

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Zum Gaskursus**

**Bunte, Hans**

**München, 1906**

I. Gas-Chemie

[urn:nbn:de:bsz:31-289860](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289860)

# 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:

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		{ Azetylen

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.

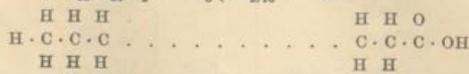
7.

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.

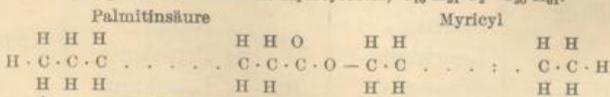
Die Leuchtstoffe: Stearinsäure, Wachs, Paraffin, Petroleum sind chemisch aufzufassen als lange Ketten, in der Hauptsache gebildet aus Kohlenwasserstoff-Gliedern (CH<sub>2</sub>-Gruppen); die Endglieder sind verschieden zusammengesetzt (CH<sub>3</sub>, COOH).

Stearinsäure. C<sub>18</sub> H<sub>36</sub> O<sub>2</sub> = CH<sub>3</sub> (CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub> · COOH



16 CH<sub>2</sub>-Gruppen.

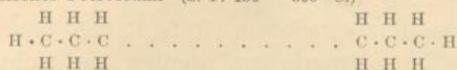
Wachs (haupts.: Palmitinsäure-Myricylester) C<sub>16</sub> H<sub>31</sub> O<sub>2</sub> · C<sub>30</sub> H<sub>61</sub>.



14 CH<sub>2</sub>-Gruppen

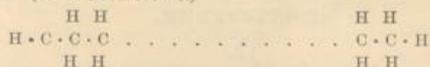
28 CH<sub>2</sub>-Gruppen.

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



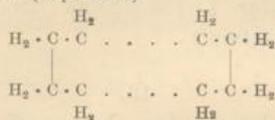
10 bis 20 CH<sub>2</sub>-Gruppen.

Paraffin. (S. P. über 300° C.)



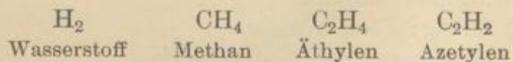
20 bis 30 CH<sub>2</sub>-Gruppen.

Russisches Petroleum (Naphthene).

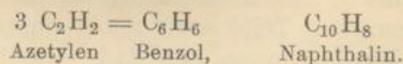


geschlossene Ringe von (CH<sub>2</sub>)Gruppen.

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.

1\*

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

### Gaserzeugung.

12.

Die Heizstoffe, besonders die Steinkohle (Gaskohle), eignen sich zur Herstellung von Leuchtgas durch Erhitzen unter Luftabschlufs (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
						Wasser	Teer	
					Gewichts-Prozente			
Holz . . . . .	} jetzt	50	6	44	15	} 60	6	19
Torf . . . . .		60	6	34	20			
Braunkohle . . . . .	} Tertär	65	6	29	40	} 25	15	20
Wälderkohle . . . . .		70	6	24	45			
Flammkohle . . . . .	} Karbon	75	6	19	50	} 8	5	17
Gaskohle . . . . .		80	6	14	60			
Kokskohle . . . . .		85	5	10	70/80			
Magerkohle . . . . .		90	4	6	90			
Anthrazit . . . . .		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 (Fetigas) Vol. %	Ölkarburiertes Wassergas Vol. %
Wasserstoff $H_2$ . . . .	49	33	27	36
Methan $CH_4$ . . . .	34	23	40	14
Schwere Kohlenwasserstoffe <sup>1)</sup> $C_n H_m$ . . . .	5	8	33	9
Kohlenoxyd $CO$ . . . .	8	36	—	30
Kohlensäure $CO_2$ . . . .	2	(im Rohgas 25% $CO_2$ )	—	5
Stickstoff $N_2$ . . . .	2		—	6

<sup>1)</sup> 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% CO<sub>2</sub> und 7—10% CO, Ölgas kein CO<sub>2</sub> 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.

	Westfälische Kohle Konsolidation	Englische Kohle Boldon	Saar-Kohle Heinitz I	Böhm. Kohle Thurn u. Taxis	Sächs. Bürger-gewerk-schaft	Plattel-Kohle
Chemische Zusammensetzung:						
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 <sub>2</sub> 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

Entgasungsergebnisse 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						
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
Plattkohle .	30,4	21,38	25,66	56,3	8,81	6,45	25,72	2,72	1270

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 <sub>2</sub> . . .	49	8,2	44	1,32
Methan CH <sub>4</sub> . . . .	34	45,3	243	7,29
Kohlenoxyd CO . . .	8	18,7	100	3,00
Äthylen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Pro- pylen, Azetylen) .	4	9,3	50	1,50
Benzol C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Toluol)	1	6,5	35	1,05
Kohlensäure . . . .	2	7,3	39	1,17
Stickstoff . . . . .	2	4,7	25	0,75
	100,0	100,0	536 g	16,08 kg

(Spezifisches Gewicht des Gases: 0,41.)

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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äthylen .	0,967	1,2510
H <sub>2</sub> Wasserstoff .	0,069	0,0895	CO Kohlenoxyd .	0,967	1,2510
CH <sub>4</sub> Grubengas .	0,553	0,7150	Stickstoff . . .	0,970	1,2544
NH <sub>3</sub> Ammoniak .	0,589	0,7615	Sauerstoff . . .	1,105	1,4291
H <sub>2</sub> O Wasserdampf	0,622	0,8041	Kohlensäure . . .	1,520	1,9650
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Azetylen .	0,898	1,1614	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> 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 (H<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Kohlenoxyd (CO).
2. Lichtgeber, »schwere Kohlenwasserstoffe« mit stark leuchtender (rußsender) Flamme brennend: Äthylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) und Homologe. Ferner Äthan und Homologe.
3. Verunreinigende Bestandteile:  
Kohlensäure (CO<sub>2</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Schwefelwasserstoff (SH<sub>2</sub>), Cyanwasserstoff (CNH), Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>), Stickstoff (N<sub>2</sub>).

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.

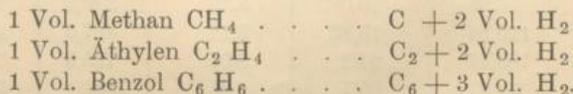
Die Wertzahl, d. h. die Anzahl Stundenkerzen (Std HK) aus 1 kg Kohle wird erhalten aus: Ausbeute in Liter (V) mal Leuchtkraft pro 150 l (L) geteilt durch 150.

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

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:

	Oberer Heizwert von 150 l WE	Leuchtkraft pro 150 l in HK-St.	Wärme- aufwand pro HK-St. WE
Methan . . .	1429	6	238
Äthan . . .	2485	35	71
Propan . . .	3537	54	65
Äthylen . .	2237	68	33
Azetylen . .	2079	240	8,6
Benzol . . .	5180	420	12

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)  $\approx$  40 g in 1 cbm.

**Dampfdruck des Benzols und Benzolgehalt des Gases.**

t°	Dampfdruck mm	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	10,08	3,25	327,6	127,6
+ 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 aufzunehmen vermag. Man kann daher demselben noch Benzol zuführen (Karburatation) und dadurch die Leuchtkraft bis zu einem gewissen Grad erhöhen. Etwa 4 g Benzol pro cbm gibt 1 HK bei 150 l im Schnittbrenner.

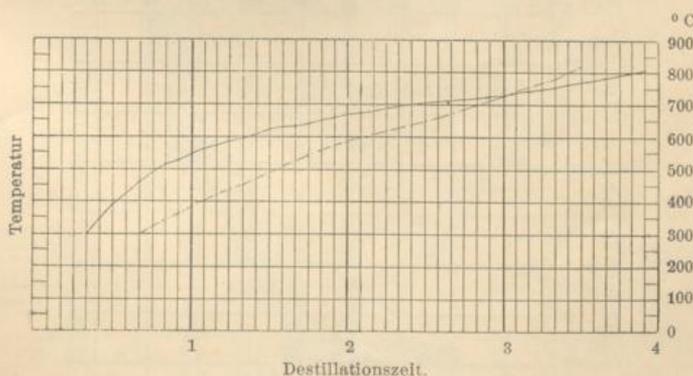
29.

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	Reinkoks	Flüchtiges
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
Lyne 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 auf den folgenden Seiten zu entnehmen ist. Den allmählichen Anstieg der Temperatur während der Destillation veranschaulicht die nachfolgende Figur.

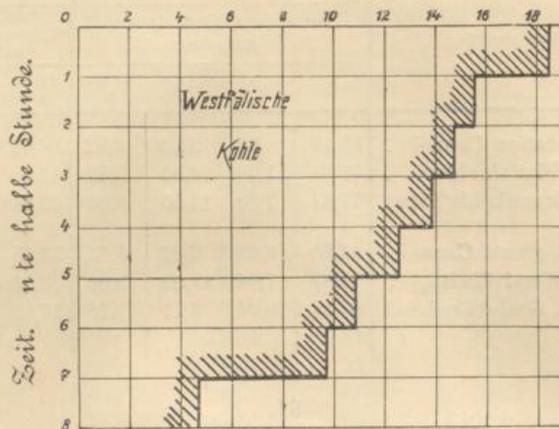


Temperaturanstieg in den gasenden Retorten.

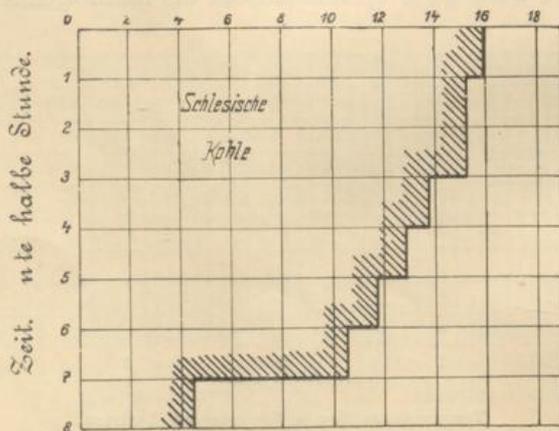
— Thermoelement direkt in den Kohlen.  
 - - - - - in Eisenrohr in den Kohlen.

Verlauf der Gasentwicklung.

Vol.-% der Gesamtmenge.

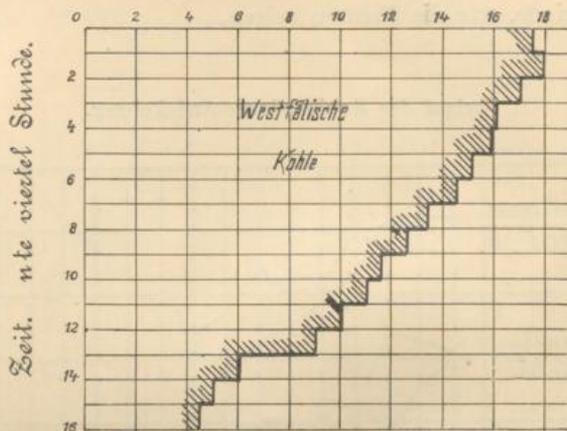


Vol.-% der Gesamtmenge.

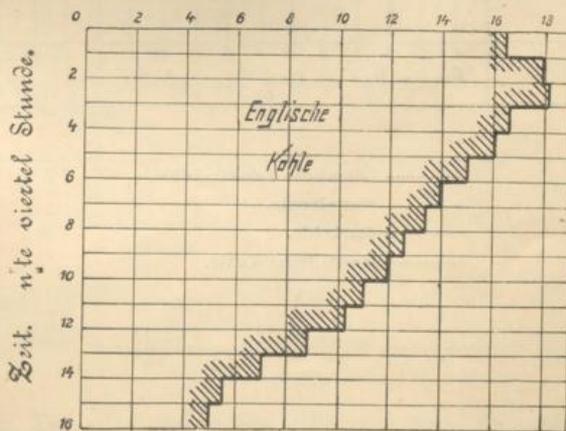


Veränderung der Leuchtkraft im Verlaufe der Destillation.

Kerzen bei 150 Stundenliter.

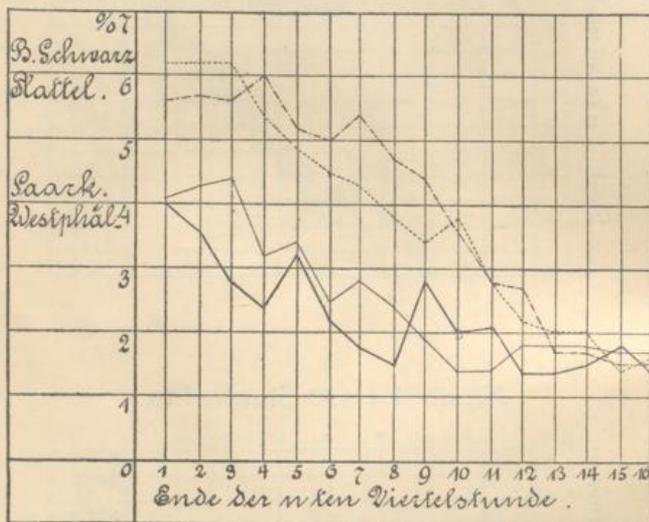


Kerzen bei 150 Stundenliter.



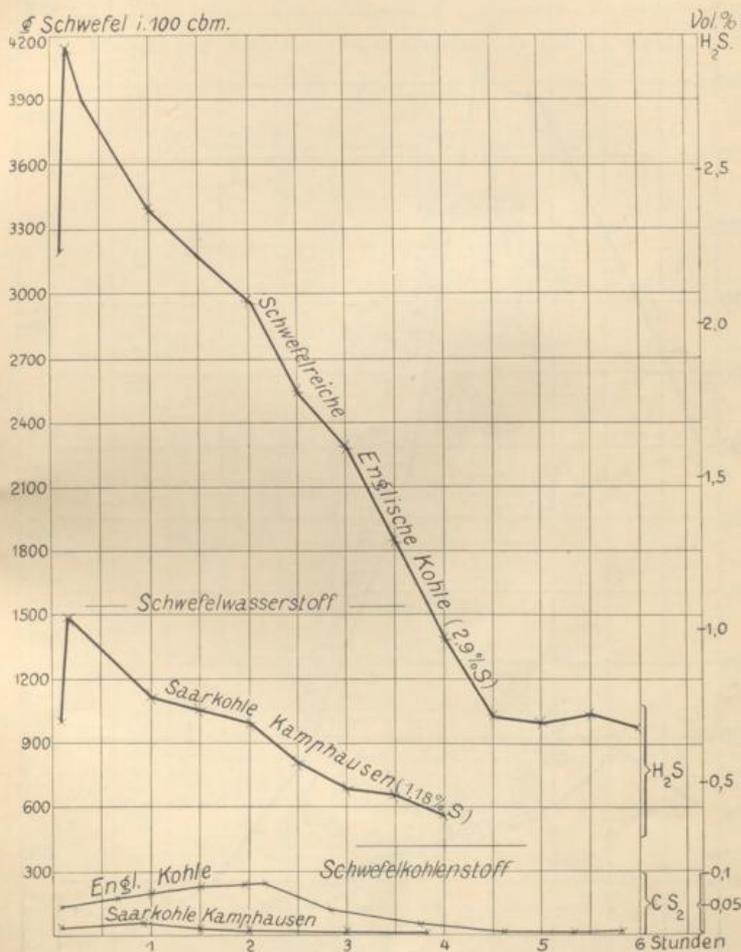
Die Menge der verunreinigenden Bestandteile ( $\text{CO}_2$  und  $\text{SH}_2$  sowie  $\text{CS}_2$ ) wechselt im Verlauf der (4stündigen) Destillationsperiode, wie die Figuren zeigen.

Verlauf der Kohlensäureentwicklung.

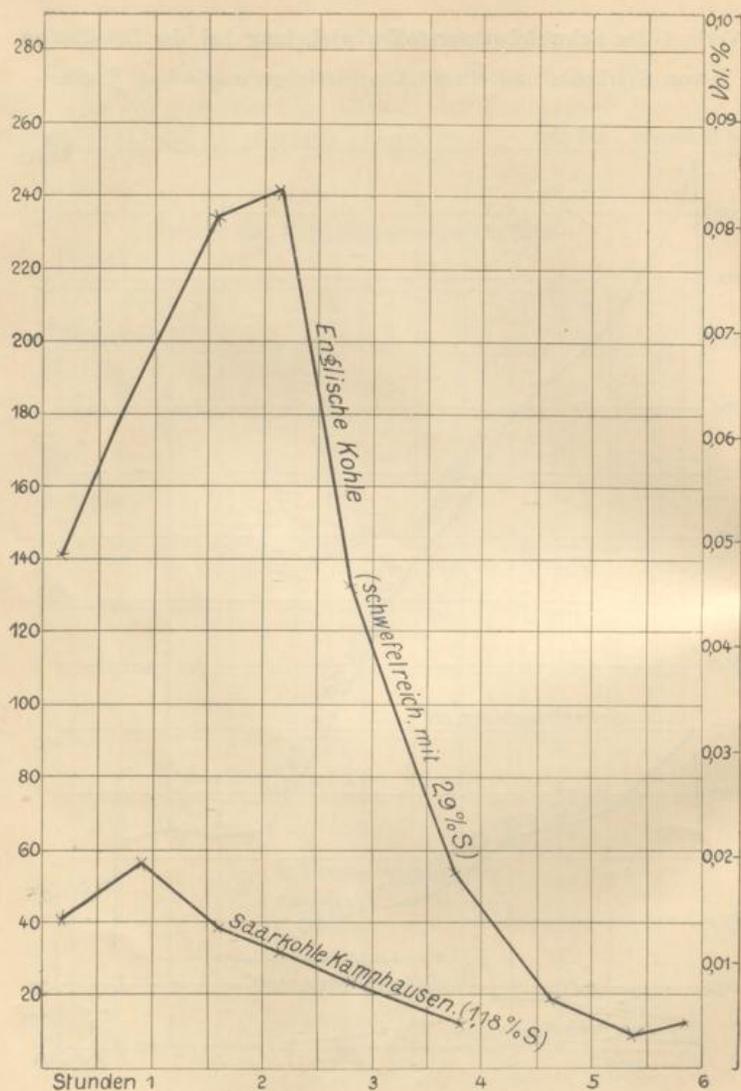


- ..... Böhmisches Schwarzkohle.
- . - . - Plattkohle.
- Saarkohle.
- Westfälische Kohle.

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



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

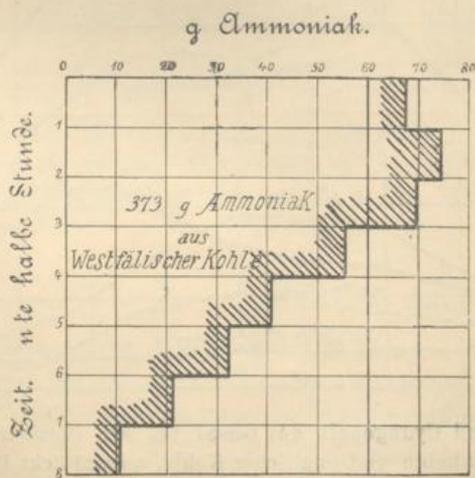
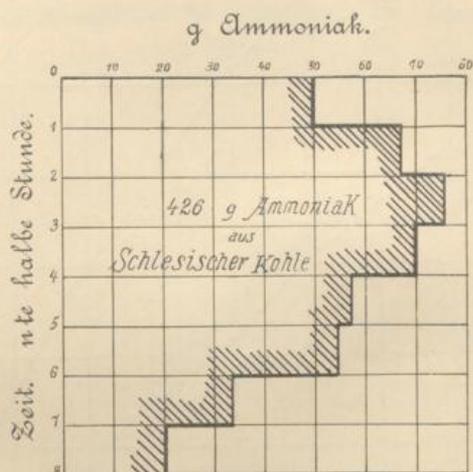


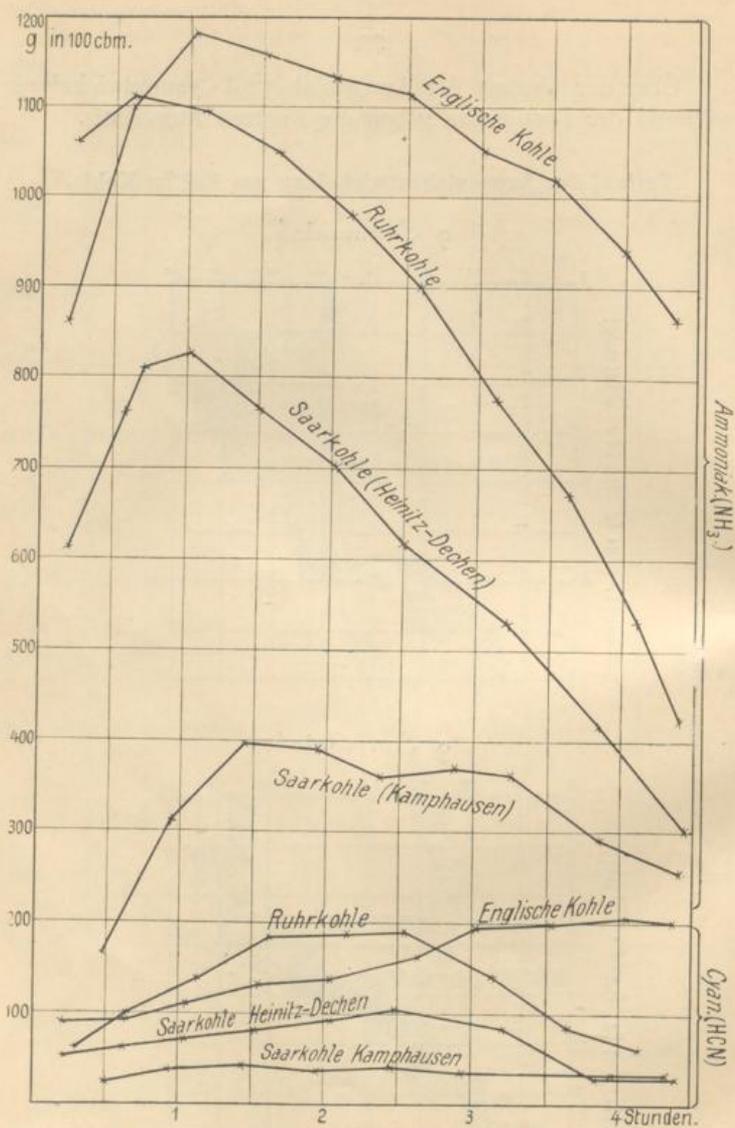
Verlauf der Schwefelkohlenstoffentwicklung bei der Destillation von Saarkohle und englischer Kohle, ausgedrückt in mg Schwefel pro 100 l oder in g Schwefel pro 100 cbm.

33.

Über den Verlauf der Ammoniak- und Cyanentwicklung während der Destillation geben die Figuren Aufschluß.

Verlauf der Ammoniakentwicklung aus 150 kg Kohle.

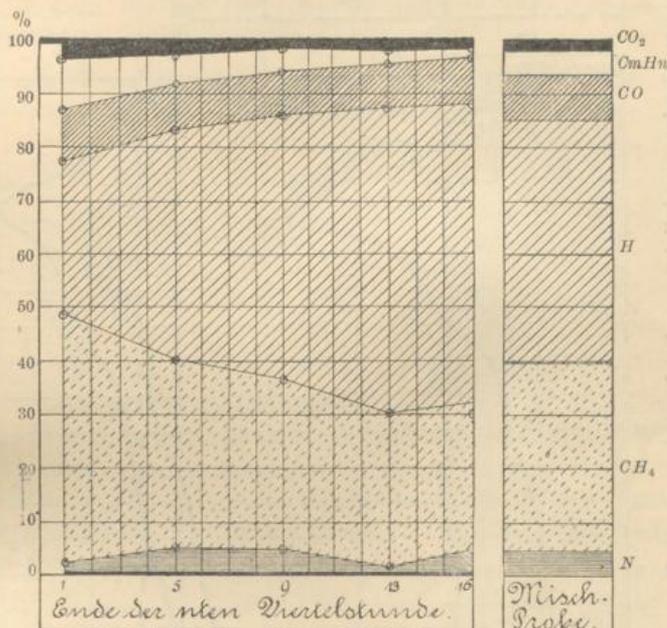




Ammoniak- und Cyangehalt des Gases bei der Destillation von Saarkohle, Ruhrkohle und englischer Kohle, ausgedrückt in g NH<sub>3</sub> bzw. HCN in 100 cbm.

34.

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

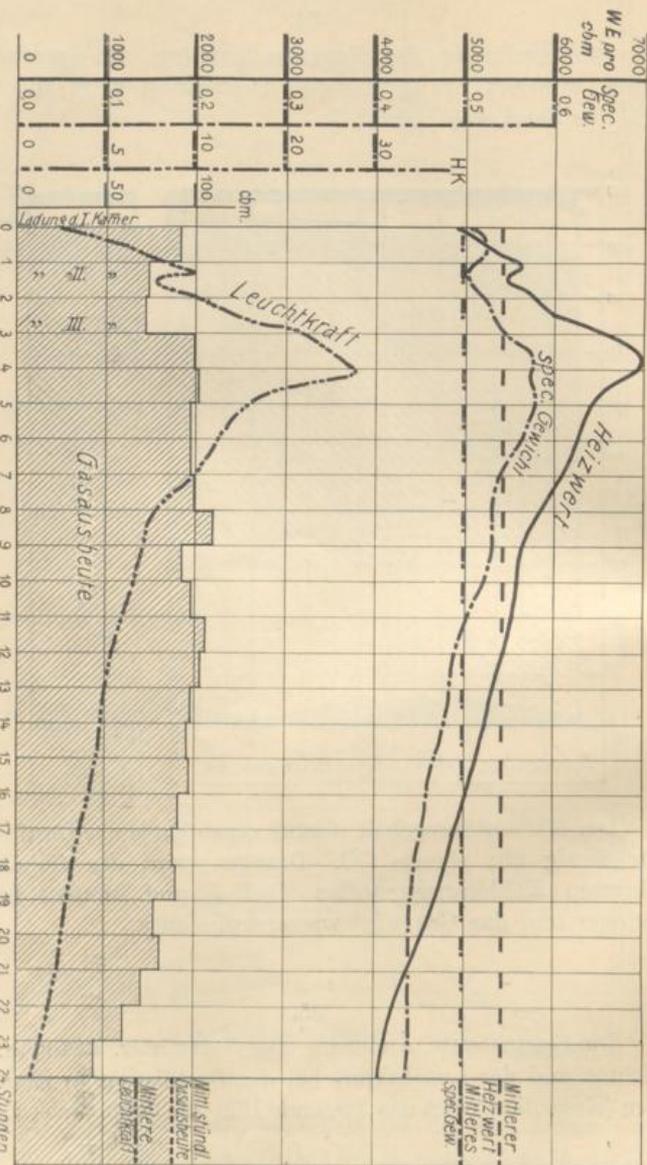


Der Kohlensäuregehalt nimmt gegen Ende der Destillation nur wenig ab; ebenso CO. Dagegen wird der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) und Methan immer geringer und das Gas wird wasserstoffreicher.

35.

Die Gasausbeute, Änderung des Heizwertes, des spez. Gewichtes und der Leuchtkraft bei der Destillation in Kammeröfen (Koksöfen) zeigt das folgende Bild für Schlesische Kohle.

Schlesische Kohle (Karwin).



Heizwert, spez. Gewicht und Volumen des Leuchtgases aus Kammeröfen, bei Beschickung der drei Kammern mit 6,6 t 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 <sub>3</sub> ) . . . . .	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 ab- geschieden, 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 Spaltungs- stücke entstandener flüssiger und fester organischer Substanzen (etwa 80 bekannt) mit Kohlenstoff (Ruß). Aus 100 kg Stein- kohlen 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 (Ruß) 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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	. . . . .	Siedep.	80° C.
	Toluol C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	. . . . .	»	110° C.
0,8%	Schwerbenzol (Xylol)		»	140° C.
0,5%	Phenol (Karbolsäure)	. . . . .	»	183° C.
1,0—1,5%	Kresol (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 heifs (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, Anthrazenöle) wird Naphthalin leicht gelöst und kann mittels derselben aus den Rohrleitungen entfernt oder schon auf der Gasanstalt aus dem Rohgas ausgewaschen werden (Naphthalinwascher).

Naphthalin im Gase.

t ° C	Dampfdruck mm	g in 100 cbm	t ° C	Dampfdruck mm	g in 100 cbm
0	0,022	13,7	50	0,81	476,0
5	0,034	22,4	60	1,83	1104,0
10	0,047	32,3	70	3,95	2405,0
15	0,062	43,5	80	7,40	4342,0
20	0,080	56,3	90	12,6	6950,0
30	0,135	90,4	100	18,5	10122,0
40	0,32	191,0			

42.

Die Zusammensetzung des Rohgases nach Abscheidung des Teers ist etwa folgende:

Rohgas aus westfälischer Kohle:

	Vol. %	
Wasserstoff H <sub>2</sub> . . . . .	50,0	
Methan CH <sub>4</sub> . . . . .	31,0	
Kohlenoxyd CO . . . . .	9,0	
Äthylen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	2,50	} 3,75
Benzol C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . . . .	1,25	
Kohlensäure CO <sub>2</sub> . . . . .	2,00	} 2,75
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S . . . . .	0,75	
Stickstoff N <sub>2</sub> . . . . .	2,25	
Ammoniak NH <sub>3</sub> . . . . .	1,10	} 1,25
Cyanwasserstoff HCN . . . . .	0,15	

43.

Bei der Kühlung des Gases scheidet sich mit dem Gaswasser ein Teil des darin leicht löslichen Ammoniaks aus; vollständig wird dasselbe in den Waschern (Skrubber) durch fein verteiltes Gaswasser und Reinwasser entfernt (nasse Reinigung). Mit dem Ammoniak scheidet sich ein Teil der übrigen Verunreinigungen, hauptsächlich Kohlensäure (CO<sub>2</sub>), auch Schwefelwasserstoff (SH<sub>2</sub>) und Cyanwasserstoff (CNH) aus.

44.

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

1.  $Fe_2O_3 \cdot H_2O + 3 SH_2 = Fe_2S_3 + H_2O + 3 H_2O$ . Bei diesem Prozess werden für 1000 g SH<sub>2</sub> 146 Kal. Wärme entwickelt. Nimmt die Masse keinen Schwefel mehr auf, so wird sie angefeuchtet und an der Luft oxydiert. 1 kg Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> braucht 770 l Luft zur Regeneration.

2.  $Fe_2S_3 + O_3 + H_2O = Fe_2O_3 \cdot H_2O + S_3$  (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  $\text{SO}_3$  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. %  $\text{SH}_2$  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. %  $\text{SH}_2$  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 Schwefeleisen der Reinigungsmasse (nicht durch  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) absorbiert (10% und mehr Blau). Die Masse wird dadurch wertvoll und ist der wichtigste Rohstoff für Cyanverbindungen geworden (Cyan-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:  $\text{C} + \text{CO}_2 = 2 \text{CO}$ . Für die Gasglühlichtbeleuchtung ist die  $\text{CO}_2$  nicht schädlich.

47.

Schwefelkohlenstoff- $(\text{CS}_2)$ -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 Schwefelkalzium (CaS) grofsenteils absorbiert bis auf 50,3g S in 100 cbm Gas, ein Gehalt, der in Deutschland auch ohne diese 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 <sub>2</sub>	8,6 %	9,3 %
CO	20,6 »	23,3 »
H <sub>2</sub>	15,0 »	12,9 »
CH <sub>4</sub>	0,8 »	0,8 »
N <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>
1,5	> O
80,5	> N
<hr/>	
100,0%	

Die Verbrennungsprodukte einer gut geleiteten Gasfeuerung mit nassem Betrieb schwanken innerhalb 24 Stunden in ihrem CO<sub>2</sub>gehalt 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) oder senkrechten Retorten (Dessauer Vertikalöfen) 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 Holzhorsten 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.

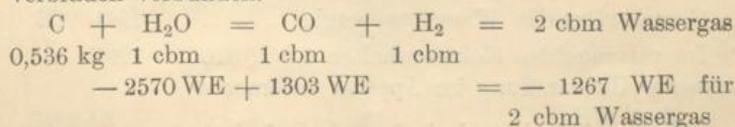
54.

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.

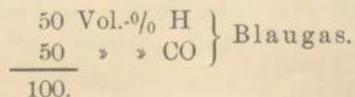
55.

Die Vergasung ist mit einem beträchtlichen Wärmeverbrauch verbunden.



Wärmeverbrauch für 1 cbm Wassergas =  $\frac{1267}{2} = 634 \text{ WE}$ .

Das Wassergas besteht nach der Theorie aus



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 Braunkohlenteerölen). Das sogenannte heiß karburierte Wassergas besteht aus  $\frac{1}{4}$  Ölgas und  $\frac{3}{4}$  Wassergas.

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 <sub>2</sub>	44,8 × 0,536 =	0,240 kg C in 1 cbm	
38,6 »	CO	× 3034 =	1171	[Wassergas
51,0 »	H <sub>2</sub>	× 2570 =	1311	
<u>4,2 »</u>	<u>N<sub>2</sub></u>	Heizwert 2482 × 2 =	4964 WE	
100 %.				

Gesamtwärme in Wassergasenergie . . . . . 4964 WE

Im verbrauchten Koks enthalten  $0,9 \times 8100 = 7290$  »  
also zur Umwandlung im Apparat verbraucht

2326 WE . . . . .	31,9 %
im Wassergas enthalten . . . . .	<u>68,1 %</u>
	100 %

**Gasverwendung.**

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 <sub>2</sub> O	Vol. CO <sub>2</sub>
49 H <sub>2</sub>	0,5	24,5	49	—
34 CH <sub>4</sub>	2,0	68,0	68	34
8 CO	0,5	4,0	—	8
4 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,0	12	8	8
1 C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	7,5	7,5	3	6
2 CO <sub>2</sub>	—	—	—	2
2 N <sub>2</sub>	—	—	—	—
Zusammen:	—	116,0	128	58

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

Für 1 Vol. Gas. Luftbedarf = 5,52 Vol. Luft. 1 Vol. Gas liefert 1,28 Vol. H<sub>2</sub>O Dampf und 0,58 Vol. CO<sub>2</sub>.

Nach Abscheidung des Wassers bestehen die Verbrennungsprodukte aus 58 Vol. CO<sub>2</sub> = 11,4 Vol.-% CO<sub>2</sub>

$$436 + 2 = 438 \text{ Vol. N} = \frac{88,6 \text{ Vol.-% N}_2}{100,0}$$

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). In der Regel wird die Leuchtkraft in horizontaler Richtung gemessen. Bei Lichtquellen (Lampen), welche nach verschiedenen Richtungen sehr verschiedene Lichtmengen aussenden (hängendes Gasglühlicht), ist auch die Messung unter verschiedenen Winkeln erforderlich. Vergleiche Abschnitt V Photometrie.

Die Beziehung der für photometrische Messungen in den einzelnen Ländern gebräuchlichen Lichteinheiten zu einander gibt die folgende Tabelle.

Lichteinheit	HK	VK	EK	10 KP	Carcel
Hefnerkerze . . . . .	1	0,833	0,877	0,091	0,092
Vereinskerze . . . . .	1,20	1	1,05	0,109	0,111
Englische Kerze . . . . .	1,14	0,95	1	0,104	0,105
10-Kerzen Pentanlampen .	11,0	9,16	9,6	1	1,01
Carcellampe . . . . .	10,80	9,0	9,5	0,98	1

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

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

Art der Beleuchtung	Licht- stärke gangbarer Lampen u. Brenner	Konsum pro Stunde	Konsum pro HK-St.	Preis pro Einheit	Kosten für die Brennstunde gesamt für 10 HK	Kohlen- säure produktion pro Lampe und Stunde	Wärme- erzeugung pro Lampe und Stunde	WE. für 1 HK-St.
Stein- kohlen- gas	HK	1	1	pro ehm		1	WE	51
	(Schnittbrenner . . .	160	10,0	16 Pf.	2,56 Pf.	93	815	40
	Argandbrenner . . .	250	7,8	16	4,00	145	1270	8,5
	Glühlichtbrenner . . .	120	1,7	16	1,92	70	610	5,5
	Lucaslicht . . . . .	630	1,09	16	10,08	365	3200	4,7
	Preßgaslicht . . . . .	272	0,9	16	4,35	158	1400	4,4
Azetylen	(Millenniumlicht . . .	1200	0,85	16	22,7 <sup>1)</sup>	700	6100	8,0
	(Gaslicht . . . . .	30	0,6	125 <sup>2)</sup>	3,75	60	400	3,3
Petro- leum	(Glühlicht . . . . .	15	0,25	125	1,88	30	200	36,6
	(Rundbrenner . . . . .	kg	g	pro kg		64	440	5,9
Spiritusglühlicht	(Kitsonlicht . . . . .	0,04	3,3	25 Pf.	1,00	530	3630	14,4
	(. . . . .	0,33	0,37	25	8,25	95	720	0,95
Elek- trische	(. . . . .	0,10	2,0	40	4,00	10	380	0,2
	(Bogenlicht . . . . .	W-St.	W-St.	pro KW-St.	26,4	20	380	1,0
	(Effektbogenlampe . . .	440	1,1	60 Pf.	26,4	5	137	1,0
	(Liliputbogenlampe . . .	440	0,23	60	26,4	—	185	2,9
	(Liliputbogenlampe . . .	130	1,23	60	9,6	—	47	1,0
	(Nernstlampe . . . . .	180	1,20	60	13,08	—	42	1,0
(Kohlenfadenlampe . . .	16	55	3,44	3,3	—	—	—	
(Osmiumlampe . . . . .	42	48,7	1,16	2,9	—	—	—	

1) Einschließlich Betriebskosten. 2) Erzeugungskosten. 3) Ohne Strumpf- und Wartungskosten.

62.

Die Heizkraft des Gases wird mit dem Kalorimeter gemessen (Junkers Kalorimeter) und ausgedrückt in Wärmeinheiten (Kalorien). WE. Die Ausführung der Bestimmung siehe S. 58.

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 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 cbm		Anteil an der Verbrennungswärme des Gases	
		zu flüss. Wasser	zu Wasser- dampf	WE.	WE.
Wasserstoff H <sub>2</sub> . . .	0,49	3 052	2 570	1 495	1 259
Methan CH <sub>4</sub> . . .	0,34	9 527	8 562	3 239	2 911
Kohlenoxyd CO . . .	0,08	3 034	3 034	243	243
Äthylen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . .	0,04	14 903	13 939	596	558
Benzol C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . .	0,01	34 423	32 531	344	325
Kohlensäure CO <sub>2</sub> . . .	0,02	—	—	—	—
Stickstoff N <sub>2</sub> . . .	0,02	—	—	—	—
	1,00	—	—	5 917	5 296
				oberer	unterer

Heizwert des Gases: oberer 5917 WE., unterer 5296 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 unter Bildung von Kohlensäure, Wasser, Kohlenoxyd und Wasserstoff (Wassergasgleichgewicht); im äußeren Flammenmantel verbrennt das nur teilweise verbrannte Gas vollständig im Luftüberschuß zu Wasser und Kohlensäure.

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.).

Die Lichtausbeute bei unseren gebräuchlichen Lichtquellen gegenüber der aufgewendeten Energie ist zur Zeit noch außerordentlich gering; sie beträgt kaum einige Zehntel bis wenige Prozente der aufgewendeten Energie.

70.

Die Fortschritte in der Flammenbeleuchtung bezüglich der Lichtausbeute zeigen sich an folgender Tabelle:

Entwicklung der Gasbeleuchtung.

	Leuchtkraft in HK pro 1 cbm Stunden- verbrauch	Verbrauch pro HK-Stunden Liter	20 HK kosten pro Stunde	
1 cbm = 16 Pf.				
von 1802 ab Schnitt- und Argand- brenner	133	7,5	2,4 Pf.	
von 1890 Siemens- Regenerativlampe	227	4,4	1,4 „	
Gasglühlicht	1890. Alte Strumpfform	500	2,0	0,64 „
	1896. Neue Strumpfform	600	1,67	0,53 „
	1900 (Prefsgas)	1000	1,0	0,32 „
	1901 Lucaslampe	910	1,09	0,35 „
	1905 Invertglühlicht	925	1,08	0,35 „

71.

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

im Schnitt- und Argandbrenner  
früher: gab 1 Gasflamme mit 140 l Verb.  
16 HK und erzeugte . . . . . 800 81 179

im Auerbrenner  
jetzt: gibt 1 Gasflamme mit 140 l Verb.  
80 HK und auf die gleiche Leuchtkraft  
oder auf 16 HK etwa  $\frac{1}{5}$  der Wärme, CO<sub>2</sub>  
u. H<sub>2</sub>O. . . . . 160 16 36  
1 Mensch liefert pro Stunde . . . 92 44 33

Gasentweichungen können durch Palladium-Chlorürlösung 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 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 an brennbarem 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
Azetylen . . . .	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

3°

### Wärmekapazität der Gase.

Die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 cbm Gas von  $T^0$  auf  $T + 1^0$  zu erwärmen, d. h. die Wärmekapazität von 1 cbm Gas ( $0^0$  und 760 mm) ist bei konstantem Druck nach Le Chatelier für

$$\text{Kohlensäure: } C_T = 0,2900 + 0,000165 \cdot 2 T$$

$$\text{Wasserdampf: } C_T = 0,2900 + 0,0001294 \cdot 2 T$$

$$\text{Permanente Gase: } C_T = 0,2900 + 0,0000268 \cdot 2 T$$

In der folgenden Figur sind diese Werte bis  $2000^0$  C graphisch dargestellt. Mit Hilfe derselben läßt sich der Wärmeinhalt von 1 cbm Gas bzw. die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 cbm Gas von  $t^0$  auf  $t_1^0$  zu erwärmen, berechnen.

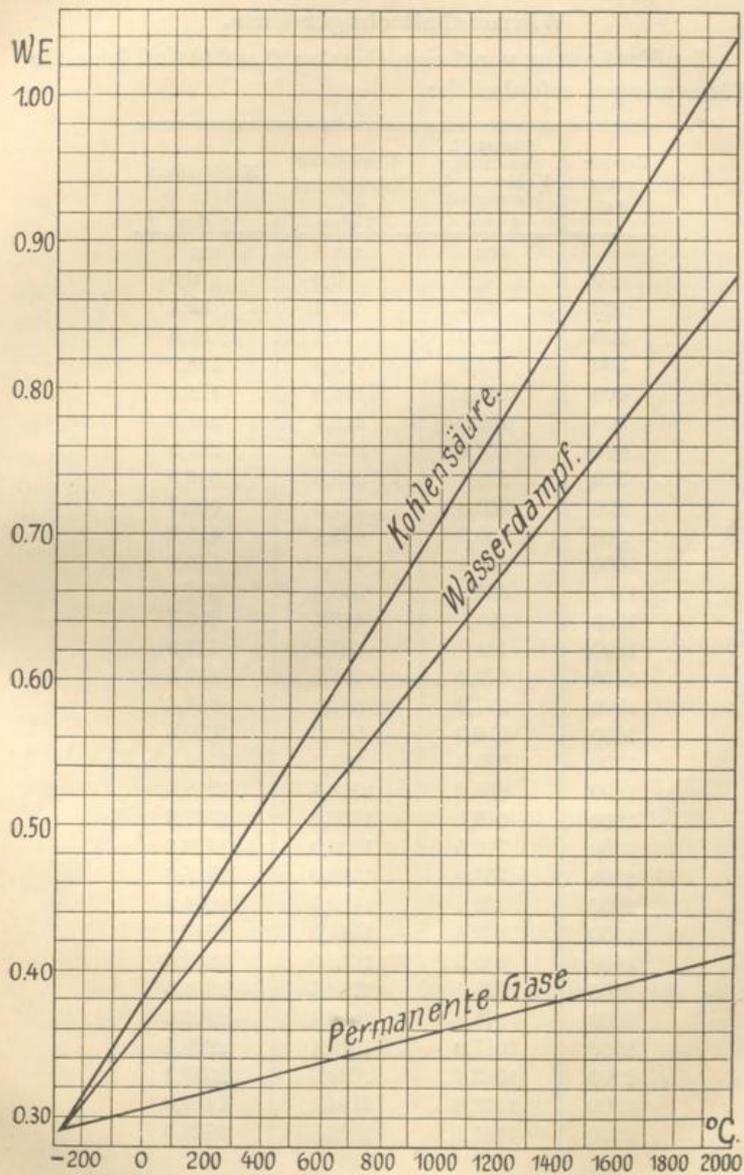
Z. B. sind zur Erwärmung von 1 cbm  $\text{CO}_2$  um  $1^0$  erforderlich:

bei $0^0$ . .	0,380 WE
bei $2000^0$ . .	1,041 WE
im Mittel . .	$1,421 : 2 = 0,7105$ WE.

1 cbm  $\text{CO}_2$  gibt also bei Abkühlung von  $2000^0$  auf  $0^0$   $2000 \cdot 0,7105 = 1421$  WE ab.

Diese Werte sind in der Tabelle S. 38 von 0 bis  $3000^0$  berechnet.

Wärmekapazität von 1 cbm Gas.



**Wärmeinhalt einiger Gase.**

Zur Erwärmung von 1 cbm Gas von 0 auf  $t^0$  sind folgende Wärmemengen erforderlich:

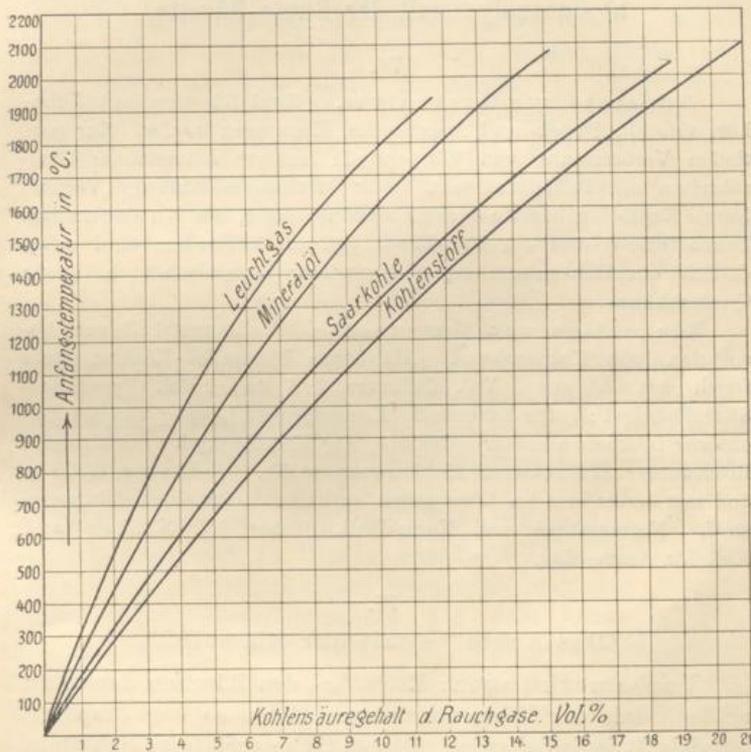
Temperatur ° C	Stickstoff, Sauerstoff, Kohlenoxyd, Wasserstoff	Überhitzter Wasserdampf	Kohlensäure
	1 cbm	1 cbm	1 cbm
	WE	WE	WE
0	0,0	0,0	0,0
100	30,7	37,4	39,7
200	62,0	77,2	82,6
300	93,8	119,8	128,9
400	126,1	164,9	178,4
500	159,0	212,7	231,3
600	192,4	263,0	287,5
700	226,4	315,9	346,9
800	260,8	371,3	409,7
900	295,9	429,4	475,7
1000	331,4	490,1	545,1
1100	364,6	553,3	617,7
1200	404,1	619,1	693,7
1300	441,3	687,5	773,9
1400	479,0	758,5	855,5
1500	517,2	832,1	941,4
1600	556,0	908,3	1030,5
1700	595,3	987,1	1123,1
1800	635,2	1068,4	1218,8
1900	675,5	1152,2	1317,8
2000	716,5	1238,9	1420,2
2100	757,9	1328,0	1525,8
2200	799,9	1419,7	1634,8
2300	842,4	1514,0	1747,1
2400	885,5	1610,9	1862,6
2500	929,1	1710,4	1981,5
2600	973,2	1812,4	2103,6
2700	1017,9	1917,1	2229,1
2800	1063,1	2024,3	2357,9
2900	1108,8	2134,1	2489,9
3000	1155,1	2246,5	2625,3

75.

### Flammentemperaturen

unter Berücksichtigung der steigenden spez. Wärmen:

$$T = \frac{W}{C_{var.}}$$



Das Temperaturgebiet bis 1700° ist praktisch als dissoziationsfrei zu betrachten.