$$

= 100,0

60.

Steinkohlenleuchtgas und karburiertes Wassergas werden direkt zur Beleuchtung verwendet. Die Leuchtflamme gibt um so mehr Licht: 1) je mehr feste Teile (C) in derselben abgeschieden werden, 2) je höher die Temperatur derselben ist.

61.

Die Leuchtkraft (Lichtintensität) einer Flamme wird mittels Photometer (Bunsenphotometer) durch Vergleichung ihres Lichtes mit dem Licht einer Normalflamme gemessen. Als Normalflamme gilt die Hefnerkerze, HK (Amylacetatlampe). Vergleiche Abschnitt IV Photometrie.

1 HK = 0,83 D. Vereinskerzen. VK.

1 HK = 0,877 engl. Walratkerzen.

1 D. VK = 1,2 HK.

1 engl. K. = 1,14 HK.

1 Carcel = rund 11 HK = 9 VK.

Die Leuchtkraft und die Kosten des Lichtes einiger gebräuchlicher Lichtquellen sind in folgender Tafel zusammengestellt:

Art der Beleuchtung	Lichtstärke gangbarer Lampen und Brenner HK	Konsum pro Stunde	Einheitspreis	Betriebskosten pro Stunde für 20 HK
Elektr. Bogenlicht .	500	375 Watt	60 Pf. p. KW-Std.	0,9 Pf.
> Glühlicht . .	16	55 „	60 „ „ „ „	4,1 „
Gasschnittbrenner	16	160 l	16 Pf. p. cbm	3,2 „
Argandbrenner . .	32	250 l	16 „ „ „	2,3 „
Gasglühlicht . .	72	120 l	16 „ „ „	0,53 „
Acetylgaslicht	50	30 l	125 „ „ „	1,5 „
Petroleumbrenner .	30	0,080 kg	25 Pf. p. kg	1,33 „
Spiritusglühlicht .	50	0,100 „	40 „ „ „	1,6 „

Die Flächenhelligkeit, ausgedrückt in Meterkerzen, wird durch das Photometer von Weber oder Krüss gemessen.

62.

Die Heizkraft des Gases wird mit dem Kalorimeter gemessen (Junkers Kalorimeter) und ausgedrückt in Wärmeinheiten (Kalorien). WE.

1 WE ist diejenige Wärmemenge, durch welche 1 kg Wasser um 1°C (z. B. von 15 auf 16°C) erwärmt werden kann.

63.

Man unterscheidet »oberen Heizwert« = Verbrennung zu flüssigem Wasser, und »unteren Heizwert« = Verbrennung zu Wasserdampf. In den meisten praktischen Fällen kommt der untere Heizwert in Frage, der um die latente Verdampfungswärme des Verbrennungswassers niedriger ist als der obere. Der obere Heizwert ist nur annähernd richtig (ca. 50 WE. zu klein), wegen des wechselnden Wasserdampfgehaltes der Luft; der untere Heizwert ist von diesem Fehler frei.

64.

Berechnung der Verbrennungswärme des Leuchtgases aus der chemischen Zusammensetzung.

Zusammensetzung des Leuchtgases	1 Vol. Leuchtgas enthält	Verbrennungs- wärme von 1 l		Anteil an der Verbrennungswärme des Gases	
		zu flüss. Wasser	zu Wasser- dampf		
Wasserstoff H ₂ . . .	0,47	3 064	2 598	1 440	1 221
Methan CH ₄ . . .	0,34	9 525	8 573	3 238	2 914
Kohlenoxyd CO . . .	0,09	3 046	3 046	274	274
Äthylen C ₂ H ₄ . . .	0,04	13 862	13 379	554	535
Benzol C ₆ H ₆ . . .	0,01	34 543	33 092	345	330
Kohlensäure CO ₂ . . .	0,02	—	—	—	—
Stickstoff N ₂ . . .	0,03	—	—	—	—
	1,00	—	—	oberer 5851 WE	unterer 5274 WE

Heizwert des Gases: oberer 5851 WE., unterer 5274 WE.

Mehr als die Hälfte des Heizwertes kommt also beim Leuchtgas von dem verbrennenden Methan.

65.

Die Verbrennungswärme des Gases läßt sich zum Heizen (Gasheizapparate) und indirekt zur Beleuchtung im Gasglühlicht verwerten; in beiden Fällen wird die Flamme durch Luftzumischung zunächst »entleuchtet«, damit der in der Leuchtflamme abgeschiedene Kohlenstoff (Ruß) nicht stört (Bunsenbrenner).

66.

Man kann dem Gas im Bunsenbrenner bis zur Hälfte der zur vollständigen Verbrennung notwendigen Luft zuführen. Das im Mischrohr aufsteigende Gasgemisch hat dann etwa 26% Gas neben 74% Luft. Wird die Luftmenge weiter vermehrt, so wird die Explosionsgrenze überschritten, und die Flamme schlägt zurück. Je reichlicher die Luftzufuhr im Bunsenbrenner, desto vollkommener die Verbrennung, selbst an kalten Flächen (Gaskochapparate). Ist die Luftzumischung zu gering, so entsteht unvollständige Verbrennung (Geruch!).

67.

Am inneren Kegel der Bunsenflamme verbrennt Luft in überschüssigem Gas; im äußeren Flammenmantel verbrennt das nur teilweise verbrannte Gas vollständig im Luftüberschuß.

68.

Bringt man in den äußeren Mantel der Bunsenflamme das Aschenskelett eines Tüllgewebes, welches mit den Nitraten von Thor und Cer getränkt ist (99% Thor- 1% Cer-Oxyd, Auermischung), so erhält man einen glänzend leuchtenden Kegel (Auerlicht).

69.

Über die Ursache des Leuchtens des Auerstrumpfes bestehen verschiedene Erklärungsweisen, die sich jedoch nicht gegenseitig ausschließen (Bunte, Le Chatelier, Nernst u. Bose): Je höher die Temperatur des Strumpfes und je mehr die Strahlungsenergie im sichtbaren Teil des Spektrums liegt, um so intensiver leuchtet derselbe (Lochcylinder, Prefsgaslicht, Lucaslicht etc.).

70.

Die Fortschritte in der Flammenbeleuchtung bezüglich der Lichtausbeute in den letzten 25 Jahren zeigen sich an folgender Tabelle:

Entwicklung der Gasbeleuchtung.

	Leuchtkraft in HK pro 1 cbm Stunden- verbrauch	Verbrauch pro HK-Stunden 1	20 HK kosten pro Stunde	Preis der Leuchtstoffe
Leuchtgas Gasglühlicht	1802 ab Schnitt- und Argand- brenner	133	7,5 l	2,4 Pf.
	von 1890 Siemens- Regenerativlampe	227	4,4 l	1,4 >
	1890. Alte Strumpfform	500	2,0 l	0,64 >
	1896 Strumpfform	600	1,67 l	0,53 >
	1900 (Prefsgas)	1000	1,0 l	0,32 >

1 cbm = 16 Pf.

71.

Durch Einführung des Gasglühlichtes haben sich auch die hygienischen Verhältnisse bei Flammenbeleuchtung wesentlich verbessert:

	im Schnitt- und Argandbrenner	WE	Vol. CO ₂	Vol. H ₂ O
früher:	gab 1 Gasflamme mit 140 l Verb. 16 HK und gab	800	78	179
	im Auerbrenner			
jetzt:	gibt 1 Gasflamme mit 140 l Verb. 80 HK und gibt also auf die gleiche Leucht- kraft oder auf 16 HK etwa 1/6 der Wärme, CO ₂ u. H ₂ O	160	16	36
	1 Mensch liefert pro Stunde	92	44	33

Gasentweichungen können durch Palladium-Goldchlorür nachgewiesen werden. (Vergl Journ. f. Gasbel. 1885, S. 644 und 673; 1886, S. 737.)

72.

Leuchtgas in bestimmtem Verhältnis mit Luft gemischt explodiert beim Entzünden. Die dadurch ausgeübte mechanische Kraft kann zerstörend wirken; sie wird ausgenutzt in

Zum Gaskursus.

den Explosionsmotoren. Die Grenzen innerhalb deren eine Leuchtgas-Luft-Mischung explodiert, wechselt mit der Zusammensetzung des Gases und anderen Umständen.

Vergleichsweise sind die Explosionsgrenzen verschiedener Gase und Dämpfe wie folgt:

Art des Gases	Prozentgehalt der Mischung im brennbaren Gas		
	Keine Explosion (untere Explosionsgrenze)	Explosionsbereich in 19 mm Rohr	Keine Explosion (obere Explosionsgrenze)
Kohlenoxyd	16,4	16,6—74,8	75,1
Wasserstoff	9,4	9,5—66,3	66,5
Wassergas	12,3	12,5—66,6	66,9
Acetylen	3,2	3,5—52,2	52,4
Leuchtgas	7,8	8,0—19,0	19,2
Äthylen	4,0	4,2—14,5	14,7
Alkohol	3,9	4,0—13,6	13,7
Methan	6,0	6,2—12,7	12,9
Äther	2,6	2,9— 7,5	7,9
Benzol	2,6	2,7— 6,3	6,7
Pentan	2,3	2,5— 4,8	5,0
Benzin	2,3	2,5— 4,8	5,0

73.

Die Lichtausbeute bei unseren gebräuchlichen Lichtquellen gegenüber der aufgewendeten Energie ist zur Zeit noch außerordentlich gering. Rechnet man für 1 HK-Sek. theoretisch einen Energieaufwand von 0,04532 g Kal., so gibt der Vergleich folgendes in nachstehender Tabelle enthaltenes Resultat.

Lichtquellen	Energieaufwand Kal. pro HK-Sek.	Nutzeffekt- Licht	Verlust (Wärme)
Leuchtgas. Schnitt- u Rundbrenner . . .	11,4	0,40 %	99,60
Siemens Regenerativ- brenner	6,5	0,70 %	99,30
Auerbrenner	2,4	1,88 %	98,12
Spiritusglühlicht . . .	2,9	1,53 %	98,47
Petroleumlampe	8,9	0,51 %	99,49
Acetylen	2,5	1,83 %	98,17
Elektr. Glühlicht	0,9	5 %	95
Bogenlicht	0,24	19 %	81

II. Gasanalyse mit der Bunte-Bürette.

74.

Apparate zur Gasanalyse. Zwei Büretten mit Zubehör, Gestell, Druck- und Saugflasche, Klammern u. s. w. Zur partiellen Verbrennung von Wasserstoff: schwer schmelzbare Glasröhrchen mit Palladiumdraht. Für Methanbestimmung (Verpuffung): Explosionsbürette oder Explosionspipette, ein Bunsensches Tauchelement und ein Induktionsapparat. Außerdem sind erforderlich ein Bunsenbrenner, dickwandiger Gummischlauch sowie Quetschhähne.

Reagentien zur Gasanalyse. Kalilauge 1:3 zur Absorption von Kohlensäure. Alkalische Pyrogallol-Lösung, stets frisch gemischt aus 3 Vol. Kalilauge 1:3 und 1 Vol. Pyrogallusäurelösung 1:5, für Sauerstoff. Konzentrierte Lösung von Kupferchlorür in konzentrierter Salzsäure, für Kohlenoxyd. Gesättigtes Bromwasser für schwere Kohlenwasserstoffe. Jodlösung, 0,905 g. Jod mit Jodkalium im Liter gelöst enthaltend, für Schwefelwasserstoff. Normalsäure und Normalkali, ferner $\frac{1}{10}$ N.-Säure und Kali für Ammoniak.

75.

Das Arbeiten mit der Bürette.

Vorbemerkungen: Es ist bei den Büretten darauf zu achten, daß die Röhre am unteren Hahn so eng (kapillar) ist, daß Wasser bei geschlossenem Hahn auch beim Schütteln der Bürette nicht aus derselben ausfließt. Der Dreiweghahn muß sich in eine Zwischenstellung bringen lassen, bei welcher alle drei Öffnungen verschlossen sind; dies ist nicht der Fall, wenn die Bohrungen zu weit sind. Die Hähne werden sorgfältig mit einem zusammengeschmolzenen Gemenge von 2 Teilen Paragummi, 2 Teilen Bienenwachs und 10 Teilen Talg geschmiert. Man prüft die Bürette auf dichten Schluß, indem man in derselben eine starke Luftverdünnung herstellt, durch kräftiges Absaugen oder indem man die Bürette halb mit Kohlensäure, halb mit Luft füllt, dann 2—3 ccm Kali-

lauge einziehen läßt und den unteren Hahn schließt. Durch Umschütteln wird die Kohlensäure absorbiert und so ein ziemlich starker Unterdruck in der Bürette erzeugt; auch beim längeren Stehen muß die Flüssigkeit in der oberen und unteren Kapillare innerhalb der Bürette stehen bleiben. Beim Arbeiten mit der Bürette ist vor allen Dingen darauf zu achten, daß während der Dauer der Analyse die Temperatur des Gases völlig gleich bleibt. Das Sperrwasser muß genau die Temperatur des Arbeitsraumes haben, und dieser darf während der Analyse keinen Temperaturschwankungen unterworfen sein. Eine Temperaturänderung um 3° entspricht einer Volumveränderung um rund 1%. Die Bürette ist daher bei allen Manipulationen stets am Trichteraufsatz bzw. an den Kapillaransätzen der beiden Hähne anzufassen. Eine geringe Differenz des Wasserstandes im Trichter beim Einstellen des Druckes kommt viel weniger in Betracht, da 1 cm Wasserdruck nur einer Volumveränderung von 0,1% entspricht. Die Teilung der Bürette ist durch Ausfließenlassen und Wägen des Wassers von 10 zu 10 ccm zu prüfen.

Bei der Anwendung der Reagentien ist darauf zu achten, daß bei Gegenwart in Wasser leicht löslicher Gase, z. B. Kohlensäure, schwere Kohlenwasserstoffe möglichst wenig Wasser bzw. Absorptionsmittel mit dem Gase in Berührung kommt. Man läßt also nach der Absorption Wasser zuerst von unten aufsteigen und stellt alsdann den Arbeitsdruck durch Drehen des Dreiweghahnes und Verbinden der Bürette mit dem Wasser im Trichteraufsatz her.

Vor jeder Ablesung ist der Trichter mit Wasser bis zur Marke zu füllen und durch Öffnen des oberen Hahnes der Druck einzustellen. Von dieser Einstellung bis zum Ablesen wartet man am besten eine ganz bestimmte Zeit, mindestens aber 1 Minute, bis die Oberfläche des Sperrwassers nicht mehr merklich steigt.

76.

Entnahme der Gasproben. Bei der Probeentnahme von Gasen, die unter Druck stehen, verbindet man den Dreiweghahn (Stellung \neg) der leeren Bürette mit der Probeent-

nahmestelle und läßt durch den unteren Hahn so lange Gas entweichen, bis der Luftinhalt der Bürette durch das Gas verdrängt ist; man schließt alsdann zuerst den unteren Hahn, sodann durch rasches Umdrehen den oberen Dreiweghahn. Der Trichter ist hierbei mit Wasser gefüllt. Oder die mit Wasser gefüllte Bürette wird durch den Dreiweghahn (□) mit der Entnahmestelle verbunden; man läßt durch den etwas Wasser enthaltenden Trichter so viel Gas entweichen, daß die Luft aus den Verbindungsschläuchen verdrängt ist, dreht den Dreiweghahn um (⊐), öffnet den unteren Hahn, bis das Wasser etwas unter die Nullmarke abgelaufen ist, schließt den oberen und dann den unteren Hahn. Steht das Gas unter Unterdruck (Rauchgase, Heizgase u. s. w.) so geschieht die Entnahme mittels Saugball, Wassersaugflasche oder Wasserstrahlpumpe. Die Saugvorrichtung wird mit der unteren Hahnkapillare verbunden. Bei Verwendung des Saugballes tut man gut, beim Zusammenpressen den Gummischlauch, der die Verbindung mit der Bürette herstellt, gleichzeitig durch einen Knick zu schließen, um ein Zurücktreten von Gas aus dem Sauger in die Bürette zu vermeiden, da die Bälle nicht immer ganz zuverlässig arbeiten.

77.

Abmessen des Gasvolumens in der Bürette. Der Dreiweghahn wird in Zwischenstellung gebracht, d. h. so gedreht, daß keine der drei Bohrungen kommuniziert. Der Trichter wird bis zur Marke mit Wasser aus der Druckflasche gefüllt. Hierauf wird der vollständig mit Wasser gefüllte Gummischlauch der Druckflasche mit dem unteren Hahn verbunden; nach Öffnen des Quetschhahnes läßt man Wasser aufsteigen bis etwa 0,2 ccm unter der Nullmarke. Man öffnet sodann den Dreiweghahn, es entweicht ein Teil des Gases, und es findet Druckausgleich statt. Dabei fließt etwas Wasser nach, so daß gewöhnlich die Einstellung auf die Nullmarke erfolgt. Der Stand des Wassers wird abgelesen und notiert; über Null ohne Zeichen, unter Null +. Nach dem Abmessen wird der Dorn des Dreiweghahnes mit einem kurzen Stückchen Schlauch versehen. Darauf läßt man Wasser aus

dem Trichteraufsatz durch den Schlauch ausfließen und verschließt die Öffnung des Schlauches mit einem kleinen Glasstäbchen. So lange der Dreiweghahn nicht benützt wird, soll die Bohrung des Dornes in den Trichter münden (Stellung \perp).

Zum Einbringen eines Absorptionsmittels in die Bürette saugt man die Sperrflüssigkeit mittels der Saugflasche ab. Man hält während des Saugens den unteren Glashahn fest, um sofort schliessen zu können, wenn die Wasseroberfläche in die untere Kapillare eintritt. Um ein Abhebern der Flüssigkeit aus der Saugflasche zu vermeiden, saugt man nach dem Abnehmen des Schlauches von der Bürette die Flüssigkeit in die Saugflasche zurück. Das Absorptionsmittel läßt man aus einem untergehaltenen Porzellanschälchen in die Bürette eintreten.

78.

Die Bestandteile eines Gasgemisches werden in nachstehender Reihenfolge bestimmt:

I. Feuergase (Verbrennungsgase, Rauchgase).

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1. Kohlensäure, | 3. Kohlenoxyd |
| 2. Sauerstoff | 4. Stickstoff (Rest). |

II. Leuchtgas.

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| a) durch Absorption: | b) durch Verbrennung: |
| 1. Kohlensäure, | 5. Wasserstoff, |
| 2. Schwere Kohlenwasserstoffe, | 6. Methan, |
| 3. Sauerstoff, | 7. Stickstoff (Rest). |
| 4. Kohlenoxyd, | |

1. Kohlensäure, CO_2 . Die Absorption der Kohlensäure geschieht mittels Kalilauge 1:2 (1 Gewichtsteil Stangenkali in 2 Gewichtsteilen Wasser gelöst), der gewöhnlichen käuflichen Kalilauge von $29^\circ \text{B.} = 1,252$ spez. Gew. 1 ccm derselben absorbiert etwa 90 bis 100 ccm CO_2 . Die Absorption geschieht sehr rasch und es genügt ein einmaliges Bespülen der Wandungen mit der Lauge. Nach der Absorption läßt man Wasser von unten aufsteigen, dann langsam von oben nachfließen zum Abspülen der Wandungen, stellt den Druck wieder ein und liest ab. (Bei Rohgas ist der Schwefelwasserstoff vorher durch ein vorgelegtes Rohr mit Kupfervitriol ge-

tränktem Bimsstein oder durch eine Waschflasche mit schwach saurer Bleizuckerlösung zu entfernen.)

2. Schwere Kohlenwasserstoffe, $C_n H_m$. Das Sperrwasser wird möglichst vollständig abgesaugt; zur Entfernung der Kalilauge werden die Wandungen mit wenig Wasser von oben gespült und dieses wieder abgesaugt. Zur Absorption der $C_n H_m$ läßt man ca. 10 ccm Bromwasser in die Bürette steigen und schüttelt um. (Das Bromwasser wird hergestellt, indem in einer mit Glasstöpsel versehenen Flasche zu destilliertem Wasser einige Kubikzentimeter Brom zugesetzt werden.) Außer Äthylen werden die sämtlichen ungesättigten Kohlenwasserstoffe absorbiert und auch Benzol und die anderen Lichtgeber gelöst. Sollte nach dem Schütteln das Gas nicht mehr durch Bromdämpfe gelbbraun gefärbt erscheinen, so ist das Wasser abzusaugen und durch frisches Bromwasser zu ersetzen. Ist die Absorption vollendet (Bromdämpfe in der Bürette!), so saugt man das Sperrwasser ab (Kalilauge in der Saugflasche!), zieht etwa 1 ccm Kalilauge in die Bürette, schüttelt zur Absorption der Bromdämpfe um, läßt wenig Wasser von oben nachfließen, stellt den Druck ein und liest ab.

3. Sauerstoff. Die Absorption des Sauerstoffs geschieht durch pyrogallussaures Kali in stark alkalischer Lösung. Man läßt erst 1 Vol. Pyrogallollösung 1:5, dann 3 Vol. Kalilauge 1:3 eintreten, im ganzen etwa 10 ccm der Mischung. Nach etwa 5 Minuten langem kräftigem Schütteln läßt man durch den Trichter Wasser nachtreten bis der Druckausgleich erfolgt ist, schüttelt nochmals und wiederholt dies so lange, bis kein Wasser mehr eintritt. Um die Ablesung nun vornehmen zu können, läßt man die dunkle Flüssigkeit durch den unteren Hahn abfließen, während man durch den oberen Hahn an den Wandungen entlang Wasser eintreten läßt, bis eine Schicht klaren Wassers auf der dunklen Flüssigkeit steht. Nach Einstellung des Druckes wird abgelesen.

Für genaue Sauerstoffbestimmungen ist die titrimetrische Methode anzuwenden (S. 47).

4. Kohlenoxyd. Das Sperrwasser wird abgesaugt, nachgewaschen und wieder abgesaugt. Dann werden etwa 10 ccm der salzsauren Kupferchlorürlösung eingesogen; man schüttelt

etwa 1 Minute durch und saugt die Lösung ab. Zum Absaugen der Kupferchlorürlösung stelle man durch kräftiges Saugen in der Flasche erst ein gutes Vakuum her und öffne den Hahn vorsichtig, da schon ein beträchtlicher Unterdruck in der Bürette herrscht. Die Kupferchlorürlösung wird durch frische ersetzt und wie eben behandelt; dies wiederholt man mindestens zweimal. Nachdem das Kupferchlorür wieder abgesaugt ist, gibt man in den Trichter 3 bis 4 ccm konzentrierte Salzsäure, die man langsam an den Wandungen herabfließen läßt, darauf Wasser, so daß sich in der Bürette drei Schichten bilden: Kupferchlorürlösung, Salzsäure, Wasser. Diese Lösungen werden wieder abgesaugt, 1 bis 2 ccm Kalilauge in die Bürette eingesogen und umgeschüttelt zur Absorption der Salzsäuredämpfe. Nun läßt man Wasser eintreten, stellt den Druck wieder ein und liest ab.

5. Wasserstoff. In dem aus nichtabsorbierbaren Gasen (Wasserstoff, Methan und Stickstoff) bestehenden »Gasrest« wird Wasserstoff durch fraktionierte Verbrennung bestimmt. Die Ausführung der Bestimmung geschieht mittels zweier Büretten. Etwa 22 bis 25 ccm des Gasrestes werden nach Einstellung des Druckes genau abgemessen und mit einer zur Verbrennung des Wasserstoffs mehr als ausreichenden Menge Luft versetzt. Das Einsaugen von Luft geschieht in der Weise, daß zunächst der untere Hahn, dann der obere (□) geöffnet wird, wodurch das Wasser ausläuft und Luft in die Bürette eintritt. Ist der Wasserspiegel bis etwa 105 ccm, d. h. 5 ccm unter Null (+ 5) abgelaufen, so schließt man rasch den oberen Hahn und dann den unteren, mischt die Gase durch Schütteln gleichmäßig durch, stellt den Druck ein und liest das Volumen ab. Aus dem Trichter der Bürette wird nun das Wasser entfernt und aus der Winkelbohrung des Dreiweghahnes das Wasser ausgeblasen. Die Hilfsbürette wird mit Wasser gefüllt am gleichen Stativ in eine Klammer befestigt und nun das Palladiumröhrchen zwischen die Dorne der Dreiweghähne der beiden Büretten mittels dickwandiger, gut schließender, kurzer Schlauchstücke befestigt. (Stellung: Hilfsbürette ⊥, Palladiumrohr, Meßbürette ⊥.)

Der zur Verbrennung dienende Palladiumdraht ist 100 mm lang und 0,5 mm stark; er wird viermal zusammengelegt in

ein schwerschmelzbares Glasröhrchen gesteckt. Dasselbe ist 10 cm lang, von 3 mm innerem und etwa 5 mm äußerem Durchmesser. In der Mitte läßt man dasselbe durch Erhitzen auf etwa 2,5 mm zusammenfallen. Im verengten Teil wird der Draht eingeklemmt, der übrige Raum des Röhrchens beiderseits mit langfaserigem Asbest lose ausgefüllt.

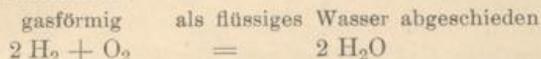
Die Dreiweghähne werden nun beide in Zwischenstellung gebracht, d. h. um 45° gedreht, so daß keine der Bohrungen offen ist. Der Trichter der Mefsbürette wird mit Wasser gefüllt und in der Bürette durch vorübergehendes Öffnen des unteren Hahnes Unterdruck erzeugt. Beide Dreiweghähne werden nun rasch gleichzeitig herumgedreht ($\sqcap \sqsupset$), so daß das Palladiumröhrchen mit dem Mefraum in Verbindung steht. Beim Erhitzen des Palladiumrohres wird die Luft ausgedehnt und das in der oberen Kapillare befindliche Wasser in die Bürette zurückgedrängt. Nun schließt man den Gummischlauch der Druckflasche an den unteren Hahn der Mefsbürette an, öffnet diesen und erwärmt das Röhrchen an der Verengung mittels kleiner Flamme so weit, daß die an der Flamme vom heißem Glas herrührende (Natrium-) Färbung erscheint. Nun wird der untere Hahn der Hilfsbürette geöffnet, so daß das Gas in mäfsig raschem Strome aus der Mef- in die Hilfsbürette hinübergedrückt wird. Der Wasserausfluß wird hierbei so geregelt, daß das Wasser im Strahl, nicht in Tropfen ausfließt und der Draht an dem Ende, an welchem der Gasstrom auf ihn trifft, sich kaum bis zur dunklen Rotglut erhitzt. Sobald die Mefsbürette bis an den oberen Hahn mit Wasser gefüllt ist, schließt man rasch den unteren Hahn derselben und dann auch den der Hilfsbürette. Das Gasgemisch kann nun in gleicher Weise unter Erwärmen des Palladiumrohres zurückgeführt werden und nachdem vollständiger Temperatenausgleich eingetreten ist, wird der Druck eingestellt und die Kontraktion bestimmt.

Beispiel: Angewandter Gasrest	22,2 ccm
Mit Luft bis	+ 5,3 »
Nach der Verbrennung	13,7 »
Kontraktion	<hr/> 19,0 ccm.

Es sei nun der Stand nach der Kohlenoxydbestimmung 15,0 gewesen, der Gasrest also 85,0 ccm. Würde der ganze Gasrest zur Wasserstoffbestimmung verwendet worden sein, so betrüge die Kontraktion:

$$22,2 : 19,0 = 85,0 : x \\ x = 72,8.$$

$\frac{2}{3}$ dieses Volumens waren Wasserstoff, $\frac{1}{3}$ der zur Verbrennung nötige Sauerstoff;



Demnach waren in 85 ccm Gasrest, entsprechend 100 ccm des ursprünglichen Gases $\frac{2}{3} \cdot 72,8 = 48,5$ ccm, oder 48,5% Wasserstoff.

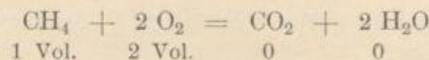
Methan wird, wenn der Draht nicht über schwache Rotglut erhitzt wird, hierbei nicht mit verbrannt, kann jedoch zum kleinen Teil mit verbrennen, wenn der Draht zum starken Glühen kommt.

Zur Kontrolle wird der nach der Explosion übriggebliebene Sauerstoff bestimmt. Der Sauerstoffrest, von der aus der zugesetzten Luft berechneten Sauerstoffmenge abgezogen, gibt den Sauerstoffverbrauch bei der Verbrennung; derselbe muß gleich $\frac{1}{3}$ der eingetretenen Kontraktion sein.

6. Methan. Das Methan wird durch Explosion eines Teiles des Gasrestes bestimmt. 12—15 ccm Gasrest werden in der Explosionsbürette nach Einstellen des Druckes genau abgemessen, und man saugt alsdann wie bei der Wasserstoffbestimmung einen Überschuss an Luft dazu. Nach dem Umschütteln wird der Druck eingestellt und das Volumen abgelesen. Das noch in der Bürette befindliche Sperrwasser wird abgesaugt und sodann die Entzündung durch den elektrischen Funken mittels Tauchelement und Induktor bewirkt. Nach Einstellung des Druckes wird die durch die Verbrennung eingetretene Kontraktion abgelesen; sodann läßt man 1—2 ccm Kalilauge einziehen, benetzt damit die Wandungen, läßt von oben unter Spülen der Wände langsam Wasser nachtreten, stellt den Druck ein und bestimmt die Gesamtkontraktion. Dieselbe setzt sich zusammen aus dem unter Wasser- und

Kohlensäurebildung verbrannten Wasserstoff und Methan-
volumen und dem bei der Verbrennung verbrauchten Sauer-
stoff. Zieht man von der Gesamtkontraktion den auf Wasser-
stoff treffenden Betrag (aus der vorhergehenden Bestimmung)
ab, so trifft der Rest auf Methan.

Nach der Gleichung:



verschwinden beim Verbrennen von 1 Vol. Methan nach
Absorption der Kohlensäure und Verdichtung des Wassers
3 Volumen Gas; $\frac{1}{3}$ der Kontraktion ist demnach gleich dem
vorhandenen Methan.

Beispiel einer Leuchtgasanalyse.

I. Absorption.

Ablesungen.	Rechnungsdaten.	Prozentisch:
	ccm	Vol. %
Stand bei Beginn	0,0	
Nach Absorption mit Länge . . .	2,0	Kohlensäure = 2,0
Nach Absorption mit Brom . . .	6,0	Schwere Koh- lenwasser- stoffe . . . = 4,0
Nach Absorption mit Pyrogallol	6,4	Sauerstoff . = 0,4
Nach Absorption mit Kupfer- chlorür . . .	15,0	Kohlenoxyd . = 8,6
Gasrest	85,0	

II. Fraktionierte Verbrennung (Wasserstoffbestimmung).

	ccm	Im ganzen Gasrest
Stand bei Beginn	77,8	(Faktor $\frac{85,0}{22,2}$)
Nach Zufügen von Luft . . . +	5,3	
Nach der Verbren- nung	13,7	
	Angew. Gasrest = 22,2	
	Zugemischte Luft . . . = 83,1	
	Kontraktion . = 19,0	Kontraktion 72,8
	$72,8 \times \frac{2}{3} =$	Wasserstoff = 48,5

III. Explosion (Methan- und Wasserstoffbestimmung).

Stand bei Beginn	87,3	Angew. Gasrest = 12,7	Im ganzen Gasrest
NachZufügen von		Zugemischte	(Faktor $\frac{85,0}{12,7}$)
Luft . . . +	4,1	Luft . . . = 91,4	
Nach Explos. und			Gesamtkontraktion
Abs. m. Lange	21,1	Kontraktion . = 25,2	168,8
hieraus Methan =		$(168,8 - 72,8) \times \frac{1}{3}$	Methan . = 32,0
			Zusammen 95,5
		IV. Rest: als	Stickstoff 4,5
			<u>100,0</u>

Ergebnis der Analyse: Zusammensetzung des Leuchtgases

CO ₂ Kohlensäure	2,0 Vol. %
Cn Hm schwere Kohlenwasser- stoffe (Äthylen, Benzol)	4,0 „ „
O ₂ Sauerstoff	0,4 „ „
CO Kohlenoxyd	8,6 „ „
H ₂ Wasserstoff	48,5 „ „
CH ₄ Methan	32,0 „ „
N ₂ (als Rest)	4,5 „ „
	<u>100,0 Vol. %</u>

Zusammensetzung verschiedener Leuchtgase.

	Steinkohlen- gas	Wassergas nach		Ölgas (Pintsch)	Natur- gas
		Humphreys & Glasgow karburiert	Dellwik- Fleischer unkarburiert		
	%	%	%	%	%
CH ₄	34	13,9	0,82	40,0	93
H ₂	49	36,2	50,80	27,0	1
CnHm	5	9,2	0,05	33,0	—
CO	8	29,7	39,65	—	—
CO ₂	4	5,3	4,65	—	—
N ₂		6,2	3,83	—	6
Heizwert	5324	4466	2602	8276	8000

79.

Einzelbestimmungen nach besonderen Methoden.

Schwefelwasserstoff: Titrimetrische Bestimmung nach Bunte, Journ. f. Gasbel. 1888, S. 899 und 1889, S. 159.

Sauerstoff: Titrimetrische Bestimmung nach Winkler-Lubberger, Journ. f. Gasbel. 1898, S. 695.

Äthylen und Benzol: Titrimetrische Bestimmung nach Haber-Oechelhaeuser, Journ. f. Gasbel. 1896, S. 804 1900, S. 349.

Ammoniak: Titrimetrische Bestimmung nach Tieftrunk oder Knublauch, Journ. f. Gasbel. 1878, S. 289 und 1881, S. 153.

Cyan: Titrimetrische Bestimmung nach Drehschmidt, Journ. f. Gasbel. 1892, S. 268.

[Teerdampf: Bestimmung nach Leybold, Journ. f. Gasbel. 1894, S. 551.]

Bemerkung: Acetylen kann gleich den schweren Kohlenwasserstoffen, mit denen es chemisch nahe verwandt ist, durch Bromwasser oder rauchende Schwefelsäure absorbiert werden. Es kann auch durch ammoniakalische Lösung von Kupferchlorür und ammoniakalische Lösung von Silbernitrat absorbiert werden.

80.

Schwefelwasserstoffbestimmung (titrimetrisch).

Das auf Schwefelwasserstoff zu prüfende Gas wird in eine vollkommen trockene Bürette mittels Saugball oder Aspirator eingezogen. Ein Teil des Gases wird mit der Saugflasche entfernt, so daß in der Bürette Unterdruck entsteht. Man läßt nun Jodlösung in die Bürette einsteigen, bis die untere Kapillare einschließlic der Hahnbohrung gefüllt ist. Hierauf wird Stärkelösung eingesogen bis genau zum untersten Teilstrich. Unter wiederholtem Umschütteln läßt man darauf so lange Jodlösung eintreten, bis die Flüssigkeit eben blau erscheint. Die Anzahl der verbrauchten Kubikcentimeter Jodlösung liest man an der Teilung ab und mißt das zurückbleibende Gasvolumen, nachdem man in üblicher Weise den Druck eingestellt hat. Aus der verbrauchten Jodlösung und dem Volumen des Gasrestes ergibt sich der Gehalt an H_2S .

Anstatt die Titration in der Bürette vorzunehmen, kann überschüssige Jodlösung in dieselbe gebracht und der Überschufs nach dem Ausspülen der Bürette mit Thiosulfat zurücktitriert werden.

Die Jodlösung wird dargestellt durch Auflösen von 0,905 g Jod in Jodkalium auf 1 l. 1 ccm dieser Lösung entspricht 0,1 ccm feuchtem Schwefelwasserstoff von 15° und 750 mm Quecksilberdruck.

Beispiel:

Stand der Stärke-		9,9	
lösung . . . + 9,9		-2,8	
Nach Zugabe der		—	
Jodlösung . . + 2,8	Verbrauchte	Jodlösung 7,1 ccm	H ₂ S . = 0,71 ccm
Stand nach Ein-			
stellung des			
Druckes . . . 2,6			Gas ohne
			H ₂ S . = 97,4 >

Angewandtes Gasvolumen = 98,11 ccm

Daraus Prozentgehalt des Gases an Schwefelwasserstoff:

$$98,11 : 0,71 = 100 : x$$

$$x = \underline{0,73\% \text{ H}_2\text{S}}$$

81.

Sauerstoff. Titrimetrische Bestimmung.

Erforderliche Lösungen:

1. Jodkaliumlösung: 10 g Ätznatron, 35 g Seignettesalz (kristallisiert) und 8,5 g Jodkalium werden zu 300 ccm gelöst. Um die Ausscheidung von Jod, bzw. die Bildung von jodsauren Salzen zu vermeiden, bringt man in die Vorratsflasche ein Stück blankes Silberblech.

2) 10 g Manganchlorür auf 100 ccm. Zur Vermeidung der Oxydation mit einem Tropfen Salzsäure angesäuert.

3. Natriumthiosulfatlösung ($\frac{1}{50}$ normal) 4,96 g Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3 + 5 \text{H}_2 \text{O}$) zu 1000 ccm gelöst. 1 ccm entspricht 0,12 ccm Sauerstoff, feucht bei 15° und 750 mm Quecksilberdruck.

4. Luftfreies Wasser. Granuliertes Zink wird mit Wasser übergossen, dem man 1—2 Tropfen Kupfervitriollösung zugesetzt hat; nach $\frac{1}{4}$ Stunde läßt man die Flüssigkeit ablaufen und wäscht mit Wasser aus. Derart behandeltes Zink füllt man in eine zweifach tubulierte Woulffsche Flasche von $\frac{1}{2}$ l Inhalt. Durch den einen Tubus führt ein Rohr (a) bis zum Boden des Gefäßes, unten durch einen Wattebausch gegen das Eindringen von Zinkoxyd-

flocken geschützt; oben ist das Rohr mit einem etwa 10 cm langen Gummischlauch nebst Quetschhahn versehen. Der zweite Tubus ist in doppelt durchbohrtem Stopfen mit zwei kurzen Röhren versehen, von denen die eine (*b*) etwas in die Flasche hineinragt, die andere (*c*) mit dem Stopfen glatt abschneidet und oben mit Gummischlauch und Glasstab verschlossen ist. Die Flasche wird mit Wasser gefüllt, das man zunächst mit Leuchtgas sättigt, indem man das Gas durch *a* einleitet und durch *c* mittels Saugapparat absaugt. Durch Aufstoßen der Flasche entfernt man zwischen den Zinkstückchen sitzende Gas- und Luftblasen. Man verbindet nun Rohr *b* mit dem Schlauch der zur Bunzebürette gehörenden Druckflasche. Durch Lüften des Stopfen *c* läßt man die oben angesammelten Gase entweichen. Nach einigen Stunden ist das Wasser in der Flasche sauerstofffrei. Zur Entnahme läßt man bei *b* Wasser eintreten und entnimmt es bei *a* durch Anschließen des vollständig mit Wasser gefüllten Schlauches an die Bürette.

Mittels des luftfreien Wassers werden 100 ccm des Gases in der Bürette abgemessen und das Sperrwasser wieder abgesaugt. Durch den oberen Hahn läßt man sodann 1 ccm Manganchlorürlösung, durch den unteren 3 ccm Jodkaliumlösung, eintreten und schüttelt 5—10 Minuten. Man läßt dann 1 ccm konzentrierte Salzsäure eintreten und schüttelt wieder um. Der Trichter wird mit destilliertem (luftfreies ist nicht mehr erforderlich) Wasser gefüllt und der Inhalt der Bürette vollständig in ein Becherglas gespült. Unter Zusatz von Stärkelösung wird mit $\frac{1}{50}$ normal Thiosulfatlösung titriert bis zum Verschwinden der blauen Farbe. 1 ccm der verbrauchten Thiosulfatlösung entspricht 0,12 Vol. % Sauerstoff, bei Anwendung von 100 ccm Gas.

Schwefelwasserstoff darf in dem Gas nicht enthalten sein; derselbe muß eventuell zuvor mit Bleiacetatlösung wie bei der Kohlensäurebestimmung entfernt werden.

Bestimmung von Äthylen neben Benzol im Leuchtgas.

Die Bestimmung beruht auf der Ermittlung des Gehaltes an Benzol + Äthylen durch Absorption mittels Brom und der Bestimmung des Äthylens aus dem Bromverbrauch woraus durch Subtraktion der Benzolgehalt zu ermitteln ist.

In der Bürette werden ca. 90 ccm des zu untersuchenden Gases in der üblichen Weise genau abgemessen. Hierauf wird die Bürette bis zum Hahn leergesaugt und nach einigen Minuten, nachdem das Wasser zusammengeflossen, dasselbe abermals bis zum Hahn abgenutscht. Alsdann werden ca. 35 ccm halbgelöstes Bromwasser aus der Flasche in ein Porzellännöpfchen gegossen, 10—15 ccm in die Bürette eingezogen und der Stand abgelesen; nach erfolgter Ablesung wird von unten her etwas Wasser nachgesogen, welches das in der unteren Kapillare noch vorhandene Bromwasser noch in die Bürette spült. Die Bürette wird nun etwa 2 Minuten geschüttelt. Nach dem Umschütteln muß noch ein reichlicher Überschuss von Brom in der Bürette sein. Nach 2 bis 3 Minuten läßt man starke Jodkaliumlösung eintreten, schüttelt kräftig durch, stellt mit destilliertem Wasser den Druck ein und liest ab. Der ganze Inhalt der Bürette wird nun mit destilliertem Wasser quantitativ in ein Becherglas gespült und der Gehalt an freiem Jod mit $\frac{1}{10}$ normal Thiosulfat zurücktitriert.

Darauf verfährt man mit dem gleichen Bromwasser und derselben Bürette ohne Leuchtgas ebenso und erfährt so die dem angewandten Brom entsprechende Menge Thiosulfat. Die Differenz der bei beiden Versuchen verbrauchten ccm Thiosulfat entspricht dann Äthylen. 1 ccm Thiosulfat = 1,2 ccm feuchtem Äthylen von 15° und 750 mm Quecksilberdruck.

Beispiel:

Ablesungen	Rechnungsdaten	Prozentisch:
	ccm	
Stand bei Beginn . . . 8,0	Angew. Gas . . . 92,0	Vol. %
Nach Einsaugen von Bromwasser . . . + 3,6		
Nach Einsaugen von Jodkalium u. Einstellung des Druckes } . . . 12,1	Äthylen + Benzol . . . 4,1	Äthylen + Benzol = 4,45
Bei Luft verbraucht 13,85	ccm $\frac{1}{10}$ n. Thiosulfat	
Bei Gas verbraucht 11,05	> $\frac{1}{10}$ „ „	
Differenz = 2,80 ccm $\frac{1}{10}$ n. Thiosulfat		
entsprechend $2,80 \cdot 1,2 = 3,36$ ccm		
auf 100 also	$\frac{3,36 \cdot 100}{92} =$	Äthylen = $\frac{3,65}{0,80}$ Benzol =

83.

Bestimmung des Ammoniaks im Gas.

Der 20 l fassende Aspirator hat eine Teilung in Liter, welche an dem seitlich angebrachten Wasserstandsglas abgelesen werden. Es wird so lange Gas durch 25 ccm der mit Rosolsäure versetzten Schwefelsäure hindurchgeleitet, bis diese rosarot gefärbt wird. Die Säure wird in zwei verschiedenen Konzentrationen verwendet. Die stärkere, vor den Kondensatoren und Skrubbern gebrauchte, wird dargestellt durch Verdünnen von 100 ccm $\frac{1}{1}$ normal Schwefelsäure auf 4,25 l. Der Ammoniakgehalt des Gases berechnet sich dann nach der

Formel $\frac{1000}{V} = g \text{ NH}_3$, wenn V die Anzahl Liter des zur Probe gebrauchten Gases bezeichnet. Die zweite, schwächere Säure, welche nach den Skrubbern verwendet wird, stellt man aus der oben erwähnten stärkeren Säure dar, durch Verdünnen derselben auf das 100fache Volumen, z. B. von 50 ccm auf 5 l. Die Formel zur Berechnung des Ammoniaks ist dann $\frac{10}{V} = g \text{ NH}_3$.

Sollte die Säure schon nach einem geringen Gasverbrauch, z. B. 3 bis 4 l, gefärbt werden, so wendet man zur Erhöhung der Genauigkeit der Bestimmung statt 25 ccm 50 ccm Säure an; die Formeln zur Berechnung sind dann $\frac{2000}{V}$ bzw. $\frac{20}{V} = g \text{ NH}_3$. Genügen 20 l Gas nicht, um die Farbenreaktion hervorzurufen, so füllt man den Aspirator von neuem und saugt noch mehr Gas ab.

Vor Beginn des Versuches saugt man das Gas, welches sich in den kurzen Verbindungsrohren zwischen den Betriebsapparaten und der Absorptionsflasche befindet, mittels des Aspirators ab.

84.

Bestimmung des Cyans im Leuchtgas nach Drehschmidt.

Die Versuchsanordnung zur Absorption des Cyans besteht aus zwei hintereinander geschalteten Absorptionszylindern von besonderer Gestalt, mit vorgeschalteter Gasuhr. Wenn der Gasdruck allein zur Überwindung der Widerstände nicht genügt, so wird das Gas mittels Wasserstrahlpumpe durchgesaugt. In den ersten Zylinder bringt man 15 ccm Ferrosulfatlösung (1:10) und 15 ccm Kalilauge (1:3), in den zweiten 5 ccm Ferrosulfat, 5 ccm Kalilauge und 20 ccm Wasser. Das zu untersuchende Gas wird mit einer Geschwindigkeit von etwa 70 l in der Stunde durchgeleitet; im ganzen verwendet man 100 l zur Absorption. Der Inhalt der beiden Zylinder wird nun in einen 250 ccm-Kolben gespült, bis zur Marke aufgefüllt, gut durchgeschüttelt und durch ein trockenes Faltenfilter filtriert. Von dem Filtrat gibt man 200 ccm in einen 300 ccm-Kolben und neutralisiert die Flüssigkeit durch verdünnte Schwefelsäure, indem man ein, den vorhandenen

$$20 \cdot \frac{200}{250} = 16 \text{ ccm Kalilauge entsprechendes, ungefähr gleich}$$

großes, durch einen besonderen Versuch zuvor ermitteltes Volumen Säure zugibt. Man fügt noch 2 g Ammoniumsulfat hinzu, sowie 15 g Quecksilberoxyd und einige Tropfen Ammo-

niak und erhitzt $\frac{1}{4}$ Stunde lang zum gelinden Sieden. Nach dem Erkalten füllt man zur Marke auf und setzt noch 1,3 ccm entsprechend dem Volumen des Quecksilberoxydes zu und filtriert durch ein trockenes Filter. 250 ccm des Filtrats werden in einen 300 ccm-Kolben gegeben, mit 6—10 ccm Ammoniak von 0,91 spez. Gew. und 7 g Zinkstaub versetzt und gut durchgeschüttelt. Man gibt dann 2 ccm Kalilauge (1:3) hinzu, füllt auf 301 ccm auf, schüttelt um und filtriert durch ein doppeltes Faltenfilter. Von dem Filtrat werden 200 ccm in einem $\frac{1}{2}$ l-Kolben mit 35—40 ccm $\frac{1}{10}$ n. Silberlösung versetzt, um alles Cyan zu binden; nach dem Versetzen mit verdünnter Salpetersäure fällt das Cyansilber aus und man misst nun den Überschufs der verwendeten Silberlösung zurück. Man füllt hierzu zunächst bis zur Marke auf und filtriert nach dem Durchschütteln durch ein trockenes Filter. In 250 ccm des Filtrats (der Hälfte) titriert man das überschüssig angewandte Silber mittels $\frac{1}{10}$ n. Rhodanammiumlösung nach der Volhardschen Methode zurück, indem man 5 ccm einer konzentrierten Eisenalaunlösung hinzufügt und so lange Rhodan zugibt, bis bleibende Rotfärbung eintritt.

Die zur Bindung des Cyans erforderliche Menge $\frac{1}{10}$ normale Silberlösung (n) ergibt sich aus der Differenz des angewandten Volumens Silberlösung und der als Überschufs zurückgemessenen.

Die Menge des im Gas vorhandenen Cyans berechnet sich dann nach der Formel:

$$n \cdot 2,6 \times \frac{9}{4} \text{ g Cyan in 100 cbm Gas.}$$

85.

Spezifisches Gewicht der Gase:

Luft, welche 1,294 kg pro cbm wiegt, ist gleich 1 gesetzt.

Wasserstoff	0,069	Äthylen	0,967
Grubengas	0,553	Kohlenoxyd	0,967
Ammoniak	0,589	Stickstoff	0,970
Wasserdampf	0,622	Sauerstoff	1,105
Acetylen	0,898	Kohlensäure	1,520

86.

Wärmekapazität des Leuchtgases:

- 1 cbm bedarf zur Erwärmung um 1° C 0,357 WE.
- 1 kg Wasser bedarf zur Erwärmung um 1° C 1 WE.
- 1 kg Wasser von 0° C bedarf zur Überführung in Dampf von 100° C 637 WE.

Wärmekapazität einiger Gase (bei konstantem Druck).

	1 kg	1 cbm	
Luft	0,237	0,307	} 0,31
Sauerstoff	0,217	0,311	
Stickstoff	0,2435	0,306	
Kohlenoxyd	0,2425	0,303	
Wasserstoff	3,41	0,305	
Kohlensäure	0,2109	0,427	0,43
Wasserdampf	0,7805	0,387	0,39

87.

Zusammenhang von Gasvolumen und Temperatur:

$V =$ Volumen des Gases bei t° Celsius
 $V_0 =$ „ „ „ „ „ „ „ „ 0° „

$$V = V_0 \frac{273 + t}{273} = V_0 (1 + \alpha t) = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$$V_0 = \frac{V}{\left(1 + \frac{1}{273} t\right)}$$

Temperaturveränderung um 3° bedeutet eine Volumveränderung um rund 1 Vol. %.

Zusammenhang von Gasvolumen und Druck:

$V =$ Volumen des Gases beim Druck (Barometerstand) p . (p in mm Quecksilber.)
 $V_0 =$ „ „ „ „ „ „ „ „ von 760 mm.

$$V = V_0 \frac{760}{p} \quad V_0 = \frac{Vp}{760}$$

Änderung des Druckes (Barometerstandes) um 8 mm bedeutet rund Volumänderung um 1 Vol. %.

Zusammenhang zwischen Normalvolumen und einem unter beliebigen Verhältnissen gemessenen Gasvolumen.

V_n = Normalvolumen (trockenes Gas von 0° und 760 mm Quecksilberdruck).

V_t = Volumen des bei t Grad Celsius und dem Barometerstand b feucht gemessenen Gases.

w = Tension des Wasserdampfes bei t° C in mm. Quecksilber

$$V_n = \frac{V_t (b - w)}{760 \left(1 + \frac{t}{273}\right)}$$

88.

Wasserdampftension:

b = Tension in mm Quecksilber.

V = Volumen, in welchem 1 kg Wasserdampf enthalten ist, in cbm.

P = Gewicht des Wasserdampfes in g in 1 cbm gesättigten Gases.

°C	b	V	P	°C	b	V	P	Druck Atm.	Siede- punkt d. Wassers °
0	4,6	210,7	4,7	55	117,5	9,6	104,6	1	100,0
5	6,5	150,2	6,7	60	148,8	7,6	130,7	2	120,6
10	9,2	108,5	9,2	65	186,9	6,2	162,5	3	133,9
15	12,7	79,3	12,6	70	233,1	5,0	199,4	4	144,0
20	17,4	58,7	17,0	75	288,5	4,1	243,8	5	152,2
25	23,6	44,0	22,7	80	354,6	3,4	296,0	6	159,2
30	31,5	33,0	30,1	85	433,0	2,8	357,1	7	165,3
35	41,8	25,4	39,3	90	525,4	2,3	428,4	8	170,8
40	54,9	19,6	50,9	95	633,7	2,0	511,1	9	175,8
45	71,4	15,3	65,3	100	760,0	1,6	606,2	10	180,3
50	92,0	12,0	83,0					11	184,5
								12	188,4
								13	192,1
								14	195,5

1 l Wasser löst folgende Mengen von Gasen.

	Schwer lösliche Gase 1 l Wasser löst ? ccm					Leicht lösliche Gase 1 l Wasser löst ? l		
	Luft	Sauerstoff	Stickstoff	Kohlenoxyd	Äthylen	Kohlensäure	Schwefelwasserst.	Ammoniak
0° C	25	41	20	33	256	1,797	4,371	1049,6
5° „	22	36	18	29	215	1,450	3,965	917,9
10° „	20	33	16	26	184	1,185	3,586	812,8
15° „	18	30	15	24	161	1,002	3,233	727,2
20° „	17	28	14	23	149	0,901	2,905	654,0

III. Brennstoffe und Verbrennung.

Einiges über Brennstoffe, Verbrennung, Feuerungsanlagen und Ausnutzung.

A. Brennstoffe.

90.

Über die Entstehung und Zusammensetzung der fossilen Brennstoffe — Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit — vergl. Nr. 14, 15 und 16.

Neben der Kohlensubstanz (»brennbaren Substanz«) enthalten die Brennstoffe sehr wechselnde Mengen von Wasser (1—50%) und mineralische Stoffe (Asche 3—30%), letztere sehr ungleichmäßig verteilt.

Der Gehalt an »brennbarer Substanz« wird durch Ermittlung des Wasser- und Asche-Gehaltes bestimmt. Der Charakter des Brennstoffes und das Verhalten in der Feuerung ergibt sich aus der Verkokungsprobe. Der Heizwert wird kalorimetrisch festgestellt.

Die Ungleichmäßigkeit des Materials erfordert besondere Sorgfalt bei der Probenahme. Nur eine wirkliche Durchschnittsprobe liefert bei der Untersuchung brauchbare Resultate.

91.

Probenahme. Die »Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen« enthalten folgende Vorschrift für die Probenahme:

»Um eine richtige Durchschnittsprobe des Brennstoffes zu erlangen, kann man in folgender Weise verfahren. Von jeder Ladung (Karre, Korb u. dgl.) des zugeführten Brennstoffes wird eine Schaufel voll in ein mit einem Deckel versehenes Gefäß geworfen. Sofort nach Beendigung des Ver-

dampfungsversuches wird der Inhalt des Gefäßes zerkleinert, gemischt, quadratisch ausgebreitet und durch die beiden Diagonalen in vier Teile geteilt. Zwei einander gegenüberliegende Teile werden fortgenommen, die beiden anderen wieder zerkleinert, gemischt und geteilt. In dieser Weise wird fortgefahren, bis eine Probemenge von etwa 10 kg übrig bleibt, welche in gut verschlossenen Gefäßen (verlötete Blechbüchsen) zur Untersuchung gebracht wird. Außerdem ist während des Versuches eine Anzahl von Proben in luftdicht verschließbare Gefäße zu füllen. (Feuchtigkeitsproben.)«

Zur Herstellung der Analysenprobe wird die Durchschnittsprobe gemahlen, gut durchgemischt, flach ausgebreitet und schachbrettartig in 12 bis 16 Felder eingeteilt. Aus jedem Feld wird 1 Teelöffel voll entnommen und in einer Porzellanreischale staubfein zerrieben. Das feine Pulver wird in ein mit Glasstöpsel verschließbares Glas eingefüllt und vor jeder Prüfung gut durchgerührt.

Von einem Kohlenlager sind mindestens an 10 verschiedenen Stellen Proben von je 25 bis 30 kg zu entnehmen, die zusammengeschüttet zur Durchschnittsprobe verarbeitet werden. Bei grobstückigem Material soll die erste Rohprobe nicht unter 250 kg betragen.

92.

Untersuchung. Alle Untersuchungen werden mit dem lufttrockenen Material ausgeführt, um Gewichtsveränderungen bei der Wägung zu vermeiden. Die Durchschnittsprobe wird daher vor der Herstellung der Analysenprobe gewogen, 48 Stunden an trockener Luft ausgebreitet liegen gelassen und der Gewichtsverlust durch Zurückwägen bestimmt (»Grobe Feuchtigkeit«). Die mit der lufttrockenen Probe erhaltenen Resultate sind danach auf die »ursprüngliche« (feuchte) Kohle umzurechnen.

Sind gesonderte Feuchtigkeitsproben vorhanden, so wird in diesen der »Gesamtwassergehalt« ermittelt und der Umrechnung auf die »ursprüngliche Kohle« zu Grunde gelegt.

Der Zustand der Lufttrockenheit ist kein bestimmter, sondern von den Umständen abhängig (Dauer der Trocknung,

Temperatur und Trockenheit der Luft, Stückgröße des Materials etc.). Die lufttrockene Kohle enthält noch mehr oder weniger Feuchtigkeit, (»hygroskopisches Wasser«).

a) Wasserbestimmung. 1,000 g Kohlenpulver wird in einem tarierten Wägegläschen von 4 cm Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ cm Höhe in einem Trockenschrank 2 Stunden bei 110°C getrocknet. Das Gläschen wird dann sofort mit dem eingeschliffenen Stopfen verschlossen und nach dem Abkühlen gewogen. Der Gewichtsverlust ist der Wassergehalt.

b) Aschebestimmung. 1,000 g Kohlenpulver wird in einem tarierten flachen Veraschkästchen aus Platin ($3\times 5\times 1$ cm) gleichmäßig ausgebreitet und zunächst mit kleiner Flamme von einer Seite beginnend vorsichtig erhitzt. Zweckmäßig wird hierbei das Kästchen mit einem Glimmerblatt bedeckt. Wenn die Entgasung beendet ist, wird das Glimmerblatt entfernt und die Erhitzung allmählich bis zur kräftigen Glut gesteigert. Man glüht, bis keine schwarzen Punkte mehr in der Asche sichtbar sind und das Gewicht der Asche nicht mehr abnimmt.

Beispiel: Ruhrkohle, Zeche Zollverein.

Wasser	1,37 ‰
Asche	5,53 ‰
brennbare Substanz	93,10 ‰
	<hr/>
	100,00 ‰.

c) Verkokungsprobe. Die Verkokungsprobe gibt nur dann vergleichbare Zahlen, wenn sie unter gleichen Bedingungen ausgeführt wird. Daher sind folgende Vorschriften zu beachten:

1,000 g Kohlenpulver wird in einem tarierten Tiegel aus dünnem Metall (Platin) von wenigstens 3 cm Höhe in gleichmäßiger Schicht ausgebreitet. Danach wird der Tiegel, mit dem Deckel verschlossen, auf einem dünnen Drahtdreieck mit großer, kräftiger Flamme eines Bunsenbrenners, die den ganzen Tiegel umspült, rasch erhitzt, bis die am Rande des Deckels auftretende (leuchtende) Flamme erloschen ist. Man entfernt den Brenner und läßt den Tiegel, ohne ihn zu öffnen,

erkalten. Das Gewicht des Rückstandes ist die Koksausbeute, die in der Regel 1 bis 2% höher ausfällt als in der Praxis.

Zu beobachten ist: 1. die Flamme der entweichenden Gase, 2. Koksausbeute, 3. Beschaffenheit des Koksrückstandes. Danach Beurteilung des Charakters der Kohle:

Nach der Beschaffenheit der Flamme unterscheidet man: Kohlen mit »langer Flamme« (mindestens 25% flüchtige Bestandteile) und solche mit »kurzer Flamme« (höchstens 25% flüchtige Bestandteile).

Nach der Koksausbeute läßt sich das geologische Alter der Kohle schätzen. Vergl. Tabelle 14, Seite 6, in welcher der aschefrei Koks aus 100 Teilen reiner Kohlensubstanz angegeben ist.

Nach dem Aussehen des Koksrückstandes unterscheidet man: 1. Sandkohlen, 2. Sinterkohlen, 3. Backkohlen. Zwischen 1 und 2 stehen die sinternden Sandkohlen, zwischen 2 und 3 die backenden Sinterkohlen.

Beispiele: Braunkohlen sind gasreiche, anthrazitische Kohlen sind gasarme Sandkohlen. Flammkohlen sind gasreiche, Magerkohlen gasarme Sinterkohlen. Schmiedekohlen sind Backkohlen. Die Gaskohlen sind meist backende Sinterkohlen.

Eine andere Art der Bezeichnung von Steinkohlen ergibt sich aus der umstehenden Tabelle:

Steinkohlentypen.

Nr.	Kohlentypen	Elementar- zusammen- setzung	Ver- hältnis O : H	Coke- menge nach d. Destil- lation	Spez. Gewicht des Koks	Beschaffenheit des Koks
	1	2	3	4	5	6
I	Trockene Kohle mit langer Flam- me (Flamm- kohle)	75—80 % C 5,5—4,5 % H 19,5—15,5 % O	3—4	50—60	1,25	pulverförmig, höchstens zusammen- gefrittet
II	Fette Kohle mit langer Flamme (Gaskohle)	80—85 % C 5,8—5,0 % H 14,2—10 % O	2—3	60—68	1,28—1,30	geschmolzen, aber stark zerklüftet
III	Fette Kohle (Schmiede- kohlen)	84—89 % C 5,5—5,0 % H 10,5—6 % O	1—2	68—74	1,30	geschmolzen bis mittel- mäfzig kom- pakt
IV	Fette Kohlen mit kurzer Flamme (Kokskohle)	88—91 % C 5,5—4,5 % H 6,5—4,5 % O	1	74—82	1,30—1,35	geschmolzen, sehr kom- pakt, wenig zerklüftet
V	Magere Kohle oder Anthrazit- kohle mit kurzer Flamme	90—93 % C 4,5—4,0 % H 5,5—3 % O	1	82—92	1,35—1,41	gefrittet oder pulverförmig

Beispiel: Ruhrkohle, Zeche Zollverein.

Koksausbeute 70,94 %

Flamme lang, rufsend.

Aussehen des Koksrückstandes: grau, glänzend, mäfzig
gebläht.

Charakter: gasreiche, backende Sinterkohle, geeignet als
Gaskohle.

Im Koksrückstand ist die Asche enthalten, in den entweichenden Bestandteilen das hygroskopische Wasser. Wird vom Koks die Asche abgezogen, so bleibt der »fixe Kohlenstoff«. Wird vom Gewicht der ausgetriebenen Gase das Wasser abgezogen, so bleiben die »flüchtigen Bestandteile«. Danach ergibt sich für das obige Beispiel die folgende Zusammenstellung, die sog. »Immediatanalyse«:

Koksausbeute (s. oben)	70,94 %
Daher:	
Fixer Kohlenstoff	65,41 %
Flüchtige Bestandteile	27,69 »
Asche	5,53 »
Wasser	1,37 »
	100,00 %

100 Teile reine Kohlenstoff liefern daher

$$65,41 \cdot \frac{100}{93,10} = 70,26 \% \text{ aschefreien Koks}$$

$$\text{und } 27,69 \cdot \frac{100}{93,10} = 29,74 \% \text{ flüchtige Bestandteile.}$$

d) Elementaranalyse. Die Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff geschieht durch Verbrennen von 0,2500 g Kohlenpulver in einem mit Kupferoxyd und Bleichromat beschickten und sorgfältig ausgeglühten, schwer schmelzbaren Glasrohr in einem Strom von reinem getrocknetem Sauerstoff. Die Verbrennungsprodukte Wasser und Kohlensäure werden in gewogenen Absorptionsgefäßen (Chlorcalciumrohr und Kaliapparat) aufgefangen. Aus der Gewichtszunahme, die mit 4 multipliziert auf 1 g Kohle berechnet wird, ergibt sich durch Multiplikation der Kohlensäure mit $\frac{3}{11}$ der Kohlenstoff. Vom Verbrennungswasser wird das hygroskopische Wasser abgezogen. Der Rest durch 9 dividiert gibt den Wasserstoff. Zu beachten: möglichst heißes Rohr und sehr langsame Verbrennung, solange die Kohle entgast wird.

e) Schwefel. 1 g Kohlenpulver mit $1\frac{1}{2}$ g Eschka-Gemisch (1 Teil wasserfreie Soda + 2 Teile gebrannte Magnesia) werden in einem Platintiegel gemischt, und unter häufigem

Umrühren mit einem Platindraht, mit kleiner Flamme höchstens bis zum beginnenden Glühen des Tiegelbodens so lange erhitzt, bis alle Kohle verbrannt ist. Das Gemisch wird dann im Becherglas mit bromhaltiger Salzsäure und Wasser gelöst, worauf die Lösung zur Vertreibung des Broms gekocht und zur Entfernung der Aschebestandteile filtriert wird. Aus dem Filtrat wird die gebildete Schwefelsäure heifs mit Chlorbariumlösung gefällt. Der Niederschlag, schwefelsaurer Baryt, wird nach dem Absetzen abfiltriert und auf dem Filter sorgfältig gewaschen und getrocknet, dann in einen gewogenen Platintiegel gebracht, zur Verbrennung des Filters geglüht und gewogen. Aus 32 Teilen Schwefel sind 233 Teile Ba SO_4 erhalten worden. Demnach entspricht 1 Teil Ba SO_4 0,1374 Teilen S.

Anmerkung: Der sog. flüchtige oder verbrennliche Schwefel kann durch Verbrennen von 1 g Kohle in feuchtem Sauerstoff über glühenden platinieren Porzellanstückchen im Verbrennungsrohr und Auffangen der Verbrennungsprodukte in neutralisiertem Wasserstoffsperoxyd bestimmt werden. Die entstandene Schwefelsäure wird in dem Wasserstoffsperoxyd nach Zusatz von einem Tropfen Methylorange mit $\frac{n}{10}$ Kalilauge titriert. 1 ccm $\frac{n}{10}$ Kalilauge entspricht 1,6 mg Schwefel. Der flüchtige Schwefel kann auch bei der kalorimetrischen Untersuchung mitbestimmt werden.

f) Stickstoff. Der Stickstoffgehalt der Kohle wird nach der Kjeldahlschen Methode bestimmt, meist aber unbestimmt gelassen. Er bewegt sich bei Braunkohlen zwischen 0,4 bis 0,6%, bei Steinkohlen zwischen 0,8 und 1,3% und erreicht selten 1,5%.

g) Sauerstoff. Der Sauerstoffgehalt kann nicht direkt bestimmt werden. Er ergibt sich nach der Bestimmung aller anderen Bestandteile aus der Differenz zu 100%. Meist wird Sauerstoff- und Stickstoffgehalt zusammen (O + N) aus der Differenz zu 100 ermittelt.

Beispiel: Ruhrkohle, Zeche Zollverein.

Kohlenstoff (C)	79,72 ‰	}	93,10 ‰	
Wasserstoff (H)	4,85 ‰			
Sauerstoff	(O + N)			7,24 ‰
u. Stickstoff				
Schwefel (S)	1,29 ‰			
Asche (A)	5,53 ‰			
Wasser (W)	1,37 ‰			
	100,00 ‰			

Da die Kohle 93,10 ‰ brennbare Substanz enthält, so berechnet sich für 100 Teile brennbarer Substanz folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	85,63 ‰
Wasserstoff	5,21 ‰
Sauerstoff und Stickstoff	7,78 ‰
Schwefel	1,38 ‰
	100,00 ‰

h) Heizwert aus der Zusammensetzung berechnet (Dulong'sche Regel). Bedeuten C, H, O + N, S und W die gefundenen Prozentgehalte und 81 WE die Verbrennungswärme von 1 ‰ ($\frac{1}{100}$ Gewichtsteil) Kohlenstoff, 290 WE die von 1 ‰ Wasserstoff, 25 WE die von 1 ‰ Schwefel, ist endlich 6 WE die Verdampfungswärme von $\frac{1}{100}$ Gewichtsteil Wasser (bei Überführung von gewöhnlicher Temperatur in Dampf von gewöhnlicher Temperatur), so gibt die sog.

Deutsche Formel

$$81 C + 290 \left(H - \frac{O + N}{8} \right) + 25 S - 6 W$$

den Heizwert des Brennstoffes mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit. Abweichung 2—3 ‰ für Braunkohlen ca. 1 ‰ für Steinkohlen. Nur für Kohlen gültig.

Beispiel: Heizwert der Kohle Zollverein (s. oben) 7624 WE.

i) Kalorimetrische Heizwertbestimmung. In einem Verbrennungskalorimeter, dessen Verbrennungskammer als »kalorimetrische Bombe« ausgebildet ist (Berthelot-Mahlersche Bombe), wird eine genau gewogene Menge des Brennstoffes (1 g) in verdichtetem Sauerstoff von ca. 25 Atm. Druck verbrannt. Die Zündung erfolgt durch einen feinen Draht, der durch einen elektrischen Strom zum Glühen erhitzt wird. Aus der von Minute zu Minute beobachteten Temperaturänderung des Kalorimeters vor und nach dem Versuch berechnet man die »Korrektur für Abkühlungsverluste während des Versuchs«. Die beobachtete Temperaturerhöhung wird nach entsprechender Korrektur mit dem Gesamtwasserwert des Kalorimeters multipliziert und ergibt so die beobachtete Wärmemenge. Von dieser wird die zum Zünden eingeführte Wärmemenge (ca. 10 cal.) und ferner die bei der Verbrennung von Schwefel zu Schwefelsäure¹⁾ sowie die bei der Verbrennung des Stickstoffs zu Salpetersäure gebildete Wärmemenge in Abzug gebracht. Letztere erfährt man nach dem Öffnen der Bombe und sorgfältigem Ausspülen durch Titration der gebildeten Säuren, die sich in der Bombe mit dem gebildeten Wasser niedergeschlagen haben. Da das Verbrennungswasser sich in der Bombe flüssig niederschlägt, in der Feuerung aber dampfförmig entweicht, so ist von dem Resultat die Verdampfungswärme des Verbrennungswassers (einschließlich des hygroskopischen Wassers) in Abzug zu bringen. Die Menge des Verbrennungswassers ergibt sich aus der Elementaranalyse, seine Verdampfungswärme durch Multiplikation mit 600.

¹⁾ In der Bombe entsteht verdünnte Schwefelsäure, in der Feuerung dagegen gasförmige schweflige Säure. Für jedes Prozent Schwefel werden daher in der Bombe 22,5 Kal. mehr entwickelt, als in der Feuerung. Daher die »Korrektur für Bildung von Schwefelsäure.« Für 1 mgr. Salpetersäure (H_2SO_4) sind 0,735, für 1 mgr. Salpetersäure (HNO_3) 0,227 Kal. in Abzug zu bringen. (Ztschr. f. angew. Chem. 1900, Heft 49 und 50.)

Beispiel: Ruhrkohle, Zeche Zollverein.

Gesamtwasserwert des Kalorimeters 3000 g.
 Angewandte Menge der Kohle 1,000 »

Versuch.			Berechnung.	
Minuten	Temperatur			
0	17,900	> 0,010	Max. Temperatur . . . °C	20,571
1	17,910	> 0,010	Anf. Temperatur . . . °C	17,935
2	17,920	> 0,010	Temp.-Erhöhg. . . . °C	2,636
3	17,926	> 0,006	Korr. f. Abköhlg. . . °C	+0,008
4	17,935	> 0,009	Wirkl. T.-Erhöhg. . °C	2,644
4 1/2	Zündung	t = 1/2	Wasserwert g	3000
5	18,700	t = 3/2	Beob. Wärmemenge . Kal.	7932
6	20,400	t = 2	Korr. f. Zündg. und	
7	20,560		Bildg. v. H ₂ SO ₄ u.	. Kal. — 51
8	20,571		HNO ₃	
9	20,565	> 0,006	Verbrennungswärme Kal.	7881
10	20,557	> 0,008	Verdampf. Wärme	} . Kal. — 270
11	20,550	> 0,007	d. Verbr.-Wassers	
12	20,543	> 0,007	Heizwert WE	7611
13	20,536	> 0,007		

$$\text{Korr.} = Vt + \frac{V_1 + V_2}{2} t_1 + V_2 t_2$$

$$= -0,009 \cdot \frac{1}{2} + \frac{0,007 - 0,009}{2} \cdot \frac{3}{2} + 0,007 \cdot 2 = +0,008.$$

Korr. für Zündung = -10 Kal.
 Korr. für Bildung von H₂SO₄ und HNO₃ = -41 Kal.
 Verbrennungswasser von 1 gr der Kohle = 0,4500 g.
 Verdampfungswärme desselben = 0,45 · 600 = 270 Kal.

B. Verbrennung.

93.

Die natürlichen festen Heizstoffe erleiden vor der Verbrennung eine Zerlegung durch Hitze. (Trockene Destillation, Entgasung.) Dabei wird Wärme verbraucht.

94.

Bei der Zerlegung durch Hitze entstehen 1. feste kohlige Rückstände (Holzkohle, Koks), 2. flüchtige Stoffe. Die flüchtigen Stoffe sind:

Zum Gaskursus.

Wasserdampf, Teer, brennbares Gas.

	Es liefern 100 Teile		
	Holz	Braunkohle	Steinkohle
Koks, kohligen Rückstand . . .	15	40	70
Flüchtige Stoffe: Wasser . . .	60	30	8
Teer	6	15	5
Gas	19	15	17

95.

Der kohlige Rückstand: Koks, und die flüchtigen Produkte: Gase und Teer, verbrennen getrennt und erfordern zu ihrer vollständigen Verbrennung besondere Einrichtungen.

96.

Koks und Holzkohle liefern bei vollständiger Verbrennung Kohlensäure, bei unvollständiger Verbrennung Kohlenoxyd. Es entsteht keine bzw. nur eine kurze Flamme und kein Rufs und Rauch.

97.

Die flüchtigen Teile der Heizstoffe verbrennen mit Flamme; sie liefern bei vollkommener Verbrennung Kohlensäure und Wasserdampf; bei unvollständiger Verbrennung entsteht gleichzeitig Rauch und Rufs.

98.

Unvollständige Verbrennung, also Rauch und Rufs, entsteht: durch Luftmangel, und zwar 1. (örtlich) durch unvollständige Mischung von Gas und Luft oder 2. (zeitlich) durch ungleichmäßige Gasentwicklung bei gleichmäßiger Luftzufuhr, 3. bei vorzeitiger Abkühlung der Flamme unter die Entzündungstemperatur.

99.

Durch plötzliche Verbrennung einer Gas-Luftmischung entsteht Explosion.

100.

Durch trockene Destillation (Entgasung) und unvollständige Verbrennung (Vergasung) lassen sich die festen Heizstoffe in gasförmige Brennstoffe verwandeln (Gasfeuerung).

101.

Die wichtigsten gasförmigen Brennstoffe sind wie folgt zusammengesetzt:

	1. Leucht- gas	2. Generatorgas aus Koks	3. aus Kohle	4. Wasser- gas	5. Halb- wassergas
Wasserstoff	49 %	—	6,5 %	50 %	15,0 %
Methan { Sumpfgas } { Grubengas }	34 %	—	1,9 %	—	—
Kohlenoxyd	8 %	25 %	23,7 %	41 %	20,6 %
Schwere Kohlen- wasserstoffe { C ₂ H ₄ } { C ₆ H ₆ }	4 % 1 %	—	—	—	—
Kohlensäure	4 %	6 %	5,3 %	4 %	8,6 %
Stickstoff	—	69 %	62,6 %	5 %	55,8 %
	100	100	100,0	100	100,0

Heizwert von 1 cbm 5300 WE 750 WE 1000 WE 2500 WE 1000 WE

102.

Die Wärmemenge, welche ein Brennstoff beim Verbrennen liefert, wird gemessen durch Wärmeeinheiten. Eine Wärmeeinheit (Kalorie) WE ist diejenige Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° C erwärmen kann.

103.

Die Wärmemenge, welche ein Brennstoff bei vollkommener Verbrennung entwickelt, heisst sein »Heizwert«. Der Heizwert wird in einem sog. »Kalorimeter« bestimmt.

104.

Die Wärmemenge ist die gleiche, ob ein Brennstoff in Luft oder in reinem Sauerstoff verbrennt. In letzterem Falle ist aber die Hitze eine grössere, d. h. die Temperatur eine viel höhere.

Verbrennungswärmen.

	Gewicht		Volumen		Wärme- ein- heiten
	1 kg verbrannt zu	Wärme- ein- heiten		verbrannt zu	
Kohlenstoff .	CO ₂	8100	0,536 kg ¹⁾	1 cbm CO ₂	4341
» .	CO	2416	0,536 kg ¹⁾	1 cbm CO	1295
Kohlenoxyd .	CO ₂	2435	1 cbm	1 cbm CO ₂	3046
Wasserstoff .	flüssigem H ₂ O	34200	»	flüssigem Wasser	3064
» .	Wasserdampf	29000	»	1 cbm Wasserdampf	2598
Methan . . .	CO ₂ u. flüss. H ₂ O	13312	»	1 cbm CO ₂ u. flüss. Wasser	9525
» . . .	CO ₂ u. Wasserdampf	11982	»	1 cbm CO ₂ und 2 » Wasserdampf	8573
Acetylen . . .	CO ₂ u. flüss. H ₂ O	11912	»	2 cbm CO ₂ u. flüss. Wasser	14914
» . . .	CO ₂ u. Wasserdampf	11140	»	2 cbm CO ₂ und 2 » Wasserdampf	13947
Äthylen . . .	CO ₂ u. flüss. H ₂ O	11905	»	2 cbm CO ₂ u. flüss. Wasser	13862
» . . .	CO ₂ u. Wasserdampf	11490	»	2 cbm CO ₂ und 1 » Wasserdampf	13379
Benzoldampf	CO ₂ u. flüss. H ₂ O	9885	»	6 cbm CO ₂ u. flüss. Wasser	34543
»	CO ₂ u. Wasserdampf	9470	»	6 cbm CO ₂ und 3 » Wasserdampf	33092
Naphthalin fest	CO ₂ u. flüss. H ₂ O	9664	—	—	—
» »	CO ₂ u. Wasserdampf	9328	—	—	—

¹⁾ Die in 1 cbm CO₂ bzw. CO enthaltene Menge Kohlenstoff.

Bei der Verbrennung
entsteht 1 cbm Wasserdampf (H₂O) aus 1 cbm Wasserstoff und 1/2 cbm Sauerstoff,
» 1 » Kohlensäure (CO₂) » 1 » Kohlenoxyd » 1/2 » »
» 1 » » (CO₂) » 0,536 kg Kohlenstoff » 1 » »
» 1 » Kohlenoxyd (CO) » 0,536 » » » 1/2 » »

106.

Heizwerte der wichtigsten Brennstoffe in runden Zahlen:

	1 kg	1 kg gibt
Holz mit ca. 20% Wasser und 80% Brennbarem . . .		3600 WE
Braunkohle mit 20% Wasser, 5% Asche, 75% brennbarer Substanz		5000 WE
Steinkohle:		
jüngere: Saarkohle mit 5% Wasser, 10% Asche; brennbare Substanz 85%		6500 WE
ältere: Ruhrkohle mit 90–95% brennbare Substanz		7500 WE
Ruhrkohlenbrikets bis		8000 WE
Leuchtgas 1 cbm		5000 WE

107.

Die chemische Zusammensetzung des wasserfreien Holzes zeigt bei den verschiedenartigsten Hölzern nur kleine Unterschiede.

Zusammensetzung des getrockneten Holzes

Holzart	100 Teile enthalten:					Heizwert pro 1 kg bei Verbrennung zu CO ₂ und flüss. Wasser WE	
	C	H	O	N	Asche	Wasserdampf WE	
Eichen . . .	50,16	6,02	43,45	0,37	4620	—	
Buchen . . .	49,06	6,11	44,17	0,09	4780	—	
Tannen . . .	50,36	5,92	43,39	0,05	5035	—	
Fichten . . .	50,31	6,20	43,08	0,04	5085	—	
Mittel	49,56	6,11	43,82	0,10	4818	4488	
In runden Zahlen	50	6	44	—	—	berechnet	

108.

Da der Aschegehalt bei allen Hölzern sehr gering (meist unter 1/2%) und die Verbrennungswärme der wasserfreien Holzsubstanz nicht sehr verschieden ist, so hängt der Brennwert (Heizwert) des Holzes in erster Linie nur vom Wassergehalt ab (Wasserbestimmung). Bei Kohlen kann sowohl der Wassergehalt als auch der Aschegehalt in weiten Grenzen schwanken. Zur

Beurteilung der Kohle müssen daher beide bestimmt werden. Bei älteren Steinkohlen ist der Wassergehalt gering und bewegt sich in engen Grenzen (1 bis 3%), so daß hier häufig die Aschebestimmung allein genügen kann.

C. Feuerungsanlagen.

109.

Feuerungsanlagen sind Einrichtungen, um Heizstoffe möglichst vollkommen zu verbrennen und die erzeugte Wärme auszunutzen.

110.

Sie bestehen in der Regel aus drei Teilen: 1. dem Herd, in welchem die Verbrennung stattfindet, 2. den Feuerzügen, in welchen die Wärme abgegeben wird, 3. dem Schornstein, durch welchen die zur Verbrennung erforderliche Luft angesaugt und die Verbrennungsprodukte abgeführt werden.

111.

Der Herd wird durch den Rost in Aschenraum und Feuerraum geteilt. Die Einrichtung desselben muß der Art des Brennstoffes angepaßt sein; maßgebend hierfür ist das Verhalten der Brennstoffe in der Hitze: Menge und Art des Koksrückstandes und der flüchtigen Bestandteile.

112.

Man unterscheidet die Verbrennung auf dem Rost (Verbrennung des Koks) und Verbrennung über dem Rost (Verbrennung der flüchtigen Teile).

113.

Der Rost muß passend für die Art und Menge des Koksrückstandes und der unverbrennlichen Teile (Asche, Schlacke) eingerichtet sein.

114.

Die Verbrennung über dem Rost soll eine möglichst gleichmäßige sein; brennbare Gase und Luft sollen möglichst

innig gemischt (Feuerbrücke) und bis zur vollkommenen Verbrennung auf hoher Temperatur erhalten werden.

115.

Durch ungleichmäßige Gasentwicklung aus den Heizstoffen, unzureichenden Luftzutritt, unvollständige Mischung von Luft und brennbarem Gas und vorzeitige Abkühlung der Flamme entsteht unvollständige Verbrennung und Rauch und Rufs.

116.

Jede brauchbare Feuerung kann unter bestimmten Voraussetzungen rauchschwach betrieben werden. Jede Feuerungseinrichtung, auch sog. rauchverzehrende Feuerungen, können durch Verwendung von ungeeignetem Heizstoff oder durch unzweckmäßige Bedienung zu belästigender Rufs- und Rauchentwicklung Veranlassung geben.

117.

Mit Rücksicht auf eine möglichst gute Ausnützung der Wärme in den Feuerzügen soll der Heizstoff mit möglichst geringer Luftmenge vollkommen verbrannt werden.

118.

Als Maßstab für das Verhältnis von Brennstoff und Luft dient der Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der Verbrennungsprodukte (Rauchgase). Je höher der Kohlensäuregehalt der Rauchgase, um so höher die »Anfangstemperatur«. (Siehe Nr. 138 ff.).

119.

Aus dem Kohlensäuregehalt der Rauchgase und der Temperatur derselben beim Verlassen der Feuerzüge läßt sich ein Schluß auf die Ausnutzung des Heizwertes ziehen (Brutto-Nutzeffekt vergl. Nr. 136).

120.

Zur Messung der Temperatur (Wärmehöhe) dienen Thermometer und Pyrometer verschiedener Art. Quecksilberthermometer (Stockthermometer), elektrische Pyrometer, Metall-

legierungen, Segerkegel, Luftpyrometer, Wasserpyrometer, Thermophon, optische Pyrometer.

121.

Die Verbrennungstemperatur, die erzeugte Hitze, hängt weniger von der Art des Brennstoffes als von der Art der Verbrennung ab, z. B. Verbrennung in Sauerstoff, in heißer Luft.

122.

Die Gasfeuerung ist für Erzeugung hoher Temperaturen besonders geeignet. Sie besteht in der Teilung der Verbrennung in zwei Teile: 1. die Verwandlung der festen Brennstoffe durch Entgasung und unvollkommene Verbrennung (Vergasung) in Brenngas (Generatorgas) und 2. vollkommene Verbrennung des Gases durch (meist vorgewärmte) Luft.

123.

Bei direkter Gasfeuerung liegt Gaserzeugungsstelle und Verbrennungsraum unmittelbar nebeneinander; bei indirekter Gasfeuerung sind beide getrennt.

124.

Die Vorwärmung der Luft zur Verbrennung von Heizgas geschieht zweckmäßig durch die Abhitze in Wärmespeichern (Regeneration) oder Heizkanälen (Rekuperation).

125.

Die höchsten Temperaturen durch Verbrennung erreicht man mittels Sauerstoff oder sauerstoffreicher Luft (Linde-Luft) oder durch Verbrennung von festen Metallen (Aluminium) mit sauerstoffhaltigen festen Körpern (Eisenoxyd).

D. Verbrennungsgase und Wärmeausnutzung.

126.

Die Zusammensetzung der Verbrennungsgase (Rauchgase) ist von der chemischen Zusammensetzung des Brennstoffes und der Menge der Verbrennungsluft abhängig.

127.

Wenn reiner Kohlenstoff verbrennt, so ist das Volumen der entstehenden Kohlensäure gleich dem Volumen des verbrauchten Sauerstoffs. Bei Verbrennung von Kohlenstoff in überschüssiger Luft tritt an Stelle der verbrauchten Sauerstoffprocente die gleiche Anzahl Procente CO_2 . Demnach ist hier die Summe der Kohlensäure- und Sauerstoffprocente in dem Verbrennungsgas stets = 21.

128.

Enthält der Brennstoff aufser Kohlenstoff auch Wasserstoff, so wird bei der Verbrennung ein Teil des Sauerstoffs vom Wasserstoff verbraucht und verschwindet aus den Rauchgasen, indem der gebildete Wasserdampf sich niederschlägt, sobald die Rauchgase auf Zimmertemperatur abgekühlt werden. Die Summe der Procente CO_2 und O_2 in solchen Rauchgasen ist stets kleiner als 21.

129.

Enthält der Brennstoff neben Kohlenstoff und Wasserstoff noch Sauerstoff, so ist für die Zusammensetzung der kalten Rauchgase der »disponible« Wasserstoff $\left(\text{H} - \frac{\text{O}}{8} \right)$ maßgebend. Je mehr disponiblen Wasserstoff ein Brennstoff enthält um so kleiner wird unter sonst gleichen Bedingungen die Summe von $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ in den Rauchgasen.

130.

Diese Verhältnisse lassen sich graphisch darstellen wenn in einem Koordinatennetz als Ordinaten die Kohlensäureprocente, als Abszissen die Summe der Procente Kohlensäure + Sauerstoff eingetragen werden, wie umstehende Tafel zeigt.

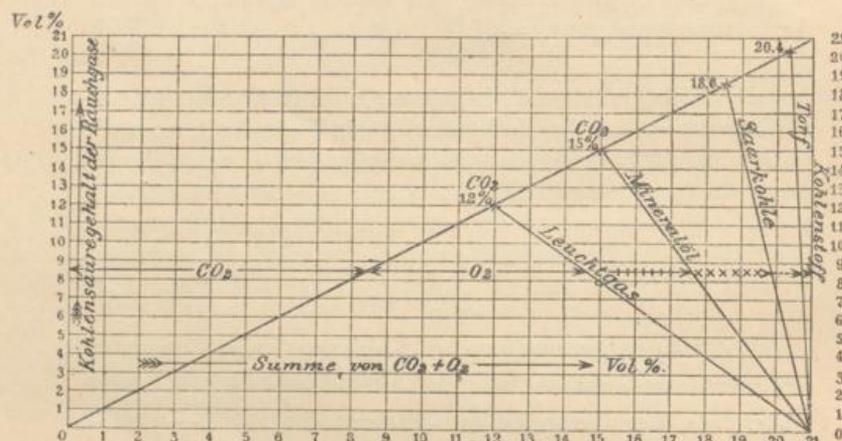
Für die Verbrennung von Kohlenstoff in Luft gibt die Diagonale die Grenze zwischen Kohlensäure (links) und Sauerstoff (rechts) für jeden Kohlensäuregehalt. Die Summe beider ist stets 21.

Für die Verbrennung wasserstoffhaltiger Brennstoffe begrenzen die schrägen Linien rechts den Sauerstoffgehalt, der zwischen der Diagonale und den Begrenzungslinien liegt. Von diesen über das System hinaus bis zur Ordinate 100 reicht der Stickstoff.

Die Grenzpunkte zwischen Kohlensäure und Sauerstoff müssen auf der Diagonale des Systems liegen, weil für die Kohlensäure die Ordinate und Abszisse stets den gleichen Wert besitzt.

Die Lage der Begrenzungslinien für den Sauerstoff ist durch je zwei Punkte bestimmt.

Verbrennungsgase verschiedener Brennstofftypen.



Sie müssen alle durch den Punkt des Systems gehen, in welchem die Kohlensäure den Wert Null, der Sauerstoff den Wert 21 besitzt, wie bei reiner Luft; denn die Verbrennungsgase aller Brennstoffe nähern sich um so mehr der Zusammensetzung der Luft, je mehr der Kohlensäuregehalt durch Anwachsen des Luftüberschusses sich der Null nähert.

Den zweiten Fixpunkt findet man auf der Diagonale des Systems wenn man auf Grund der chemischen Zusammensetzung des Brennstoffes denjenigen Kohlensäuregehalt im Verbrennungsgas berechnet, der sich ergibt wenn aller Sauerstoff der Verbrennungsluft völlig verbraucht wird. In diesem Fall muß die gesuchte Grenze zwischen Sauerstoff und Stickstoff mit dem Endpunkt der Kohlensäure Abszisse zusammenfallen, da der Sauerstoff gleich Null ist. Die Berechnung geschieht in folgender Weise:

Sind in dem Brennstoff $C\%$ Kohlenstoff und $H\%$ disponibler Wasserstoff enthalten, so verteilt sich bei der Verbrennung der Sauerstoff auf diese Bestandteile im Verhältnis von $C : 3H$, da

1 Gewichtsteil Wasserstoff 3 mal so viel Sauerstoff erfordert als 1 Gewichtsteil Kohlenstoff. Von den in 100 Vol. Luft enthaltenen 21 Vol. Sauerstoff entfallen demnach $21 \cdot \frac{C}{C+3H}$ Vol. auf Kohlenstoff, wobei $21 \cdot \frac{C}{C+3H}$ Vol. Kohlensäure entstehen. Der Rest des Sauerstoffs verschwindet, indem er sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet, welches sich flüssig niederschlägt. Das Verbrennungsgas besteht demnach aus $21 \cdot \frac{C}{C+3H}$ Vol. Kohlensäure und 79 Vol. Stickstoff, woraus sich der Prozentgehalt des Verbrennungsgases an Kohlensäure nach dem Ansatz ergibt:

$$(21 \cdot \frac{C}{C+3H} + 79) : 21 \cdot \frac{C}{C+3H} = 100 : X$$

Nach geeigneter Umformung ergibt sich hieraus:

$$X = \frac{21 \cdot C}{C + 2,37 \cdot H} = \% \text{ CO}_2$$

131.

Brennstofftypen. Zusammensetzung der brennbaren Substanz von Steinkohle, Torf, Mineralöl, Leuchtgas.

Steinkohle	Torf	Mineralöl	Leuchtgas
Gewichtsprocente			Volumprocente
C = 84,45	C = 56,74	C = 85,7	H ₂ = 50
H = 5,43	H = 5,85	H = 14,3	CH ₄ = 30
O = 8,18	O = 37,41	100,0	CO = 9
S = 0,78	100,00	C _n H ₂ n	C _n H _m = 5
N = 1,16			O = 0,5
100,00			CO ₂ = 3,0
			N = 2,5
			100,00

Aus der in Tabelle 131 aufgeführten Zusammensetzung der brennbaren Substanz verschiedener Brennstofftypen berechnet sich der Maximal-Kohlensäuregehalt in den Verbrennungsgasen wie folgt:

Reiner Kohlenstoff	21,0 Vol ^o / _o CO ₂
Torf	20,4 »
Steinkohle	18,6 »

Mineralöl (Erdöl)	15,0 Vol.-% CO ₂
Leuchtgas	12,0 »

Diese Zahlen sind in der graphischen Darstellung eingetragen und bestimmen die Lage der Grenzlinien für den Sauerstoff. Dafs diese Linien gerade Linien sind, ergibt sich aus dem Umstand, dafs alle Verhältnisse dem Kohlen säuregehalt direkt proportional sind.

132.

Berechnet man aus dem Stickstoffgehalt n des Rauchgases durch Multiplikation mit $\frac{100}{79}$ das Luftvolumen, welches zur Bildung von 100 Teilen Rauchgas erforderlich war, und aus dem Sauerstoffgehalt o durch Multiplikation mit $\frac{100}{21}$ das Luftvolumen, welches in 100 Teilen Rauchgas unverändert wieder gefunden wurde, so ist $n \cdot \frac{100}{79} - o \cdot \frac{100}{21}$ das Volumen der zur Verbrennung verbrauchten Luft. Das Verhältnis u der Gesamtluft zur verbrauchten Luft

$$u = \frac{n \cdot \frac{100}{79}}{n \cdot \frac{100}{79} - o \cdot \frac{100}{21}} = \frac{1}{1 - \frac{o \cdot 79}{n \cdot 21}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{o}{n}}$$

ist der »Überschufskoeffizient«, welcher angibt, wievielmals soviel Luft in die Feuerung eingeführt wurde, als zur Verbrennung nötig war.

133.

Durch Verbrennung von 0,536 kg reinem Kohlenstoff entsteht 1 cbm Kohlensäure (0° und 760 mm). Enthält ein Brennstoff $C\%$ Kohlenstoff, $H\%$ Wasserstoff und $W\%$ Wasser, so entsteht aus 1 kg desselben $\frac{C}{100 \cdot 0,536}$ cbm Kohlensäure und $\frac{9H + W}{100}$ kg Wasserdampf. Enthalten 100 Teile Rauchgas k Teile Kohlensäure und ist das Gewicht von 1 cbm Wasserdampf (bei 0° und 760 mm gedacht) 0,804 kg, so ist das

Volumen der aus 1 kg Brennstoff entstehenden Rauchgase bei den Normalumständen (0° und 760 mm):

$$V = \frac{C}{0,536 \cdot k} + \frac{9H + W}{100 \cdot 0,804} \text{ cbm.}$$

134.

Setzt man die mittlere Wärmekapazität von 1 cbm der trockenen Rauchgase gleich 0,32 WE. und die Wärmekapazität von 1 kg Wasserdampf gleich 0,48 WE., so ist der Wärmeinhalt der aus 1 kg Brennstoff entstehenden Rauchgase für jeden Grad Temperaturdifferenz

$$\frac{C}{0,536 \cdot k} \cdot 0,32 + \frac{9H + W}{100} \cdot 0,48 \text{ WE.}$$

Bezeichnet t die Abgangstemperatur der Rauchgase und τ die Lufttemperatur, so ist der Wärmeverlust durch die Rauchgase für jedes kg Brennstoff:

$$\left(\frac{C}{0,536 \cdot k} \cdot 0,32 + \frac{9H + W}{100} \cdot 0,48 \right) (t - \tau) \text{ WE.}$$

135.

Der Wärmeverlust durch die Rauchgase wird um so kleiner, je größer der Kohlensäuregehalt k und je kleiner die Abgangstemperatur t der Rauchgase ist. Die übrigen in der Formel enthaltenen Größen sind Konstanten, welche durch die Eigenschaften der Gase und des Brennstoffes gegeben sind.

136.

Dividiert man den Heizwert des Brennstoffes durch die Wärmekapazität der aus 1 kg desselben entstehenden Verbrennungsgase, so erhält man die sogen. »Anfangstemperatur« T , die zwar in Wirklichkeit aus verschiedenen Gründen nie erreicht wird, welche aber zu der Abgangstemperatur t in demselben Verhältnis steht, wie die entwickelte Wärmemenge zu dem Wärmeinhalt der abziehenden Rauchgase. Der Bruch $\frac{t}{T}$ gibt direkt den Wärmeverlust durch die Rauchgase in Bruchteilen der entwickelten Wärme; der Ausdruck $\frac{T-t}{T}$ heisst der »Brutto-Nutzeffekt«, da er den Anteil der entwickelten Wärme darstellt, welcher an die Feuerungsanlage abgegeben wurde.

137.

Da die Wärmekapazität von 1 cbm Kohlensäure größer ist, als die von 1 cbm Sauerstoff und Stickstoff (vgl. Nr. 86), so wächst die Wärmekapazität von 1 cbm der trockenen Rauchgase mit steigendem Kohlensäuregehalt. Andererseits nimmt die Menge der aus 1 kg Brennstoff entstehenden Rauchgase mit steigendem Kohlensäuregehalt ab (s. oben).

Die Anfangstemperatur steigt daher mit wachsendem Kohlensäuregehalt, wie aus Tabelle 138 und 141 ersichtlich ist.

138.

Wärmekapazität und Anfangstemperatur der Rauchgase.

Kohlensäuregehalt der Rauchgase % CO ₂	Wärmekapazität von 1 cbm trock. Rauchgas C	Anfangstemperatur T		Unterschied für 0,1% CO ₂
		für Kohlenstoff T	für Steinkohle T	
1	0,308	141	167	16
2	0,310	280	331	16
3	0,311	419	493	16
4	0,312	557	652	15
5	0,313	694	808	15
6	0,314	830	961	15
7	0,315	962	1112	15
8	0,316	1096	1261	15
9	0,318	1229	1407	14
10	0,319	1360	1550	14
11	0,320	1490	1692	14
12	0,322	1620	1830	14
13	0,323	1750	1968	13
14	0,324	1880	2102	13
15	0,324	2005	2237	13
16	0,325	2130	2366	

139.

In derselben Weise wie oben für reinen Kohlenstoff und für die Steinkohle ist auch für die übrigen in Tabelle 131 aufgeführten Brennstofftypen die Berechnung der Anfangstemperaturen durchgeführt worden. Für die Verbrennung mit der theoretisch erforderlichen Luftmenge ergibt sich:

**Kohlensäuregehalt ($\% \text{CO}_2$) und Anfangstemperaturen (T)
der Rauchgase**

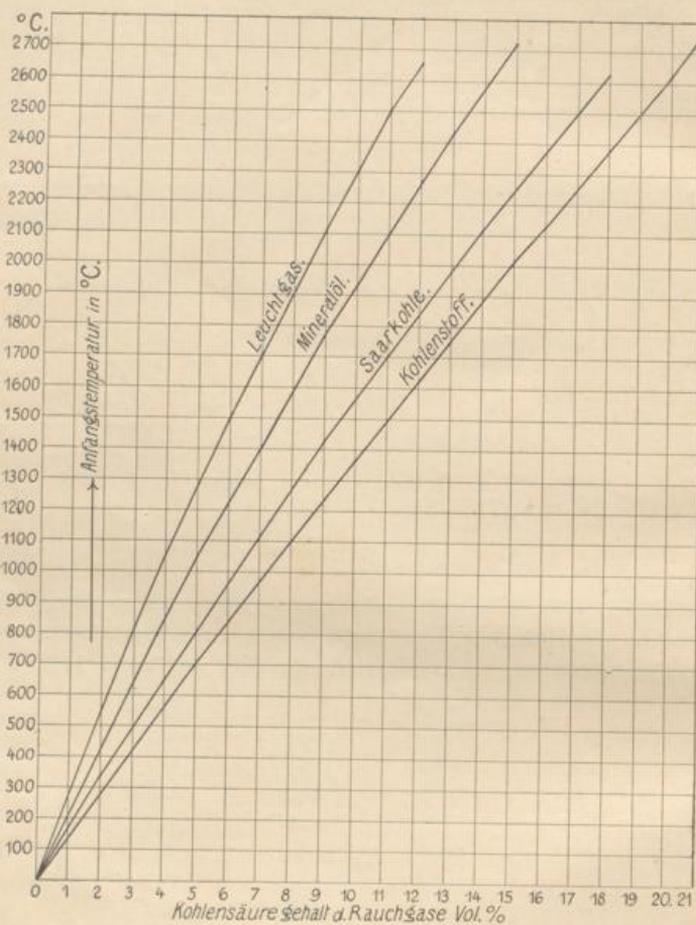
bei Verbrennung mit der theoretischen Luftmenge.

Kohlenstoff		Saarkohle		Torf	
T	$\% \text{CO}_2$	T	$\% \text{CO}_2$	T	$\% \text{CO}_2$
2750	21	2650	18,6	2132	20,4
Mineralöl		Leuchtgas			
T	$\% \text{CO}_2$	T	$\% \text{CO}_2$		
2710	15	2659	12		

140.

Trägt man in einem Koordinatensystem die Kohlensäuregehalte als Abszissen, die zugehörigen Anfangstemperaturen als Ordinaten ein, so ergibt sich das Bild der Tafel 141.

141.
Anfangstemperaturen.



142.

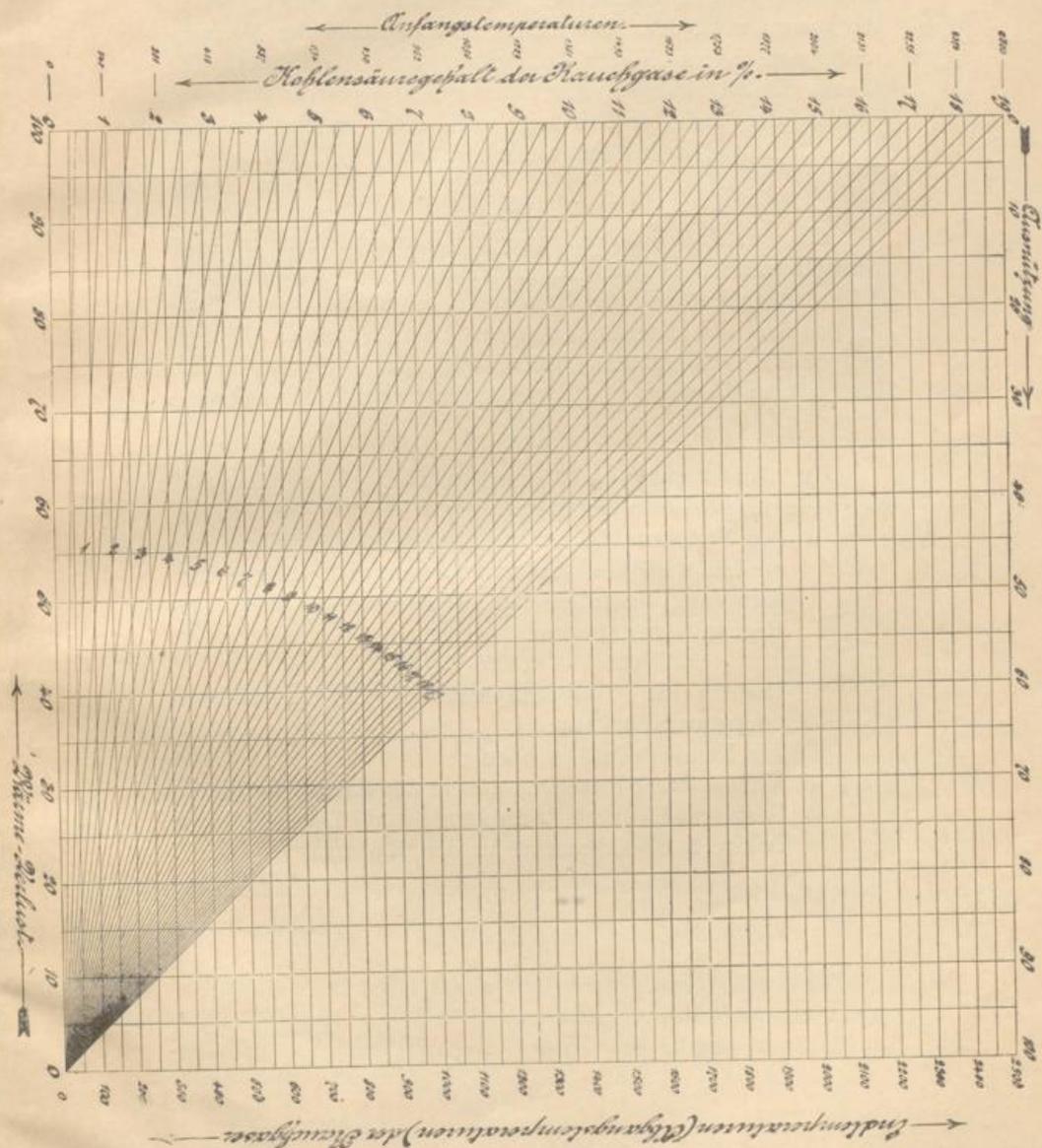
Zur unmittelbaren Ablesung des Bruttonutzeffektes dient Tafel 143, welche für Koksfeuerung das Verhältnis $\frac{t}{T} \cdot 100$, bzw. $\frac{T-t}{T} \cdot 100$ für alle möglichen Kohlensäuregehalte angibt.

Tafel

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

143.

Tafel zur Berechnung des Brutto-Nutzeffektes der Feuerungen aus dem CO₂-Gehalt und den Abgangtemperaturen der Rauchgase.



144.

Für Brennstoffe anderer Zusammensetzung können die Kurven der Anfangstemperaturen leicht durch Interpolation gefunden werden, namentlich wenn man für einen Kohlen säurewert, z. B. den Maximalkohlensäuregehalt der Verbrennungsgase die zugehörige Anfangstemperatur berechnet. Die Werte für Steinkohlen verschiedener Art liegen so nahe bei den in der Tafel enthaltenen, daß diese in den meisten Fällen unmittelbar benutzt werden kann.

145.

Die vorstehende Berechnung der Kaminverluste und des Bruttonutzeffektes gilt nur für Feuerungsanlagen mit niedrigen Abgangstemperaturen der Rauchgase (etwa bis 400° C), wie namentlich bei Kesselfeuerungen. Bei höheren Abgangstemperaturen nimmt die mittlere Wärmekapazität der Rauchgase höhere Werte an und damit ändern sich die Verhältnisse.

146.

Zur Aufstellung der Wärmebilanz einer Dampfkesselanlage ist zu ermitteln

- a) der Nettonutzeffekt, durch Messen oder Wägen des verdampften Wassers und Berechnung der zur Verdampfung erforderlichen Wärmemenge nach der Regnaultschen Formel

$$606,5 + 0,305 \cdot t - t_1$$

worin t die Dampftemperatur t_1 die Speisewassertemperatur darstellt;

- b) der Kaminverlust (s. oben);
- c) Verlust durch Unverbranntes in den Herdrückständen;
- d) Restverlust durch Strahlung und Leitung sowie eventuell Unverbranntes in den Rauchgasen.

IV. Photometrie.

147.

Die Leuchtkraft einer Lichtquelle wird gemessen durch Vergleichung der von ihr auf einer weissen Fläche (Photometerschirm) erzeugten Helligkeit mit der von der Lichteinheit auf derselben oder einer gleichartigen Fläche erzeugten Helligkeit. Die hierzu dienenden Apparate heissen Photometer.

148.

Die von einer Lichtquelle auf einer Fläche erzeugte Helligkeit (die indizierte Beleuchtungsstärke) ist umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung zwischen Fläche und Lichtquelle.

Erzeugt die Einheit der Leuchtkraft (die Lichteinheit) in der Entfernung 1 die Helligkeit 1, so wird von einer Leuchtkraft L in der Entfernung a die Helligkeit $\frac{L}{a^2}$ erzeugt. Werden zwei Lichtquellen mit der Leuchtkraft L und l in solche Entfernungen a und b vom Photometerschirm gebracht, dafs die von ihnen auf dem Schirm erzeugten Helligkeiten gleich sind, so ist $\frac{L}{a^2} = \frac{l}{b^2}$ oder $\frac{L}{l} = \frac{a^2}{b^2}$.

Ist endlich l die Lichteinheit, so gibt das Verhältnis der Quadrate der Entfernungen $\frac{a^2}{b^2}$ direkt die Leuchtkraft L in Lichteinheiten.

149.

Beim Photometrieren werden durch Verschieben des Photometerschirmes auf der Photometerbank zwischen den Lichtquellen die Entfernungen a und b so lange verändert, bis

6*

Helligkeitsgleichheit auf beiden Seiten des Schirmes erzielt ist. Auf der Teilung der Photometerbank ist für die Stellung des Schirmes das Verhältnis $\frac{a^2}{b^2}$ unmittelbar abzulesen.

150.

Als Lichteinheit dient in Deutschland die Hefnerkerze HK (Amylacetatlampe), früher die deutsche Vereinskerze VK (Paraffinkerze). In England ist die Walratkerze, in Frankreich die Carcellampe als Einheit angenommen. Über das Wertverhältnis dieser Einheiten vergleiche Nr. 61.

151.

Die Unterschiede in der Helligkeit zweier beleuchteter Flächen sind am schärfsten zu erkennen, wenn die beiden Flächen (oder ihre Bilder auf der Netzhaut des Auges) unmittelbar (ohne schwarze Trennungslinie) aneinander grenzen (Bunsensches Fettfleckphotometer, Lummer-Brodhunscher Photometerkopf, Martensscher Photometerkopf).

152.

Helligkeitsunterschiede sind nur bei mäßiger indizierter Beleuchtungsstärke gut erkennbar, dieselbe soll auf dem Photometerschirm etwa 10 Meterkerzen betragen. Bei der Messung sehr starker Lichtquellen sind daher besondere Einrichtungen (z. B. Verlängerung der Bank) erforderlich.

153.

Besonders zu beachten ist beim Photometrieren, daß kein von den Wänden des Photometerzimmers reflektiertes Licht auf den Photometerschirm fällt. Es empfiehlt sich daher die Anwendung von »Blenden« zwischen Photometerkopf und den Lichtquellen.

154.

Beim Photometrieren ist außer der Lichtstärke auch der Gasverbrauch des Brenners und der Gasdruck unmittelbar vor dem Brenner festzustellen.

Allgemeine Vorschriften für das Photometrieren.

Zusammengestellt von der Lichtmeßkommission des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern.

- a) Der Photometerraum muß gut gelüftet sein.
- b) Die Temperatur des Photometerraumes soll möglichst $17\frac{1}{2}^{\circ}$ C sein, doch sind Abweichungen von 5° C gestattet. Größere Abweichungen sind zu vermeiden.
Temperatur ebenso wie Luftdruck werden bei der Berechnung nicht in Rücksicht gezogen.
- c) Der Experimentiergasmesser soll einmal wöchentlich nach richtigem Einstellen mittels Stellschraube und Libelle bei offenem Ein- und Ausgangsrohr aufgefüllt werden. Der Ablauf der Füllungsflüssigkeit soll ohne Druck in der Uhr wenigstens 5 Minuten dauern.
- d) Die Zeiger des Experimentiergasmessers sollen sich vollständig gleichmäßig bewegen. Lätwerke, welche stets den regelmäßigen Gang beeinflussen, sind zu vermeiden.
- e) Der verlangte Konsum des Brenners soll wirklich genau eingestellt und nur bei ihm photometriert werden. Umrechnungen von geringerem oder größerem Konsum auf den Normalverbrauch sind nicht gestattet.
- f) Bei Aufbesserung des Gases mittels flüssiger Aufbesserungsstoffe soll für aufgebessertes und nicht aufgebessertes Gas je ein eigener Gasmesser verwendet werden.
- g) Die Sekundenuhr soll wenigstens jährlich einmal auf ihre Genauigkeit geprüft werden.
- h) Der Druckregulator, vor der Gasuhr eingeschaltet, soll weder vollständig in die Höhe geprefst sein, noch untätig festliegen, sondern richtig schwingen, so daß er Unterschiede im Druck wirklich ausgleicht. Bei sehr hohem Druck ist schon vor dem Regulator der

Gashahn teilweise zu schliessen, bis der Regulator schwingt.

- i) Der benutzte Normalbrenner soll rein und sauber sein und eine reine Flamme ohne Spitzen und rufsende Ecken ergeben, er muss jährlich durch einen neuen ersetzt werden.
- k) Wird ein Brenner mit Glaszylinder benutzt, so müssen stets Glaszylinder von der gleichen Höhe verwendet und vor jeder Lichtmessung ein reiner Zylinder aufgesetzt werden.
- l) Leitung und Apparate sollen vollkommen dicht sein und kein Leuchtgas entweichen lassen.
- m) Vor Beginn der Lichtmessung soll das Gas die Leitung und die Apparate bei voll brennender Flamme wenigstens eine Viertelstunde lang durchstreichen, so dass Leitung und Apparate vollkommen von Luft befreit sind.
- n) Die Photometerbank soll wagerecht aufgestellt sein in bequemer Höhe für den Beobachter; der Schlitten sei leicht und ohne Klemmen beweglich.
- o) Die mittlere Höhe der Normalflamme soll in einer horizontalen Ebene mit der Mitte des Photometerkopfes und der Mitte der Flamme der Hefnerlampe liegen.
- p) Bei Benutzung des Bunsenschen Fettfleckphotometers soll stets ein reiner Papierschirm mit rundem Fleck von 15 bis 20 mm Durchmesser dienen, welcher nicht mehr als 1% Unterschied beim Drehen des Schirmes aufweist. Die Spiegel sollen vollständig sauber sein.
- q) Der Lummer-Brodhunsche Photometerkopf soll ein vollkommen klares und deutliches Bild zeigen.
- r) Die Hefnerlampe soll von Zeit zu Zeit mittels der Lehre auf das Vorhandensein der richtigen Justierung geprüft werden.

- s) Bildet sich Grünspan in der Hefnerlampe, so muß die Verzinnung des Innernen der Lampe erneuert werden.
- t) Das Amylacetat darf blaues Lackmuspapier nicht rot färben.
- u) Jede amtliche Messung soll erhalten werden durch das arithmetische Mittel aus wenigstens zehn Einzelmessungen, angestellt in Zwischenräumen von je einer Minute.
Für Betriebskontrollen genügen vier Messungen kurz hintereinander.
- v) Nach je fünf bzw. zwei Messungen ist der Photometerkopf bzw. das Fettfleckpapier zu drehen und dieses durch einen Strich in den Aufschreibungen anzudeuten.
- w) Das Auge des Beobachters muß durch einen Schirm gegen die direkten Strahlen der beiden Flammen geschützt werden. Dieser Schirm wird an dem Photometerkopf befestigt.
- x) Der Photometerkopf muß gegen die von der weißen Scheibe des Experimentiergasmessers reflektierten Strahlen geschützt werden, am besten durch Anbringung eines Streifens schwarzen Tuches oder schwarzer Pappe seitlich am Gasmesser.

156.

Photometrische Untersuchung von Gasglühlichtbrennern.

a) Beschaffenheit der Brenner.

Da die Art des Brenners von erheblichem Einfluß auf die Höhe der Leuchtkraft sein kann, so sind zu vergleichenden Prüfungen von Glühkörpern immer Brenner der gleichen Konstruktion zu verwenden. Brenner verschiedener Konstruktion geben keine untereinander vergleichbaren Resultate in Bezug auf die Leistungen der Glühkörper.

Die zu verwendenden Brenner sind ohne Glühkörper auf gleichmäßiges und regelmässiges Brennen zu prüfen; besonders der grünblaue Kern der Flamme muß eine gleichmäßige Form haben.

Vor jeder Prüfung ist der Brenner durch Ausblasen von Staub und Schmutz zu befreien.

Der Tragstift soll so hoch sein, daß der Abstand zwischen der oberen Kante des Glühkörpers und der Oberkante des Brenners mindestens 70 mm beträgt.

Der Glaszylinder soll eine Länge von 25 cm haben, es muß ein gerader glatter Cylinder und kein Lochzylinder sein.

b) Das Einregulieren der Düsen.

Die Brennerrohre sollen gleich große Luftzutrittsöffnungen haben und die Düsen so einreguliert werden, daß bei einem Gasdruck von 35—40 mm ein stündlicher Verbrauch von 115—130 l erzielt wird.

Vor Einregulierung der Düsen, welche, wie üblich, auf einer Rampe angebracht sind und alle unter den gleichen Luft- und Gaszutrittsverhältnissen stehen, läßt man die Glühkörper mindestens eine halbe Stunde auf Brennern von ca. 130 l stündlichem Gasverbrauch glühen.

Die Einregulierung der Düsen geschieht dann so, daß man die Düsenöffnungen allmählich erweitert, bis bei einem gleichbleibenden, zwischen 35 und 40 mm liegenden Drucke die größte Lichtwirkung erreicht ist. Zur Kontrolle der richtigen Regulierung ermäßigt man den Druck mittels der Mikrometerschraube des Experimentiergasmessers um etwa 5 mm und überzeugt sich, daß dadurch ein Zurückgehen der Leuchtkraft hervorgerufen wird. Hierauf stellt man den richtigen Druck wieder her.

c) Photometrische Prüfung der Glühkörper.

Um ein Urteil über die Leuchtkraft einer Glühkörpersorte zu gewinnen, sind mindestens vier Glühkörper dieser Sorte zu photometrieren.

Das Photometrieren geschieht bei demselben Druck, für welchen die Düsen einreguliert worden sind, nämlich 35 bis 40 mm, und bei einem Gasverbrauch von 115 bis 130 l in der Stunde.

Bevor mit der Helligkeitsmessung begonnen wird, soll der Glühkörper mindestens fünf Minuten gebrannt haben, damit der ganze Brenner gleichmäßig erwärmt ist.

Es genügt nicht, die Helligkeit der Glühkörper nur in einer einzigen Richtung zu bestimmen, es ist vielmehr die Messung nach mindestens drei verschiedenen horizontalen Richtungen auszuführen.

Zu diesem Zwecke muß nicht nur der Brennerkopf mit dem Glühkörper, sondern die Düse mit Brennerkopf und Glühkörper gedreht werden. Man bedient sich zweckmäßig hierbei eines kleinen, drehbaren Aufsatzes, dessen Abbildung aus Journ. f. Gasbel. Bd. 47 S. 559 (1899) ersichtlich ist.

157.

Flächenhelligkeit.

(Indizierte Beleuchtungsstärke.)

a) Als Maß für die Flächenhelligkeit dient die »Meterkerze«, d. i. die Helligkeit, welche von der Lichteinheit in 1 m Entfernung auf einer Fläche erzeugt wird.

b) Eine beleuchtete Fläche erscheint aus allen Entfernungen gleich hell.

c) Eine beleuchtete Fläche erscheint gleich hell unabhängig von dem Winkel, unter welchem sie betrachtet wird, wenn dieser Winkel nicht allzusehr von einem Rechten abweicht.

d) Zur Messung der Flächenhelligkeit dient das Webersche Photometer oder der Helligkeitsmesser von Krüfs.

V. Zur Wasseruntersuchung.

158.

Untersuchung von Kesselspeisewasser.

Härte, bleibende und vorübergehende Abdampfrückstand, leicht und schwer löslicher Teil	}	quantitativ.
Chlor		
Salpetersäure		
CaO	} genügt meist } bei eingehenderen Unter- } qualitativ } suchungen quantitativ.	
MgO		
SO ₃		
N ₂ O ₃	} qualitativ.	
NH ₃		
Organische Stoffe (bei Trinkwasser!)	} nur in besonderen } Fällen nötig.	
Eisen		

159.

Trinkwassernormen:

Die Beschaffenheit des Wassers ist nach den örtlichen Verhältnissen verschieden und danach zu beurteilen. Allgemeingültige Normen können daher nicht aufgestellt werden. Unter normalen Verhältnissen darf ein brauchbares Trinkwasser enthalten:

auf 1 l höchstens:

6—8—10 mg K Mn O₄-Verbrauch.

5—15 mg N₂ O₅ (ausnahmsweise auch bis zu 40 mg).

20—30 mg Cl.

80—100 mg SO₃.

Keine oder nicht bestimmbare Spuren von NH₃ und N₂O₃.

500 mg festen Rückstand.

18—20 deutsche Härtegrade.

90.

Wasseruntersuchung.

a) Abdampfrückstand. Man verdampft 500 bis 1000 ccm in gewogener Platinschale und trocknet bei 110° bis zum konstanten Gewicht.

b) Leicht lösliche Bestandteile. Man übergießt den Trockenrückstand mit 5 ccm kaltem Wasser, rührt mit einem Glasstabe gut durch und filtriert die Lösung durch ein ganz kleines Filterchen in ein gewogenes Platinschälchen. Schale und Filter werden mit weiteren 5 ccm Wasser nachgewaschen. Die Lösung wird abgedampft und der Rückstand bei 110° getrocknet und gewogen und auf SO_3 , CaO und MgO geprüft. Zu beachten ist, daß nicht mehr als 10 ccm Wasser verwendet werden. Der Abdampfrückstand soll nicht mehr als 300, höchstens 400 mg betragen, da sonst möglicherweise nicht alles Leichtlösliche aufgelöst wird.

c) Schwefelsäure. Aus 500 ccm wird nach dem Ansäuern mit Salzsäure und Eindampfen auf ca. 100 ccm in der Platinschale mittels Chlorbarium die Schwefelsäure gefällt und als BaSO_4 gewogen. $1 \text{ g BaSO}_4 = 0,3429 \text{ g SO}_3$.

d) Das Chlor wird in 500 ccm volumetrisch mittels $\frac{1}{10}$ n. Silbernitratlösung bestimmt. Als Indikator dient Kaliumchromat. $1 \text{ ccm } \frac{1}{10} \text{ n. Silberlösung} = 3,55 \text{ mg Cl}$.

e) Salpetersäure. Bestimmung nach Marx-Trommsdorff. 25 ccm Wasser werden schnell mit 50 ccm reiner konzentrierter Schwefelsäure in einem Kölbchen gemischt. In dieses heifse Gemisch läßt man so lange verdünnte Indigolösung einlaufen, bis die Flüssigkeit grün erscheint. Man wiederholt den Versuch und läßt die beim ersten Versuch verbrauchte Indigomenge auf einmal zufließen, worauf man durch vorsichtiges weiteres Zutropfen von Indigo bis zur Grünfärbung austitriert. Das Resultat des zweiten Versuchs ist das maßgebende; eventuell ist ein dritter Versuch daran anzuschließen.

Der Wirkungswert der Indigolösung wird in gleicher Weise mit einer Salpeterlösung von bekanntem Gehalt ermittelt. Die Lösung enthält in 25 ccm $1 \text{ mg N}_2\text{O}_5 = 0,0749 \text{ g KNO}_3$ pro Liter. Sind in den 25 ccm Wasser mehr als 3 mg

Salpetersäure enthalten, so muß das Wasser entsprechend verdünnt werden. (Die Indigolösung ist fertig zu beziehen von Merck in Darmstadt.)

Enthält ein Wasser viel organische Substanz, so ist dieselbe erst durch Kaliumpermanganat zu zerstören. (Siehe Best. der org. Substanz.)

f) Salpetrige Säure. 100 ccm Wasser werden mit 1 ccm verdünnter Schwefelsäure (1:3), etwas Jodkalium und Stärkelösung versetzt. Tritt sofort Blaufärbung ein, so ist salpetrige Säure zugegen.

g) Ammoniak. 200 ccm Wasser werden mit 1 ccm reiner Natronlauge und 1 ccm Natriumkarbonatlösung versetzt zur Fällung der Erdalkalien und Bindung der Kohlensäure. Nach Absitzen des Niederschlages wird zu 100 ccm des klaren Wassers 1 ccm Nefslers Reagens zugefügt. Bei Gegenwart von Ammoniak entsteht eine gelbe bis braune Färbung.

h) Organische Stoffe. 100 ccm des zu prüfenden Wassers werden in einem Kolben von ca. 300 ccm Inhalt mit 5 ccm H_2SO_4 (1:3) und mit $\frac{1}{100}$ n. Kaliumpermanganatlösung in solcher Menge (10 ccm) versetzt, daß die Flüssigkeit auch bei dem nun folgenden Kochen rot erscheint. Man läßt 5 Minuten sieden, setzt 10 ccm $\frac{1}{100}$ n. Oxalsäurelösung zu und titriert den Überschufs der letzteren mit Permanganatlösung zurück. Nach Abzug des für die Oxalsäure verbrauchten $KMnO_4$ berechnet man die Menge $KMnO_4$, oder hieraus die Menge Sauerstoff, welche zur Oxydation der organischen Stoffe in 100 ccm Wasser erforderlich sind. 1 ccm $\frac{1}{100}$ n. $KMnO_4$ entspricht 0,316 mg $KMnO_4$ oder 0,08 mg Sauerstoff.

i) Das Eisen wird nach der Oxydation durch Kochen mit Salpetersäure kolorimetrisch mittels Rhodanammonium bestimmt. (Journ. f. Gasbel. 1903, S. 485.)

k) Sauerstoff. Erforderlich ist eine Pipette (Romyn) mit 2 Hähnen, oben ein Ansatzrohr mit 1 ccm-Marke. Die Pipette wird mit Wasser gefüllt. Man schleudert die Messröhre aus und füllt dieselbe bis zur Marke mit 1 ccm einer Lösung, die 12 g Manganchlorür in 100 ccm enthält. Durch Öffnen der Hähne läßt man die Flüssigkeit in die Pipette hineinfließen,

mit besonderer Vorsicht, daß keine Luft in die Pipette kommt, mischt durch Umschütteln und fügt dann auf dieselbe Weise nacheinander je 1 ccm kalt gesättigte Seignettesalzlösung und 1 ccm NaOH (1:3) + 8,5 g Jodkalium in 100 ccm hinzu. Die gemischte Flüssigkeit überläßt man 10 Minuten der Ruhe. Inzwischen reinigt man das Meßröhrchen mit etwas Salzsäure und Wasser und säuert dann durch Einbringen von 1 ccm konzentrierter Salzsäure an. Dadurch wird die dem Sauerstoff äquivalente Menge Jod freigemacht, die man mit $\frac{1}{50}$ n. Thiosulfat titriert. Von der angewandten Wassermenge sind 4 ccm abzuziehen. 1 ccm Thiosulfat entspricht $0,16 \text{ mg} = 0,12 \text{ ccm}$ Sauerstoff.

1) Die Kohlensäure wird nach der Methode von Trillich (freie CO_2) mittels Soda und Phenolphthalein als Indikator titriert oder nach Pettenkofer freie und halbgebundene durch Fällung mittels eines Gemisches von $\text{BaCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_3$, dessen Alkalinität bestimmt ist. Man läßt 24 Stunden absitzen und titriert mit Oxalsäure und Phenolphthalein als Indikator zurück.

161.

Härtebestimmung.

Die Härte des Wassers wird mittels Seifenlösung bestimmt, deren Wirkungswert mit Chlorbarium festgestellt ist.

Deutsche Härtegrade bezeichnen die Milligramme CaO in 100 g Wasser, französische die Milligramme CaCO_3 in 100 g Wasser und englische die Grains CaCO_3 in 1 Gallon Wasser.

Härtegrade:

Deutsche	franz.	engl.
1	1,79	1,25
0,8	1,43	1
0,56	1	0,7

Die Härtegrade sind der verbrauchten Seifenlösung nicht genau proportional. Man bedarf deshalb folgender Tabelle. (Faisst und Knauls.)

Tabelle zur Härtebestimmung des Wassers.

1 Härtegrad entspricht 10 Milligramm CaO (Kalk) in 1 Liter Wasser.
(1 Teil CaO in 100 000 Teilen Wasser.)

Verbrauchte Seifenlösung	Härtegrad	Verbrauchte Seifenlösung	Härtegrad
3,4 ccm	0,5°	28,0 ccm	7,0°
5,4 „	1,0°	29,8 „	7,5°
7,4 „	1,5°	31,6 „	8,0°
9,4 „	2,0°	1 ccm Seifenlösung = 0,277°	
1 ccm Seifenlösung = 0,25°		33,3 ccm	8,5°
11,3 ccm	2,5°	35,0 „	9,0°
13,2 „	3,0°	36,7 „	9,5°
15,1 „	3,5°	38,4 „	10,0°
17,0 „	4,0°	40,1 „	10,5°
18,9 „	4,5°	41,8 „	11,0°
20,8 „	5,0°	1 ccm Seifenlösung = 0,294°	
1 ccm Seifenlösung = 0,26°		43,4 ccm	11,5°
22,6 ccm	5,5°	45,0 „	12,0°
24,4 „	6,0°	1 ccm Seifenlösung = 0,31°	
26,2 „	6,5°		

Man bestimmt 1. den Grad der Gesamthärte und 2. die bleibende Härte, nachdem das Wasser $\frac{3}{4}$ Stunden unter häufigem Ersatz des verdampften Wassers durch Zugabe von destilliertem Wasser gekocht und auf das ursprüngliche Volumen mit destilliertem Wasser aufgefüllt worden ist. Gesamthärte vermindert um die bleibende Härte ist die vorübergehende Härte.

162.

Reinigungsversuch.

Der Reinigungsversuch ist nur bei Wassern mit mehr als 8 Härtegraden erforderlich.

a) Bestimmung der Sodamenge. 500 ccm Wasser werden mit 10 ccm $\frac{1}{10}$ n. Sodalösung versetzt und vollständig zur Trockenheit verdampft. Der Rückstand wird mit wenig Wasser digeriert und abfiltriert, das Filter (klein!) mit wenig Wasser gründlich nachgewaschen. Im Filtrat wird die unverbrauchte Soda nach Zusatz von wenig Methylorange als Indikator mit $\frac{1}{10}$ n. Salzsäure zurücktitriert. Ist fast alle Soda

verbraucht, so wird der Versuch mit 20 ccm Sodalösung wiederholt. Durch Abzug der unverbrauchten Soda von der zugesetzten erhält man die verbrauchte Soda, die auf 1 l berechnet wird.

b) Bestimmung des CaO-Verbrauches. Man filtriert gesättigtes Kalkwasser und stellt durch Titrieren von 100 ccm desselben mit $\frac{1}{10}$ n. HCl und Phenolphthalein als Indikator den Gehalt von CaO fest. 500 ccm Wasser (bei hartem Wasser blofs 200 ccm) werden in einem Literkolben mit 100 ccm dieses Kalkwassers versetzt und gut zugedeckt im Wasserbade $\frac{3}{4}$ Stunden auf 70–80° erwärmt, unter sorgfältiger Vermeidung des Eindringens von CO₂. Man kühlt ab, filtriert rasch 500 ccm ($\frac{5}{6}$) durch ein Faltenfilter und titriert den nicht verbrauchten Kalk nach Zusatz von Phenolphthalein mit $\frac{1}{10}$ n. HCl zurück. Durch Multiplizieren mit $\frac{6}{5}$ erhält man den von den angewandten 500 ccm Wasser nicht verbrauchten Kalk, der von dem zugesetzten abgezogen, den verbrauchten Kalk ergibt. Der Kalkverbrauch wird auf 1 l berechnet.

c) Definitiver Reinigungsversuch. Man berechnet nach den in den Versuchen gefundenen Zusatzmengen die Anzahl ccm $\frac{1}{10}$ n. Sodalösung und des Kalkwassers, die für $\frac{1}{2}$ l des zu reinigenden Wassers erforderlich sind. Diese Mengen werden zu 500 ccm Wasser zugesetzt. Dasselbe wird $\frac{3}{4}$ Stunden auf 70–80° erwärmt (zur Abscheidung der Carbonate), dann abgekühlt und filtriert.

d) Kontrolle. Man bestimmt die Härte (2,5–3,5°), ermittelt den Abdampfrückstand, der auf das unverdünnte Wasser umgerechnet wird, und bestimmt die Alkalinität (100 ccm dürfen mit Phenolphthalein nur 0,5 ccm, mit Methylorange nur noch weitere 0,5 bis 0,7 ccm $\frac{1}{10}$ n. HCl verbrauchen).

Der schwerlösliche Teil des Abdampfrückstandes gibt die Menge der im Wasser verbliebenen Kesselsteinbildner. Zieht man diese von dem ursprünglich vorhandenen ab, so erfährt man die Menge der durch den Reinigungsversuch entfernten Kesselsteinbildner, die etwa 70–85% des vorhandenen betragen sollen.

162.

Beispiel einer Wasserreinigung.

Milligramm in 1 l		Rohwasser	Gereinigtes Wasser
Abdampfrückstand . . .		333	111
davon leichtlöslich . . .		57	70
schwerlöslich (Kesselstein)		276 = 86 %	41
Härte (deutsch)		16 ° = 160 mg CaO	3,5 °
1 Liter Rohwasser enthält:		mg	
Ca O	130	Ca CO ₃	216
Mg O	34	Ca SO ₄	22
SO ₂	13	Mg CO ₃	71
Cl	14	Na Cl	24
		zusammen	333
Zur Reinigung erforderlich: pro 1 cbm Wasser: reiner, gebrannt. Kalk (CaO) 212 g (ber. 174 g) reine, calcinierte Soda Na ₂ CO ₃ (16 + 10) = 26 g. Die Chemikalien für Reinigung kosten pro 1 cbm 0,8 rund 1 Pf.			Es kosten: 100 kg CaO . 2 M. 100 > Na ₂ CO ₃ 14 >

163.

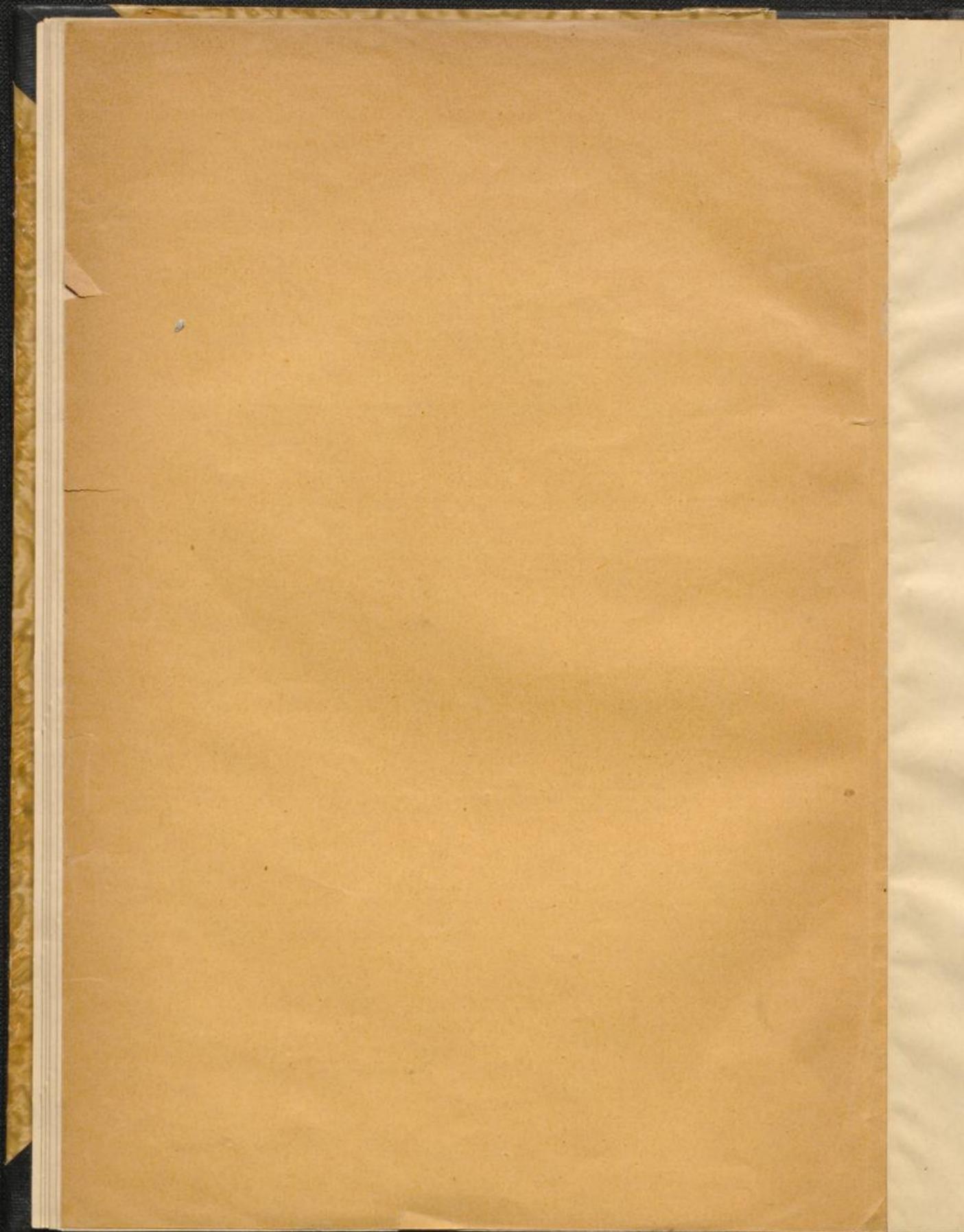
Zusammensetzung verschiedener Wassertypen.

Beispiele von Wasseranalysen.

Milligramm in 1 l	Abdampf- Rückstand	Glüh- Rückstand	CaO	Cl	SO ₃	N ₂ O ₅	N ₂ O ₃	NH ₃	Verbrauch an K MnO ₄	Härte
Quellwasser										
Dolomit (Wrzbrg) . .	920	788	317	11	331	9	0	0	1,1	30°
Granit Buntsand- stein (Hdlbrg) . .	46	36	6	Spur	0	0	0	0	0,9	2,8°
Grundwasser										
Rheinkies (Klsrhe) .	361	295	94	14	23	0	0	0	4,7	10,4°
Flufswasser										
Oder (Brsl)	112	86	20	11	17	Spur	0	Spur	16,0	5,0°
Elbe (Mgdbrg) . . .	294	236	48	6	Spur	Spur	0	Spur	16,0	2,8°

Druck von R. Oldenbourg in München







N11< 50150378 090

UB Karlsruhe

