

$$\tau = t + T.$$

I.

(für 120 g Wasser und 20 g Platin)

T	$t - t_1$ (t_1 = Temp. des Wassers vor dem Einwerfen des Platins)
400°	2,19
500°	2,77
600°	3,35
700°	3,94
800°	4,55
900°	5,16
1000°	5,78

II.

(für 120 g Wasser und 20 g Platin)

$t - t_1$	T	T für $\frac{1}{10}$ ($t - t_1$)
2	366°	17
3	540°	17
4	710°	16
5	874°	16
6	1034°	16
7	1190°	16

z. B.

es seien: $t_1 = 12^0$, $t = 18,3^0$ also: $t - t_1 = 6,3^0$

Hieraus folgt:

$$\begin{array}{rcl} 6^0 & \text{entspricht} & T = 1034^0 \\ 0,3^0 & „ & T = 48^0 \\ & & t = 18^0 \\ \hline \text{somit} & & \tau = 1100^0. \end{array}$$

C. Brennstoffe.

1. Feste Brennstoffe.

a) **Holz.** Das Holz besteht aus zwei Hauptbestandteilen, der Zellulose und dem Lignin (den inkrustierenden Substanzen), deren Mengenverhältnis vom Alter der holzliefernden Pflanzen abhängig ist. Altes Holz kann bis zur Hälfte aus Lignin bestehen. Während die Zellulose ($C_6H_{10}O_5$) eine chemische Verbindung aus der Klasse der Kohlenhydrate ist, müssen wir im Lignin eine Mischung mehrerer Stoffe annehmen, die hauptsächlich zur Klasse der zyklischen Verbindungen gehören.

Die Einteilung des Holzes in hartes und weiches Holz beruht auf der Anordnung und Lagerung der Pflanzenzellen.

Die chemische Zusammensetzung des Holzes ist im Durchschnitt folgende (auf vollkommen trockenes Holz bezogen):

$$C = 50\%; \quad H = 6\%; \quad O = 43\%; \quad N + \text{Asche} = 1\%.$$

Im nicht künstlich getrockneten Holze sind beträchtliche Mengen Wasser enthalten; im frischen (grünen) Holz bis zu 50%, aber auch im

lufttrockenen häufig noch 20—25%; durch diesen hohen Wassergehalt wird der Wert des Holzes als Brennmaterial wesentlich verringert. Der hohe Sauerstoffgehalt setzt den Heizwert ebenfalls herab, denn je mehr Sauerstoff ein Brennstoff enthält, um so weniger vermag er bei der Verbrennung aufzunehmen, um so geringer ist also seine Verbrennungswärme.

Der untere Heizwert des lufttrockenen Holzes erreicht etwa 3000 Kalorien für 1 kg.

Während das Holz selbst als technischer Brennstoff bedeutungslos ist, findet die aus ihm hergestellte Holzkohle, besonders in der Metallurgie vielfache Verwendung.

b) Holzkohle. Wird Holz bei Luftabschluß auf höhere Temperatur erhitzt, so geht zunächst Wasser weg; bei 150° beginnt die Zersetzung der Holzsubstanz, wobei Gase und Dämpfe entweichen und schließlich Holzkohle zurückbleibt. Früher wurde die Holzkohle fast ausschließlich in Kohlenmeilern, das sind aus Scheitern oder runden Stücken aufgeschichtete und mit Rasen oder Erde bedeckte Haufen, gewonnen. In den Kohlenmeilern wird ein Teil des Holzes verbrannt, um die für die Zersetzung der Hauptmenge nötige Wärme zu erzeugen. Der Köhler muß durch richtige Schichtung des Holzes und entsprechende Regelung des Luftzutrittes dafür sorgen, daß der Verbrennungs- und Verkohlungsprozeß in möglichst ökonomischer Weise vor sich geht.

Die Kohlenmeiler liefern zwar eine sehr gute Holzkohle, die Dämpfe und Gase werden aber nicht mitverwertet.

Weitaus vorteilhafter ist die Retortenverkohlung, wo das Holz in zylindrischen Eisenretorten von oft beträchtlicher Länge (10—15 m) der trockenen Destillation unterworfen wird. Die aus der Retorte entweichenden Dämpfe und Gase werden abgekühlt und liefern dabei eine wässrige Flüssigkeit, den rohen Holzeßig, und eine ölige Flüssigkeit, den Holzteer; beide Kondensate sind nützliche Produkte. Die bei der Abkühlung nicht verdichteten Gase werden, da sie in ihrer Gesamtheit brennbar sind, zur Heizung der Retorten benutzt.

Die Ausbeute an Holzkohle ist bei der Retortenverkohlung höher (bis zu 30%) als bei der Meilerverkohlung (20—25%), die Kohle ist aber bei letzterer infolge der höheren Temperatur reicher an Kohlenstoff. Die Zusammensetzung der Holzkohle richtet sich aber auch nach der Holzart, von der ausgegangen wurde.

Folgende Angaben lassen dies deutlich erkennen:

	C	H	O (+ N)	Asche
Meilerkohle				
1. Birkenkohle	87,8%	3%	8%	1,2%
2. Tannenkohle	89,7%	2,3%	6,5%	1,5%
Retortenkohle	80—83%	3—4%	10—15%	1—2%

Die Holzkohle ist sehr porös, weshalb die Dichte der Stücke sehr gering ist (0,18—0,40); die Kohlensubstanz als solche hat die Dichte 1,5. Holzkohle zieht begierig Wasser an und muß daher richtig aufbewahrt werden, wenn der Heizwert nicht verringert werden soll.

Vollkommen trocken ist sie leicht entzündlich; sie erzeugt bei der Verbrennung beträchtliche Wärmemengen (1 kg 6500—7500 Kalorien) und auch eine hohe Verbrennungstemperatur.

c) Torf. Der Torf entsteht durch Zersetzung von Pflanzenstoffen unter Wasser. Je nach der Pflanzenart, aber auch je nach der Dauer des Zersetzungsprozesses kann man verschiedene Torfarten unterscheiden. Die Beschaffenheit des Wassers hat insofern einen Einfluß auf die Torfbildung, als die Pflanzenarten, die sich darin ansiedeln, von der Menge der Nährsalze abhängig sind. In kalkreichen Wässern entstehen aus Erlenbruchwäldern, Gräsern und Heidepflanzen die sogenannten *Niederungsmoore*, während die aus Torfmoosen gebildeten *Hochmoore* in nährstoffarmen Wässern zu finden sind. Die Torfmoose (*Sphagnum*) sterben unten ab und wachsen nach oben weiter, so daß sich mächtige Torfschichten bilden.

Torf aus Niederungsmooren ist wesentlich aschenreicher als solcher aus Hochmooren.

(Der Name Hochmoor, beziehungsweise Niedermoor stammt daher, weil bei ersterem die Oberfläche an den Rändern tiefer, bei letzterem aber höher ist als in der Mitte.)

Der älteste Torf, der aus den tiefsten Schichten stammt und daher am weitesten vorgeschrittene Zersetzung aufweist, ist der *Pechtorf*, eine dunkle Masse ohne erkennbare organisierte Struktur, der jüngste der *Rasen-* oder *Fasertorf* aus gelben bis hellbraunen miteinander verfilzten lockeren Fasern bestehend.

Frisch gewonnener Torf besitzt immer einen beträchtlichen Wassergehalt, der bis 95% erreichen kann; der Aschengehalt schwankt zwischen 0,5 bis 50%.

Um Torf als Brennstoff verwerten zu können, muß er vor allem vom Wasser, häufig auch von erdigen Beimengungen getrennt werden. Das Trocknen des Torfes an der Luft führt nur eine unvollkommene Entwässerung herbei, da lufttrockener Torf noch immer 25—30%

Wasser enthalten kann und es ist auch sehr von Witterungseinflüssen abhängig. Solcher Torf spielt demnach für industrielle Zwecke keine Rolle.

Versuche, vollkommene Entwässerung des Torfes herbeizuführen, sind vielfach an der Kostenfrage gescheitert, da die Torfsubstanz vermöge ihrer physikalischen Beschaffenheit das Wasser hartnäckig zurückhält.

Von den vielen zur Torfentwässerung vorgeschlagenen Verfahren sollen bloß zwei kurz beschrieben werden.

Das erstere, das längere Zeit in Schwenzelmoor in Ostpreußen in Verwendung war, beruht auf der *Elektroosmose*.

Der durch Wasser entsprechend verteilte Rohtorf wird zwischen zwei in 40 cm Abstand befindlichen, durch Gleichstrom elektrisch geladenen Metallplatten gebracht (die Stromdichte betrug 1000 Amp. für 1 m²), wobei eine Verschiebung der festen Teilchen gegen den positiven Pol und des Wassers gegen den negativen Pol stattfindet. Der so erhaltene wasserärmere Torf wird dann durch Maschinenabdampf weiter getrocknet und liefert nach dem Pressen schließlich die sogenannten *Osmoplasten*, die nur 15—20% Wasser enthalten und steinhart sind.

Billiger arbeitet das sogenannte *Madruckverfahren* von Brune und Horst, das durch die Gesellschaft für maschinelle Druckentwässerung in Ürdingen am Rhein angewendet wird.

Es beruht darauf, daß die kolloidale Torfsubstanz durch einen feinverteilten Zusatzstoff so beeinflußt wird, daß das kapillar festgehaltene Wasser durch Pressen größtenteils entfernt werden kann. Als Zusatzstoff dient trockener Torf, der im Betriebsgange selbst erzeugt wird. Da nur zur Gewinnung dieses Zusatzstoffes Wärme verbraucht wird (die Trocknung erfolgt überdies durch Abdampf), die Hauptmasse des Wassers aber durch Pressen entfernt werden kann, ergibt sich eine beträchtliche Verringerung der Kosten. Das Preßgut hat nach Angabe der Erfinder den Moorcharakter vollkommen verloren, ist der Rohbraunkohle ähnlich und läßt sich auf Treppenrosten verfeuern, brikketieren, vergasen und verkoken.

Schon mit Rücksicht auf die geringen Transportkosten erscheint die Herstellung von *Torfbriketts* sehr zweckmäßig, sie setzt aber die vorhergehende Trocknung des Torfes voraus.

Die aus Torf, der nach dem Madruckverfahren getrocknet wurde, durch Pressen erzeugten Briketts enthalten 15% Wasser und einen Aschengehalt von 0,5—3% (auf die Trockensubstanz bezogen) bei Hochmooren und von 5—10% bei Niedermooren. Sie haben einen prak-

tischen Heizwert ¹⁾ über 4000 Kalorien, sind fester als Braunkohlenbriketts, formbeständig im Feuer, langflammig und fast frei von Schwefel.

Auch zur Erzeugung von K o k s aus Torf durch trockene Destillation sind verschiedene Verfahren ersonnen worden, die ziemlich gute Resultate liefern.

Die Zusammensetzung dieses Torfkoks schwankt zwischen folgenden Werten:

C	74—86%
H	3,6—1,9%
O	14,5—5,2%
N	1,5—1,3%
S	0,2—0,3%
Asche	2,5—3%
Feuchtigkeit	3,8—4,3%

Der Heizwert ¹⁾ beträgt 6800 bis 7600 Kalorien für 1 kg.

Mit der Gewinnung des Torfkoks ist die der Nebenprodukte verbunden.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die im großen Maßstabe vorgenommene Überführung des Torfes in H e i z g a s e unter gleichzeitiger Gewinnung des S t i c k s t o f f e s in Form von Ammoniumsulfat technische Bedeutung besitzt. (Näheres hierüber bei den gasförmigen Brennstoffen.)

Die Verwertung der Torflager ist besonders für Deutschland von großer Wichtigkeit, da hierdurch gewaltige Energiemengen verfügbar würden. Man hat berechnet, daß aus den 42 Milliarden kg Rohtorf, die Deutschland schätzungsweise besitzt, 11 600 Milliarden Kilowattstunden gewonnen werden könnten, was unter Berücksichtigung aller Verluste in Dampfturbinenwerken 2 Millionen Kilowatt durch 100 Jahre entspricht.

d) Braunkohle. Die Braunkohle ist durch ähnliche Prozesse entstanden wie der Torf und zwar sind sowohl Sumpfpflanzen wie auch Bäume, besonders Nadelhölzer, an ihrer Bildung beteiligt.

Braunkohlenlager finden sich auf der ganzen Erde vor. Die bedeutendsten europäischen Vorkommen sind im Gebiete der mitteleuropäischen Tiefebene; unter ihnen sind das sächsisch-thüringische und das böhmische in erster Linie zu nennen.

Von kleineren Braunkohlengebieten sind die vom Niederrhein und die österreichischen erwähnenswert.

Alle Braunkohlenlager gehören der Tertiärformation (Miozän) an.

¹⁾ Falls keine nähere Angabe gemacht wird, ist im folgenden immer der praktische (untere) Heizwert angegeben.

Die Weltproduktion an Braunkohle betrug im Jahre 1928 216 Mill. t; davon entfallen auf Deutschland 166 Mill. t.

Die Einteilung der Braunkohle kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus erfolgen.

Nach ihrer Entstehung kann man unterscheiden *Humuskohlen*, die die Hauptmasse der Braunkohlen umfassen, *Wachskohlen*, von denen die *Schwelkohle* die wichtigste ist, und die *Sapropelkohlen*, zu denen beispielsweise die seltene *Blätter- und Papierkohle* gehört.

Nach dem Zersetzungsgrade der Pflanzenstoffe, also meist auch nach dem Alter, ergeben sich folgende Gruppen:

Lignit, von gelber bis dunkelbrauner Farbe, faseriger Struktur, im Aussehen vielfach an Holz erinnernd.

Gemeine Braunkohle, braun bis schwarz gefärbt und von nur stellenweise noch angedeutet vorhandener Holzstruktur.

Erdige Braunkohle, gelb bis dunkelbraun, von erdiger, zerreiblicher Beschaffenheit.

Pechkohle und Glanzkohle, von dunkler bis pechschwarzer Farbe und großer Härte.

Noch härter ist der als Brennstoff nicht in Betracht kommende schwarze *Gagat* oder *Jet*, der zu Schmuckgegenständen verarbeitet wird.

Die chemische Zusammensetzung der Braunkohle liegt innerhalb folgender Grenzen (auf wasser- und aschenfreie Substanz bezogen):

C	60—70%
H	5—6%
O	20—30%
N	0,5—1,5%

Der Wassergehalt frisch geförderter Braunkohle ist meistens sehr hoch; er kann bis 60% erreichen und nur selten findet man weniger als 20%. Auch der Gehalt an Aschenbestandteilen ist häufig groß (bis zu 12%), wodurch der Heizwert wesentlich herabgesetzt wird. Unter den mineralischen Beimengungen sind Gips und Schwefelkies besonders bemerkenswert.

Der Heizwert der besten Sorten kann mehr als 6000 Kalorien pro 1 kg betragen, doch gibt es auch solche mit nur 2100 Kalorien, als Mittel kann man 4000—5000 Kalorien annehmen. Charakteristisch für die Braunkohle sind folgende Reaktionen:

Natronlauge liefert mit Braunkohle infolge Lösung sogenannter *Huminsäuren* eine dunkelbraune Flüssigkeit (Unterschied von Steinkohle).

Verdünnte Salpetersäure (1 : 10) wirkt heftig ein; bei 70° beginnt eine lebhafte Gasentwicklung, wobei Kohlendioxyd, Stickstoff, Stickstoffoxyde und Cyanwasserstoff entweichen; gleichzeitig entsteht Oxalsäure, Essigsäure und eine intensiv rotfärbende Substanz (Steinkohle zeigt die Bildung des roten Farbstoffes nicht).

Lösungsmittel, wie Benzol, vermögen beträchtliche Anteile (bis 30%, bei Pyropissit sogar 70%) zu lösen; diese gelösten Stoffe bestehen vorwiegend aus dem sogenannten Bitumen und wachsartigen Substanzen.

Bei der trockenen Destillation liefern die Braunkohlen, sofern sie nicht tierische Einschlüsse enthalten, ein sauer reagierendes Destillat (Unterschied von Steinkohle).

Die bitumenreichen Schwelkohlen werden zur Gewinnung von Paraffin, Montanwachs und flüssigen Destillationsprodukten herangezogen, die bitumenärmeren Kohlsorten dienen als Feuerkohlen.

Da der Heizwert der Braunkohlen, wie erwähnt, nicht sehr groß ist, lohnt sich der Transport auf weite Entfernungen meist nicht. Infolgedessen lassen sich Industrieunternehmungen häufig in der Nähe der Braunkohlenlager nieder oder es wird die Kohle daselbst zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendet, der oft weit weggeleitet wird, um dann als Energiequelle zu dienen.

Bei lignitischen, wasserreichen Kohlen niedrigen Heizwertes kann eine Veredlung durch das Fleißnersche Trocknungsverfahren herbeigeführt werden.

Die Kohle wird in stehenden zylindrischen Kesseln von 5 m Höhe und 2,4 m Durchmesser der Einwirkung hochgespannten (6—15 Atmosphären) Dampfes unterworfen, wobei ein großer Teil des Wassers abgegeben wird.

Nach 2 Stunden wird der gespannte Dampf aus dem ersten Kessel in einen zweiten, gleich großen übergeleitet und dort zur Vorwärmung der darin befindlichen Rohkohle benützt. Die mit dem gespannten Dampf behandelte Kohle des ersten Kessels wird mit warmer Luft weiter getrocknet, so daß schließlich der Wassergehalt auf etwa 14% (statt wie ursprünglich 30—40%) herabgedrückt wird.

Bei dieser Trockenmethode bleibt der Zusammenhalt der Kohlenstücke gewahrt, während lignitische Kohle bei anderen Verfahren leicht brüchig wird und zerfällt. Überdies tritt eine Schrumpfung des Kohlenkörpers ein, er wird dichter und härter, so daß beim Lagern keine wesentliche Aufnahme von Feuchtigkeit stattfindet. Daß beim Trocknen außer der Wasserabgabe noch andere Veränderungen vor sich gehen müssen, ergibt sich daraus, daß die Erhöhung des Heizwertes größer ist,

als der Wasserabgabe entspricht (bei steiermärkischen Braunkohlen beispielsweise von 3500 Kal. auf 5100 Kal.).

Solche Trockenkohle eignet sich nicht nur zur Kesselheizung und als Hausbrand, sondern auch für die Herstellung von Generatorgas.

Sehr große Mengen von Braunkohle werden in Form von Briketts in den Handel gebracht, was eine Ersparnis an Transportkosten infolge der geringeren Raumbeanspruchung ergibt.

Zum Zwecke der Brikettierung muß die Kohle zunächst zerkleinert und dann getrocknet werden.

Die Zerkleinerung erfolgt in Mühlen, die eine gleichmäßige Korngröße von weniger als 3—4 mm Durchmesser gewährleisten; kleine Mengen von Staubeilchen sind für die Brikettierung günstig. Die zerkleinerte, noch grubenfeuchte Kohle wird in großen Trockenöfen, die durch heiße Luft oder gegenwärtig meistens mit Dampf geheizt werden, soweit getrocknet, daß noch 14—18% Feuchtigkeit zurückbleiben; ganz trockene Kohle würde sich nicht brikettieren lassen.

Die getrocknete Kohle kommt in die Pressen, wo sie einem Druck von 1000—1500 Atmosphären ausgesetzt wird. Infolge des Feuchtigkeitsgehaltes haften die Kohlenteilchen auch nach Aufhören des Druckes fest aneinander und bilden eine zusammenhängende harte Masse. Daß der Bitumengehalt bei der Brikettierung auch eine Rolle spielt, ist wohl wahrscheinlich, doch ist seine Bedeutung früher sehr stark überschätzt worden.

Der Heizwert der Braunkohlenbriketts beträgt 4500—5000 Kal., der Aschengehalt 5% und darüber.

In Deutschland kann die Erzeugung von Braunkohlenbriketts auf etwa 30 Mill. t jährlich geschätzt werden.

Die Verkokung der Braunkohle liefert meist nur minderwertige Produkte. Der sogenannte Grude- oder Halbkoks ist ein Nebenprodukt der Braunkohlenteergewinnung und wird entweder in eigenen Öfen direkt als Brennmaterial benützt, oder man erzeugt aus ihm gasförmige Brennstoffe.

Aus bestimmten Braunkohlensorten läßt sich ein höherwertiger Koks, der Kaumazit, gewinnen, der einen Heizwert von nahezu 7000 Kalorien besitzt; sein Kohlenstoffgehalt beträgt gegen 82%. Auch die nach dem Fleißner-Verfahren hergestellten Trockenkohle soll zur Verkokung geeignet sein.

e) Steinkohle. Die Steinkohle ist weit älter als die Braunkohle und daher ist die Umwandlung der organischen Substanz bei ihr viel weiter fortgeschritten.

Es gibt Steinkohlen, die ähnlich wie Torf und Braunkohle lediglich aus Pflanzenstoffen entstanden sind, und solche, die sowohl aus pflanzlichen wie tierischen, im Wasser lebenden Organismen sich gebildet haben; erstere heißen *Humus-*, letztere *Sapropelkohlen*.

Die größten derzeit ausgebeuteten Steinkohlenlager finden sich in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Europa. Von der gesamten Weltproduktion des Jahres 1928 von 1243 Mill. t entfallen auf die Vereinigten Staaten 516 Mill. t, auf Europa 556 Mill. t, davon auf Großbritannien 246 Mill. t und auf Deutschland 150 Mill. t.

Unter den deutschen Lagern sind das Ruhrbecken mit 1923 km², das Saarbecken mit 275 km², das Aachener mit 100 km² und das oberschlesische ¹⁾ mit 4000—5000 km² die wichtigsten.

Auch Frankreich, Belgien, die Tschechoslowakei, Polen und Rußland besitzen größere Steinkohlenlager.

Die Einteilung der Steinkohlen kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus erfolgen.

So unterscheidet man nach dem äußeren Aussehen, besonders dem Glanz, zwei typische Arten, die *Glanzkohle* und die *Mattkohle*.

Eine Glanzkohle mit hohem Kohlenstoffgehalt ist der *Anthrazit*. Alle Glanzkohlen sind *Humuskohlen*.

Von den *Mattkohlen* ist die zu den Sapropelkohlen gehörende *Cannelkohle* erwähnenswert.

Eine andere Einteilung beruht auf dem Verhalten bei der trockenen Destillation; man unterscheidet dann *Back-*, *Sinter-* und *Sandkohlen*, je nach der Beschaffenheit des hierbei zurückbleibenden Koks.

Für die Beurteilung der Verwendungsfähigkeit einer Steinkohle ist die sogenannte *Verkoksungsprobe* von hohem Wert.

Gewogene Kohlenmengen werden hierbei im bedeckten Platintiegel erhitzt und die Menge und die Eigenschaften des erhaltenen Koks festgestellt.

Für die technische Verwendung der Kohlen ist folgende Einteilung am besten geeignet:

Magere oder anthrazitische Steinkohlen, das sind solche Kohlenarten, die beim Erhitzen unter Luftabschluß nur wenig Gase abgeben und daher bei der Verbrennung nur schwache Flammenbildung zeigen; der Koks besitzt meist sandiges Aussehen.

¹⁾ Trotz der großen Ausdehnung liefert das oberschlesische Lager nur 23% der deutschen Steinkohle, während auf das kleinere Ruhrgebiet 60% entfallen.

Sie sind schwer entzündbar und für Heizzwecke nur in beschränktem Maße verwendbar, für Schachtöfen aber vorzüglich geeignet.

Die Dichte liegt zwischen 1,35—1,4, die Koksausbeute beträgt 82—90%.

Zusammensetzung:

C	90,0—93,0%
H	4,5—5,5%
O	5,5—3,0%

Fette Kohle mit kurzer Flamme (Kokskohle). Sie liefert mehr Gase als die vorhergehende Kohle, aber doch nicht genügend, um eine starke Flammenbildung zu ermöglichen. Für die Kokerei ist sie vorzüglich brauchbar, ebenso auch für Dampfkesselfeuerung verwendbar. Der Koks ist fest und wenig zerklüftet. Ihre Dichte beträgt 1,3—1,35, die Koksausbeute 74—82%.

Zusammensetzung:

C	88,0—91,0%
H	5,5—4,5%
O	6,5—5,5%

Mittelflammige Fettkohle (Schmiedekohle). Der Koks ist weniger fest als bei der eigentlichen Kokskohle, was mit der größeren Gasentwicklung beim Erhitzen zusammenhängt. Sie ist eine vorzügliche Kohle für Schmiedefeuer, aber auch als Kokskohle und für Gaserzeugung und Kesselfeuerung geeignet.

Die Dichte ist etwa 1,3, die Koksausbeute 68—74%.

Zusammensetzung:

C	84,0—89,0%
H	5,0—5,5%
O	11,0—5,5%

Fette Kohle mit langer Flamme (Gaskohle). Sie wird hauptsächlich zur Leuchtgaserzeugung und zur Flammofenfeuerung in metallurgischen Betrieben benutzt. Der Koks ist stark zerklüftet und daher wenig fest. Die Dichte der Kohle ist 1,29—1,3, die Koksausbeute beträgt 60—68%.

Zusammensetzung:

C	80,0—85,0%
H	5,8—5,0%
O	14,2—10,0%

Trockene Steinkohle mit langer Flamme. Sie gibt beim Erhitzen beträchtliche Mengen von Gas ab, so daß sie mit starker Flammenentwicklung verbrennt, was sie für Flammofenfeuerung hervorragend befähigt.

Die Koksausbeute ist daher gering, sie beträgt nur 50—60%; der Koks ist entweder sandig oder höchstens zusammengesintert. Die Dichte der Kohle ist 1,25.

Zusammensetzung:

C	75,0—80,0%
H	5,5—4,5%
O	19,5—15,0%

Da der aus der Grube kommenden Kohle noch Mineralbestandteile wie Schiefer und Schwefelkies anhaften, muß sie von diesen befreit werden, bevor sie zur Verwendung gelangt; überdies muß sie für viele Zwecke in näherungsweise gleich große Stücke zerlegt werden. Man nennt diese Arbeiten die Aufbereitung der Kohle.

Zur Trennung von dem tauben Gestein, den „Bergeanteilen“, wird die entsprechend zerkleinerte Kohle einem Waschprozeß unterworfen, der die Trennung der Bestandteile nach dem spezifischen Gewichte gestattet; Bedingung ist, daß die zu waschende Kohle aus nahezu gleich großen Körnern besteht.

Die Zerkleinerung der Kohle geschieht in Brechapparaten und Mühlen ähnlich wie bei der Braunkohle; die Scheidung nach der Stückgröße erfolgt dann durch Vorrichtungen, deren Hauptbestandteile Siebe mit verschiedener Maschenweite sind.

Man erhält so Stückkohlen, Würfelkohlen, Nußkohlen und Staubkohlen.

Feinkohle, die zur direkten Feuerung und zur Verkokung ungeeignet ist, wird der Brikettierung unterworfen.

Die Steinkohle besitzt schwarze Farbe, dunklen, oft schwarzen Strich und fast immer muscheligen, unebenen Bruch. Der Gehalt an hygroskopischem Wasser ist vom Alter abhängig; ältere Sorten enthalten 2—4%, jüngere 4—12% Wasser. Der Aschengehalt schwankt ebenfalls innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Während gute Kohle nur etwa 1% Asche hinterläßt, kann der Aschengehalt in ungünstigen Fällen über 20% ansteigen; der Mittelwert beträgt 5—10%. Die Asche besteht aus Aluminiumoxyd, Eisenoxyd und Kieselsäure. Der Schwefelgehalt der Steinkohle (1—3%, auf aschenfreie Substanz bezogen) rührt der Hauptsache nach von Eisenkies her, der auch das Eisenoxyd der Asche wesentlich bedingt. Wichtig ist der Stickstoffgehalt der Kohle (0,2—2%, auf aschenfreie Substanz bezogen), da sie dadurch bei der Verkokung und Leuchtgaserzeugung die Gewinnung stickstoffhaltiger Düngermittel ermöglicht. Der Heizwert der Steinkohlen beträgt 6000 bis 7500 Kalorien (auf die reine Kohlensubstanz nach Abzug von Wasser und Asche berechnet, natürlich mehr. Vgl. die Tabelle Seite 21).

Viele Steinkohlensorten neigen, besonders im frisch geförderten Zustande zur Verwitterung und Selbstentzündung, worauf bei der Lagerung Rücksicht genommen werden muß.

Je kleiner die Kohlentelchen sind und je höher die Temperatur des Kohlenhaufens ist (z. B. im Sommer), um so leichter tritt Selbstentzündung ein. Lagerung in hohen Haufen ist jedenfalls zu vermeiden, auch ist bei Kohlen, die zur Selbstentzündung neigen, öfteres Umschaufeln zweckmäßig.

Steinkohlenbriketts. Während die Braunkohlenteilchen sich durch starken Druck allein zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen lassen, ist bei Steinkohle der Zusatz eines Bindemittels nötig. Gegenwärtig wird als Bindemittel zwischen 40—70° erweichendes Steinkohlenpech benützt, das in einer Menge von 6—8% mit der feinkörnigen oder staubförmigen Steinkohle in der Wärme innig gemischt wird. Die noch warme Masse wird dann durch einen Druck von 200—300 Atmosphären zu den Briketts geformt. Diese besitzen meistens prismatische Form, da sie sich dann unter bester Raumausnutzung aufstapeln lassen, doch sind auch eiförmige kleinere Briketts im Handel.

Briketts sollen so fest sein, daß der Abrieb und die abgebröckelte Menge bei gewöhnlicher Handhabung und Verfrachtung unter 5% liegt. Die Dichte soll größer sein als 1,19, der Aschengehalt kleiner als 10%. Der Wassergehalt darf 5% nicht übersteigen, auch dürfen sie nicht hygroskopisch sein oder beim Liegen im Wasser zerfallen. Der Heizwert unterscheidet sich nicht wesentlich von dem der Steinkohle.

f) Koks. Steinkohle ist in unverändertem Zustande für die Verwendung in Hüttenwerken meistens ungeeignet und es werden daher ungeheure Mengen, speziell für die Zwecke der Eisenindustrie verkocht. Zur Herstellung dieses **Hüttenkoks** sind nur besondere Kohlensorten (siehe Kokskohle!) verwendbar, die nicht nur poröse, sondern auch genügend feste Produkte liefern. Der Koks, der in den Leuchtgasfabriken als Nebenprodukt abfällt, ist beispielsweise für die Verwendung in Hochöfen zu brüchig. Zu Heizzwecken und dort wo die Festigkeit keine große Rolle spielt, ist auch solcher Koks geeignet. Gute Kokskohlen erweichen beim Erhitzen und bilden eine zusammenhängende breiige Masse, den Kokskuchen, der im Ofen von selbst die richtige Festigkeit annimmt. Minder gute Kokskohlen müssen durch Stampfen im Ofen auf ein geringeres Volumen zusammengepreßt werden, um genügend festen Koks zu liefern.

Die für die Verkokung bestimmte Steinkohle wird zerkleinert (auf 8 mm Korngröße, der teilweise Feinkohle von 3 mm Korngröße beigemischt wird) und durch Waschen von der Hauptmenge der Aschen-

bestandteile befreit; sie gelangt mit einem Wassergehalt von 5—10% in den Koksofen.

Die Koksöfen sind gegenwärtig fast immer auf die Gewinnung der wertvollen Nebenprodukte eingerichtet, die den aus den Destillationskammern entweichenden Gasen und Dämpfen teils durch Kondensation, teils durch Waschen mit Lösungsmitteln entzogen werden.

Von diesen Nebenprodukten sind der Teer, das Ammoniak und das Benzol die wichtigsten.

Überdies liefern die Koksöfen große Mengen von Gas, das sowohl zur Beleuchtung als auch zu motorischen Zwecken verwendet wird. Die Fortschritte auf dem Gebiete der Verkokung der Steinkohle zeigt deutlich folgende Übersicht:

Ein alter Bienenkorbofen lieferte aus 100 t Rohkohle 65 t Koks.

Ein moderner Nebenproduktkoksofen gibt aus 100 t Kohle: 75 t Koks, 2,5 t Teer, 970 kg Ammoniumsulfat für Düngezwecke, 450 kg Rohbenzol und 13 500 P.S. Gaskraftstunden.

Der Koks bildet hellgraue bis silberglänzende Stücke von porösem Aussehen und geringer Zerreiblichkeit.

Hochofenkoks hat folgende Zusammensetzung (auf wasser- und aschenfreie Substanz bezogen):

C	94—97%
H	0,5—1,2%
O	1—2%
N	0,6—0,8%
S	0,8—1,5 %

Überdies enthält er 2—3% Wasser und höchstens 9% Asche.

Der Heizwert beträgt 7000 Kalorien und darüber (siehe auch die Tabelle auf Seite 21). Dichter Koks hat einen Porenraum von 26%, poröser von 50—60%. Die scheinbare Dichte beträgt 0,84—0,96, die wirkliche (nach Abzug der Poren) 1,2—2,0. 1 m³ Koks wiegt zwischen 400 und 450 kg. Die Druckfestigkeit beträgt 100—180 kg auf 1 cm².

Der Koks ist schwer entzündlich (die Entzündungstemperatur liegt bei etwa 700° C) und er brennt nur bei gutem Luftzutritt weiter, wobei sich eine schwache blaue Flamme aus brennendem Kohlenoxyd bildet. Bei entsprechender Luftzufuhr gestattet er die Erzielung hoher Temperaturen. Je dichter der Koks ist, eine desto höhere Temperatur entwickelt er bei der Verbrennung und es wird daher für Kupolöfen der Gießereien eigener Gießereikoks erzeugt; dieser wird bei hoher Temperatur hergestellt und ist daher vollkommen entgast und dichter. Für den Hochofenbetrieb wäre der Gießereikoks zu schwer verbrennlich.

Im Jahre 1927 wurden in Deutschland 32 266 000 t, in den Vereinigten Staaten von Nordamerika 6 354 000 t (gegen 11 330 000 t im Jahre 1926!) Koks erzeugt.

2. Flüssige Brennstoffe.

Flüssige Brennstoffe gelangen in immer steigendem Maße sowohl als Heizmaterial an Stelle von Steinkohle als auch zur Energieerzeugung in Verbrennungs- oder Verpuffungsmotoren zur Verwendung.

Die Vorteile, die sie bieten, sind mannigfaltiger Art.

Bei Verwendung als Brennmaterial (Ölfeuerung) kommt vor allem ihr höherer Heizwert, der Mangel an Aschenbestandteilen und der einfachere Bau der Heizvorrichtungen in Betracht. Ferner kann die Verbrennung so geleitet werden, daß sie bei selbst nur geringem Luftüberschuß ohne Rauchentwicklung stattfindet. In manchen Fällen, z. B. für die Heizung der Kessel auf Dampfschiffen ist überdies die geringere Raumbeanspruchung sehr vorteilhaft.

Die Verbrennung flüssiger Brennstoffe kann ferner auch so durchgeführt werden, daß ohne das Zwischenglied einer Dampfmaschine Arbeit geleistet wird.

In den Verbrennungsmotoren (Dieselmotor) geschieht dies in der Weise, daß die fein zerstäubte Flüssigkeit durch komprimierte und dadurch erhitzte Luft in einem Arbeitszylinder zur Verbrennung gebracht wird, wobei die heißen Gase durch ihre Ausdehnung die Arbeit leisten.

In den Verpuffungsmotoren wird ein Gemisch von Luft und Brennstoffdampf durch eine Zündflamme zur Explosion gebracht, so daß ein ähnlicher Prozeß wie bei den Gasmotoren die Grundlage der Arbeitsleistung bildet.

Bevor auf die Besprechung der einzelnen, als Brennstoffe in Betracht kommenden Flüssigkeiten eingegangen wird, sollen noch die wichtigsten Methoden ihrer Untersuchung, beziehungsweise ihrer technischen Bewertung eine kurze Besprechung finden.

a) Untersuchungsmethoden flüssiger Brennstoffe.

a. Bestimmung der Dichte (des spezifischen Gewichtes).

Falls nur kleine Mengen Flüssigkeit zur Verfügung stehen, oder wenn große Genauigkeit gefordert wird, geschieht die Dichtebestimmung mittels des Pyknometers.

Es ist dies ein kleines, etwa 10—20 cm³ fassendes Glasfläschchen (Fig. 22), das mit einem Thermometer und einem seitlichen, durch eine Glaskappe verschließbaren Ansatzrohr versehen ist. Man wägt zuerst das leere Gefäß auf einer genauen Waage ab und bestimmt hierauf das Gewicht g_1 des mit Wasser gefüllten und (nach dem Trocknen) das Gewicht g_2 des mit dem flüssigen Brennstoff gefüllten Pyknometers, wobei darauf zu achten ist, daß das seitliche Ansatzrohr ganz mit Flüssigkeit gefüllt ist (etwa aus dem Rohre austretende Flüssigkeit ist durch sorgfältiges Abwischen zu entfernen und hierauf die Glaskappe aufzusetzen).

Ist a das Gewicht des leeren Pyknometers, so ist die Dichte:

$$d = \frac{g_2 - a}{g_1 - a}.$$



Fig. 22.
Pykno-
meter.

Die Dichteangaben beziehen sich auf 15° C, man muß demnach, wenn die Bestimmung bei einer anderen Temperatur vorgenommen wird, eine Korrektur anbringen, die je nach der Natur der Flüssigkeit verschieden ist. Für die hauptsächlich in Betracht kommenden Flüssigkeiten sind besondere Tabellen vorhanden. Liegt die Meßtemperatur oberhalb 15° C, so wird die Korrektur addiert, im entgegengesetzten Falle subtrahiert. Arbeitet man immer bei genau 15° C, so kann das Wassergewicht des Pyknometers ein für allemal festgestellt werden.

Einfacher ist die Bestimmung der Dichte mittels des *Aräometers*. Es kommen hierbei eigentliche *Densimeter*, aber auch *Aräometer* mit *empirischer Skala* (z. B. der *Beaumé-Skala*) in Betracht. Zur Erzielung größerer Genauigkeit sind für die verschiedenen Dichteintervalle verschiedene Instrumente, die nur je einen Teil der Skala umfassen, zu benützen. Die Gefäße, in die das Aräometer eingesenkt wird, müssen genügend weit sein, um freies Eintauchen (ohne Berührung der Wand) zu ermöglichen. Beim Ablesen ist jener Punkt der Skala zu wählen, der von der Verlängerung des horizontalen Teiles der Flüssigkeitsoberfläche getroffen wird. Ist die Flüssigkeit nicht hell genug, um diese Stelle beobachten zu können, so wird beim oberen Rande des das Aräometerrohr berührenden Flüssigkeitswulstes abgelesen; in diesem Falle ist eine kleine Korrektur von etwa + 0,001 anzubringen. Zur Umrechnung der häufig angewendeten *Beaumé-Grade* auf die Dichten kann folgende Tabelle dienen.

Beaumé °	Dichte	Beaumé °	Dichte	Beaumé °	Dichte	Beaumé °	Dichte
10	1,0000	27	0,8917	43	0,8092	59	0,7407
11	0,9929	28	0,8860	44	0,8045	60	0,7368
12	0,9859	29	0,8805	45	0,8000	61	0,7329
13	0,9790	30	0,8750	46	0,7954	62	0,7290
14	0,9722	31	0,8695	47	0,7909	63	0,7253
15	0,9655	32	0,8641	48	0,7865	64	0,7216
16	0,9589	33	0,8588	49	0,7821	65	0,7179
17	0,9523	34	0,8536	50	0,7777	66	0,7142
18	0,9459	35	0,8484	51	0,7734	67	0,7106
19	0,9395	36	0,8433	52	0,7692	68	0,7070
20	0,9333	37	0,8383	53	0,7650	69	0,7035
21	0,9271	38	0,8333	54	0,7608	70	0,7000
22	0,9210	39	0,8284	55	0,7567	75	0,6829
23	0,9150	40	0,8235	56	0,7526	80	0,6666
24	0,9090	41	0,8187	57	0,7486	85	0,6511
25	0,9032	42	0,8139	58	0,7446	90	0,6363
26	0,8974						

β. Bestimmung des Erstarrungspunktes.

Da die in Betracht kommenden Flüssigkeiten in der Regel keine einheitlichen Stoffe, sondern Mischungen sind, besitzen sie keinen scharfen Erstarrungspunkt, sondern gehen allmählich von dem flüssigen in den festen Aggregatzustand über. Bei Mineralölen wird das Erstarren auch von dem Gehalt an Paraffin beeinflusst. Wasserhältige Öle müssen vor der Bestimmung des Erstarrungspunktes vom Wasser befreit werden, um richtige Werte zu liefern.

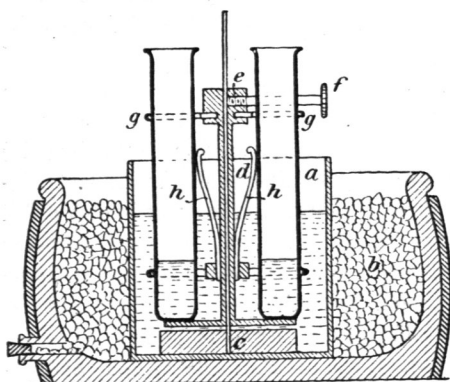


Fig. 23. Apparat zur Prüfung des Verhaltens von flüssigen Brennstoffen oder Schmiermitteln in der Kälte. a) Gefäß mit der Salzlösung. b) Kältemischung.

Von großem Einflusse auf die Resultate ist die Abkühlungszeit, weshalb man bei allen Untersuchungen möglichst gleich lange, etwa eine Stunde abkühlen lassen soll, bevor man die endgültige Prüfung vornimmt. Eine Ausnahme ist nur bei solchen Flüssigkeiten zu machen, die einen scharfen Erstarrungspunkt zeigen.

Bevor man zur eigentlichen Bestimmung schreitet, stellt man in einem Vorversuche die beiläufige Erstarrungstemperatur fest. Es geschieht dies in der Weise, daß man die Flüssigkeit in eine Proberöhre

füllt, ein Thermometer einsenkt und durch eine Kältemischung solange abkühlt, bis beim Neigen des Proberohres das Festwerden zu bemerken ist. Man kühlt nun in einem größeren Gefäße (Fig. 23) eine Salzlösung von bekanntem Gefrierpunkte auf die so gefundene Temperatur ab und läßt eine mit der zu prüfenden Flüssigkeit einige Zentimeter hoch gefüllte Proberöhre eine Stunde ruhig darin stehen. Ist nach dieser Zeit die Erstarrung so weit vor sich gegangen, daß ein eingetauchter Glasstab so fest haftet, daß man die Röhre samt Inhalt mit ihm heben kann, so heißt die Flüssigkeit bei dieser Temperatur dicksalbig, ist dies nicht der Fall, dünnsalbig.

Geeignete Salzlösungen stellt man durch Auflösen von Kochsalz, Salpeter oder Salmiak oder Mischungen dieser Salze in Wasser her. Als Kältemischung genügt fast immer eine Mischung von zwei Teilen Eis mit einem Teil Kochsalz, die eine Temperatur von -20°C erreichen läßt.

γ. Siedeanalyse.

Für den Siedepunkt gilt ähnliches wie für den Erstarrungspunkt. Nur reine Stoffe haben einen konstanten Siedepunkt, bei Gemischen findet ein allmähliches Ansteigen der Siedetemperatur statt. Immerhin ist es wertvoll festzustellen, nicht nur innerhalb welcher Grenzen die Flüssigkeit siedet, sondern auch wieviel innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen überdestilliert. Die zu dieser sogenannten Siedeanalyse benützte Methode richtet sich nach der Art der in Betracht kommenden Flüssigkeit. Im nachstehenden soll nur für Erdöl, beziehungsweise aus ihm hergestellte Produkte und für Teer eine nähere Beschreibung der gebräuchlichen Apparate gegeben werden.

Zur Siedeanalyse von Erdölfabrikaten ist der Apparat von Ubbelohde empfehlenswert (Fig. 24).

100 cm^3 (bei höher siedenden Produkten 80 cm^3) der zu prüfenden Flüssigkeit werden in einem sogenannten Englerkolben (aus Fig. 25 ersichtlich) der fraktionierten Destillation unterworfen, die so zu leiten ist, daß in der Sekunde 2 Tropfen vom Kühlerende abfallen. Die vom Siedebeginn ¹⁾ bis 150° , ferner die von 150 — 200° , von 200 — 250° , von 250 — 275° und von 275 — 300° übergehenden Anteile werden in getrennten Vorlagen aufgefangen, die auf einem Gestell drehbar angebracht sind.

Der Destillationskolben befindet sich in einer besonderen Heizvorrichtung mit regulierbarem Bunsenbrenner nach Follis.

¹⁾ Als solcher gilt die Temperatur, bei der der erste Tropfen in die Vorlage fällt.

Wasserhaltige Flüssigkeiten sind vor der Destillation zu trocknen.
Die Destillation von Steinkohlenteer macht insoferne Schwierigkeiten,

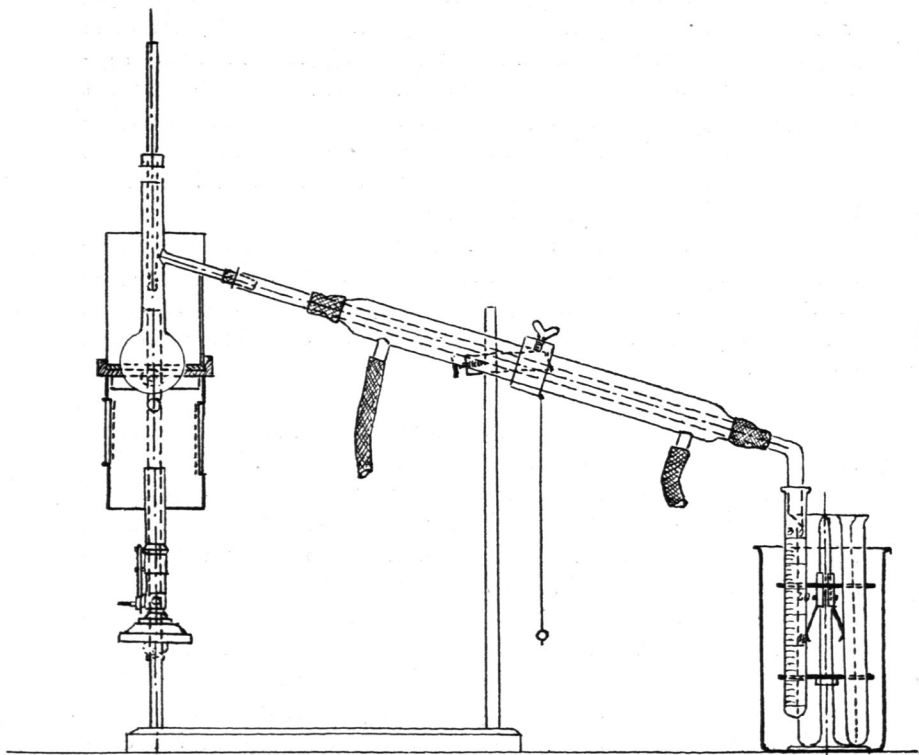


Fig. 24. Apparat zur Siedeanalyse nach Engler-Ubbelohde.

als er fast immer wasserhältig ist, was bei gewöhnlichem Erhitzen zum Stoßen, eventuell sogar zum Übersäumen Veranlassung gibt. Der Destillationskolben muß daher, solange nicht alles Wasser übergegangen ist, sehr vorsichtig und möglichst nur von der Seite erhitzt werden. Zweckmäßiger und einfacher ist es, zur Destillation ein zylindrisches Kupfergefäß von etwa 1 l Inhalt zu benutzen, das mit einem flach gewölbten Deckel versehen ist, der einen Aufsatz mit Thermometer und Ableitungsrohr besitzt, wie dies bei dem von Senger angegebenen Apparat (Fig. 26) der Fall ist. Zur Heizung des Gefäßes dient sowohl ein Bunsenbrenner als auch ein mit feinen Löchern versehenes Gasrohr g, das den oberen Teil des Destillationsgefäßes zu erhitzen gestattet. Nachdem durch Erhitzen von oben das Wasser aus-

getrieben ist, wird wie gewöhnlich mittels des untergestellten Bunsenbrenners die Destillation zu Ende geführt.

Zu beachten ist, daß der Teer Naphthalin enthält, was eine Verstopfung des Kühlrohrs herbeiführen kann. Es muß daher, sobald das Naphthalin sich im Kühler zu zeigen beginnt, mit der Kühlung aufgehört werden. Sollte sich das Kühlrohr trotzdem verstopfen, so muß durch geeignetes Erwärmen des Destillationsrohres das Naphthalin geschmolzen werden. Bei der Destillation von Teer, die mit gleicher Geschwindigkeit wie die der Erdölprodukte erfolgen soll, werden folgende Fraktionen aufgefangen:

Leichtöl bis 170°C , Mittelöl $170\text{--}230^{\circ}$, Schweröl $230\text{--}270^{\circ}$, Anthrazenöl $270\text{--}320^{\circ}$.

Zur Destillation von Benzol oder von Teerölen sind ebenfalls eigene Apparate konstruiert worden, die durch Übereinkommen

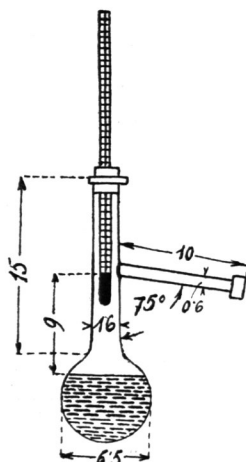


Fig. 25. Englerkolben.

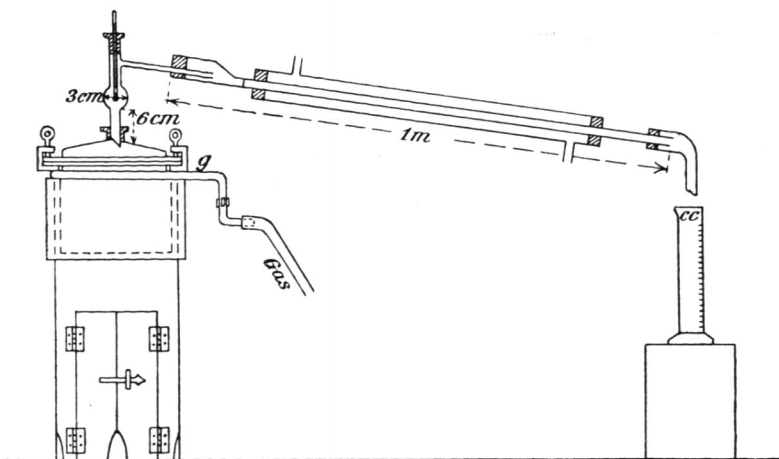


Fig. 26. Apparat von Senger zur Teerdestillation.

bestimmte Abmessungen besitzen. Fig. 27 zeigt einen solchen Apparat; der Destillationskolben ist der Sicherheit halber aus Kupfer verfertigt.

δ. Bestimmung des Flammpunktes.

Unter dem Flammpunkte (Entflammungspunkt) versteht man jene Temperatur, bei der eine brennbare Flüssigkeit so viel Dämpfe

abgibt, daß bei Annäherung einer Flamme Entzündung des gebildeten Luft-Dampfgemisches eintritt. Die hierbei entstehende blaue Flamme

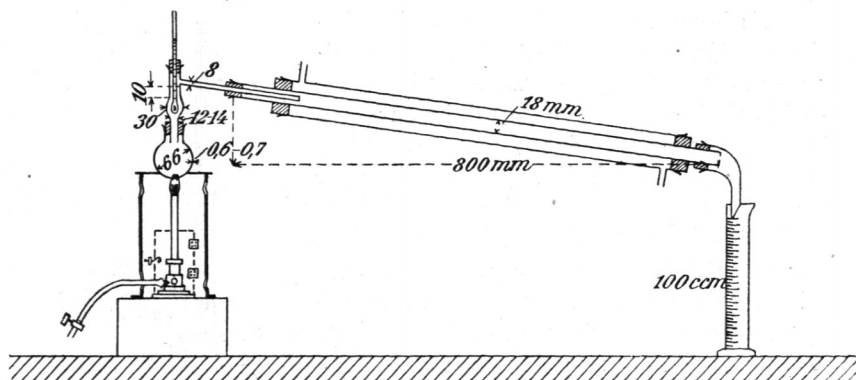


Fig. 27. Apparat zur Destillation von Benzol.

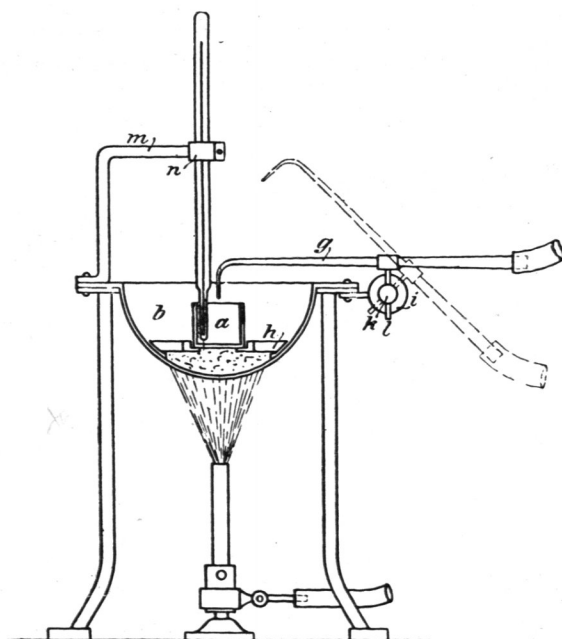


Fig. 28. Apparat von Marcusson zur Flammpunktbestimmung im offenen Tiegel. a) Tiegel. g) Zündrohr.

erlischt aber sofort wieder, und erst nach einiger Zeit hat sich wieder genügend Dampf entwickelt, um neuerliche Entflammung zu ermög-

lichen. Wird das Erhitzen über den Flammpunkt hinaus fortgesetzt, so wird schließlich eine Temperatur erreicht, bei der so reichlich Dämpfe auftreten, daß kein Verlöschen mehr stattfindet, sondern die Verbrennung ununterbrochen weitergeht; man nennt diese Temperatur den **Z ü n d p u n k t** oder **Brennpunkt**.

Am einfachsten wird die annähernde Bestimmung des Flammpunktes auf folgende Weise durchgeführt:

In einem zylindrischen Porzellantiegel (Fig. 28) von 4 cm Höhe und 4 cm Durchmesser wird die zu prüfende Flüssigkeit 3 cm hoch eingefüllt. Der Tiegel steht in einem halbkugeligem Blechgefäß von 18 cm Durchmesser, das eine $1\frac{1}{2}$ cm hohe Sandschicht enthält (der Tiegel muß dabei auf dem Sande stehen).

Nachdem noch ein Thermometer in die Flüssigkeit eingetaucht worden ist, wird mit dem Erhitzen begonnen, wobei Sorge zu tragen ist, daß die Temperatur nur langsam steigt (anfangs $4-6^{\circ}$, gegen Ende des Versuches $3-4^{\circ}$ in 1 Minute).

Nähert sich die Temperatur dem Flammpunkte, was man am besten durch einen Vorversuch festgestellt hat, so führt man in kurzen Zwischenräumen ein etwa 1 cm langes Flämmchen an die Flüssigkeitsoberfläche auf 2—3 mm heran; das Auftreten einer blauen, rasch verlöschenden Flamme zeigt den Flammpunkt an.

Diese Methode gibt nicht immer genaue Resultate, da es schwer zu vermeiden ist, daß durch eventuellen Luftzug brennbare Dämpfe entführt werden. Für amtliche Untersuchungen sind daher geschlossene Apparate in Gebrauch, die übrigens auch genau vorgeschriebene Abmessungen haben müssen, wenn vergleichbare Resultate erzielt werden sollen. Nur für wasserhaltige Flüssigkeiten ist die Prüfung im offenen Tiegel zweckmäßiger, da in geschlossenen Apparaten der ent-

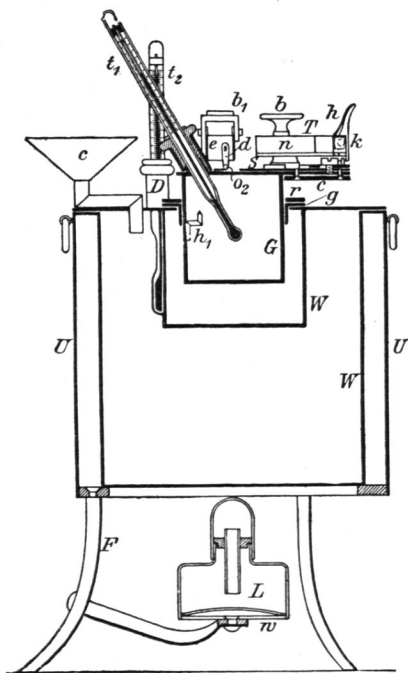


Fig. 29. Abelscher Apparat zur Flammpunktbestimmung.

werden sollen. Nur für wasserhaltige Flüssigkeiten ist die Prüfung im offenen Tiegel zweckmäßiger, da in geschlossenen Apparaten der ent-

wickelte Wasserdampf stört, indem er das Zündflämmchen zum Verlöschen bringen kann.

Für Flammpunkte unter 70°C wird der Abelsche Prober, für darüberliegende Flammpunkte der Apparat von Pensky-Martens benützt.

Der Abelsche Apparat besitzt folgende, aus Fig. 29 ersichtliche Anordnung.

Im Metallgefäße W befindet sich Wasser von 55°C , dessen Temperatur durch eine untergestellte Flamme während des Versuches kon-

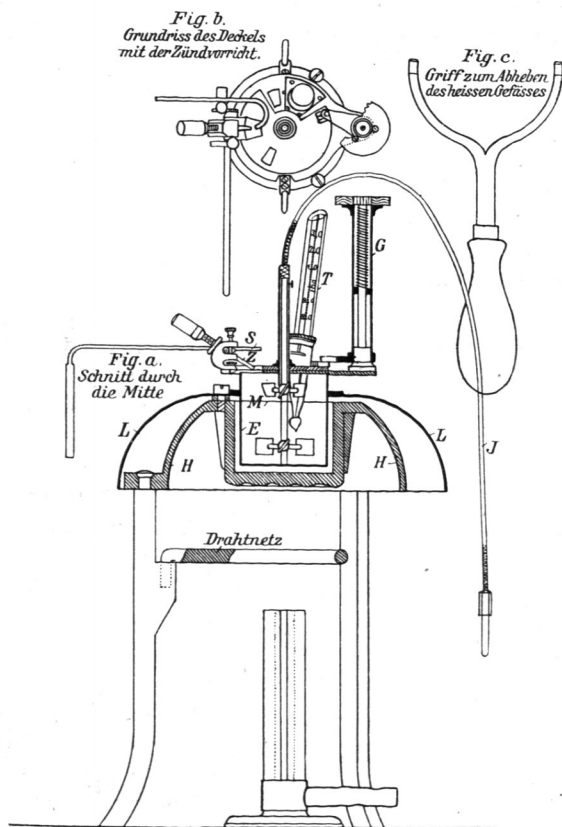


Fig. 30 a. Pensky-Martensscher Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes (Durchschnitt).

stant erhalten wird. Zwischen W und G ist nur Luft enthalten, während die zu prüfende Flüssigkeit in dem mit einem Deckel versehenen Gefäß

G bis zur Marke h_1 eingefüllt ist. Da die Wärmeübertragung also durch die Luft erfolgt, ist ein langsames Erwärmen der in G befindlichen Probe sichergestellt. Sowohl in W als auch in G sind Thermometer angebracht. Das Eintauchen des durch eine auf dem Deckel von G befindlichen Vergleichsperle auf die richtige Größe gebrachten Zündflämmchens erfolgt durch ein Triebwerk T und zwar jedesmal, wenn die Temperatur in G um $\frac{1}{2}^{\circ}$ gestiegen ist. Als Flammpunkt gilt auch hier wieder die Temperatur, bei der zum ersten Male eine blaue Flamme über der Flüssigkeitsoberfläche sichtbar wird; meist tritt dabei Erlöschen des Zündflämmchens ein.

Liegt der Flammpunkt unter 21° C, so muß der Zwischenraum von W und G mit einer Kühlflüssigkeit, bei Flammpunkten über 50° mit höher siedendem Mineralöl gefüllt werden; in letzterem Falle wird das Wasser in W zirka 15° höher erwärmt als dem im Vorversuche bestimmten beiläufigen Flammpunkt entspricht.

Der Pensky-Martenssche Apparat (Fig. 30) für Flüssigkeiten mit höherem Flammpunkte unterscheidet sich vorwiegend durch die Art der Erwärmung der zu prüfenden Flüssigkeit, die hier durch eine freie Flamme erfolgt; ferner ist hier mit Rücksicht auf diese Art der Erhitzung ein Rührwerk angebracht, das eine lokale Überhitzung verhindert.

Nachdem das Gefäß E mit der zu prüfenden Flüssigkeit bis zur Marke M gefüllt ist, wird es in ein zweites Gefäß aus Gußeisen gebracht, der Deckel aufgesetzt und das Rührwerk bei gleichzeitigem Anzünden des Brenners betätigt. Die Flamme wird so reguliert, daß die Temperatur in der

Minute um $4-6^{\circ}$ steigt. Jedesmal, wenn die Temperatur um 2° gestiegen ist, wird das Zündflämmchen Z mittels einer besonderen Vorrichtung (durch G angedeutet) ein-

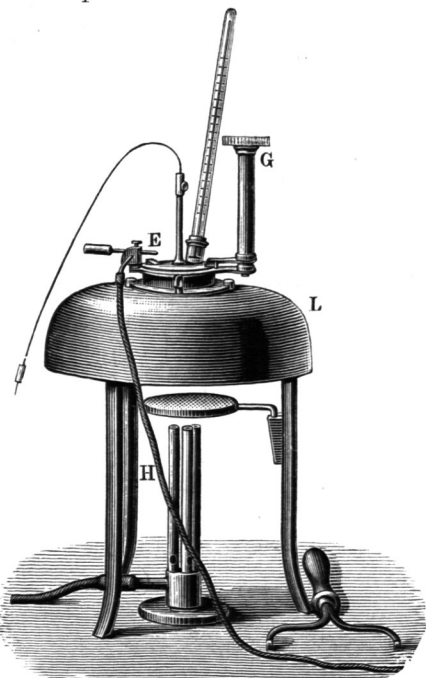


Fig. 30 b. Pensky-Martensscher Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes.

getaucht; zeigt Vergrößerung des Flämmchens die Annäherung an den Flampunkt an, so erfolgt das Eintauchen nach jedem Grad Temperaturanstieg. Die Erkennung des Flampunktes erfolgt wie früher.

ε. Bestimmung der Viskosität (Zähflüssigkeit).

Nicht nur bei flüssigen Brennstoffen, sondern auch bei Schmierölen spielt die innere Reibung oder spezifische Zähigkeit eine große Rolle. Man bestimmt sie durch Messung der Zeit, die eine bestimmte Flüssigkeitsmenge zum Ausfluß aus einem engen Röhrchen benötigt. Da die für wissenschaftliche Untersuchungen dienenden Apparate zu kompliziert sind, bedient man sich in der Technik einfacherer Vorrichtungen, die allerdings nur bei gleicher Bauart und gleichartiger Durchführung der Versuche vergleichbare Werte ergeben. Man nennt diese Instrumente Viskosimeter; das gebräuchlichste von ihnen ist das Englersche (Fig. 31 I und II), dessen Abmessungen durch Vereinbarung genau festgelegt sind.

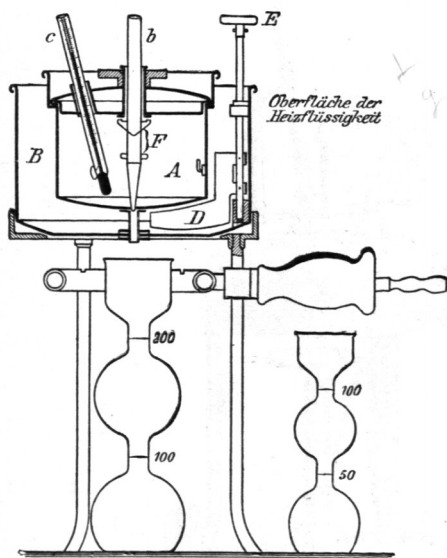


Fig. 31 I. Englersches Viskosimeter (Durchschnitt).

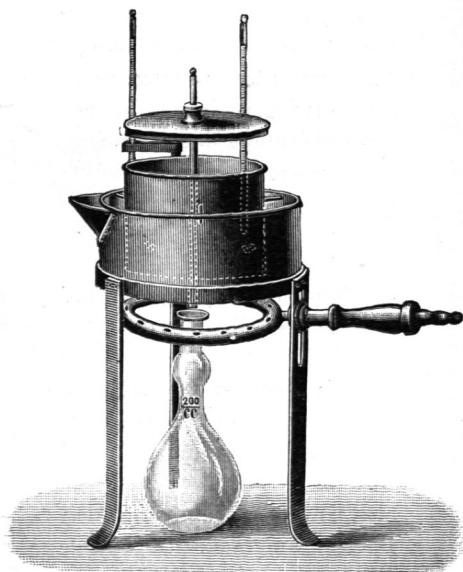


Fig. 31 II. Englersches Viskosimeter.

Es besteht aus einem vergoldeten Messinggefäß A, mit gegen Wärmeverluste schützenden Deckel, das in einem zweiten, weiteren Gefäße B untergebracht ist. An der tiefsten Stelle von A ist ein 20 mm langes, schwach konisches, am besten aus Platin hergestelltes Ausfluß-

röhrchen von 2,9 mm oberem und 2,8 mm unterem Durchmesser. Zum Verschließen des Röhrchens dient der Holzstift b. In A befinden sich, gleich weit vom Boden entfernt 3 Marken, die nicht nur ein Abmessen der Flüssigkeitsmengen, sondern auch die horizontale Einstellung ermöglichen.

Um Viskositätsbestimmungen bei verschiedenen Temperaturen durchführen zu können, wird in B eine Heizflüssigkeit, gewöhnlich ein Mineralöl eingefüllt, die durch einen verstellbaren Ringbrenner erhitzt wird; zur Ablesung der Temperatur dient das Thermometer c. In B befindet sich überdies eine Rührvorrichtung DE zum besseren Temperatureausgleich, während die Flüssigkeit in A durch Drehen des Deckels mit dem Thermometer gerührt werden kann.

Zur Durchführung der Bestimmung bringt man in das trockene und gereinigte Innengefäß soviel von der zu prüfenden, eventuell filtrierten Flüssigkeit, daß nach Einstellung auf die gewünschte Temperatur die drei Marken eben bedeckt sind. Nun zieht man den Stift b heraus und ermittelt durch eine genaue Uhr die Zeit, die 200 cm³ Flüssigkeit zum Ausfließen benötigen.

Werden weniger als 200 cm³ ausfließen gelassen, so muß eine Umrechnung vorgenommen werden.

Im Eichscheine, der den Instrumenten beigegeben ist, findet sich die Ausflußzeit von 200 cm³ Wasser verzeichnet. Dividiert man die gefundene Ausflußzeit durch diese Zahl, so erhält man die Viskosität in sogenannten Englergraden.

Man mißt die Viskosität bei 20° C und bei 50° C, bei Betriebsölen für Dieselmotoren zweckmäßig auch bei 80° C. Zur Messung der Viskosität von Petroleum ist das Englersche Instrument von Ubbelohde etwas abgeändert worden.

5. Bestimmung des Wassergehaltes.

Wird wasserhältiges Heizöl (dasselbe gilt auch für Schmiermittel) mit Xylol gemischt der Destillation unterworfen, so geht das Wasser mit den Xyloidämpfen über; da Xylol und Wasser nur in äußerst geringem Maße ineinander löslich sind, so findet in der Vorlage die Trennung der beiden Flüssigkeiten statt. Bei Anwendung entsprechend geteilter Vorlagen läßt sich aus dem zur Untersuchung verwendeten Volumen des Heizöls (100—200 cm³) der Prozentgehalt an Wasser leicht berechnen. Bei sehr geringem Wassergehalt muß auf die Löslichkeit des Xylols in Wasser Rücksicht genommen und deshalb Xylol benützt werden, das vorher durch Schütteln mit Wasser gesättigt wurde.

Einen zur Durchführung der Wasserbestimmung geeigneten Apparat zeigt Fig. 32.

η. Bestimmung des Schmutzgehaltes.

Um in dunkel gefärbten Heizölen oder Schmiermitteln suspendierte Verunreinigungen zu erkennen, muß die Flüssigkeit zuerst soweit in

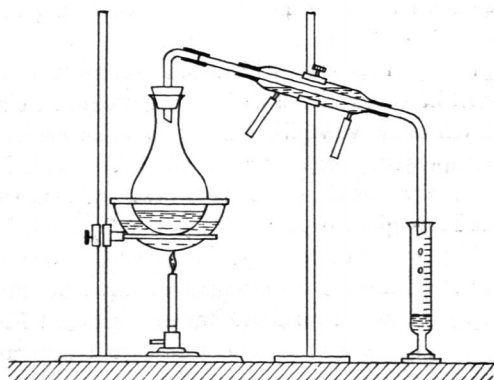


Fig. 32. Apparat von Hofmann-Marcusson zur Wasserbestimmung.

Lösung gebracht werden, daß eine Trennung von den festen Teilchen durch Filtration möglich wird. Als geeignete Lösungsmittel kommen Benzin, Benzol und für Teeröle besonders Xylol in Betracht.

Eine gewogene Menge (5–10 g) wird in 100 bis 200 cm³ Lösungsmittel gelöst, dann durch ein bei 105° getrocknetes

Filter filtriert, der Rückstand mit dem gleichen Lösungsmittel gut ausgewaschen und das Filter hierauf abermals bei 105° getrocknet und gewogen.

θ. Bestimmung des Raffinationsgrades.

Diese Bestimmung ist vor allem für Brennstoffe wichtig, die in Verpuffungsmotoren Anwendung finden sollen (Benzine und Benzol). Sie geschieht durch Schütteln mit dem gleichen Volumen konzentrierter reiner Schwefelsäure.

Mangelhafte Raffination gibt sich durch Dunkelfärbung der Schwefelsäure zu erkennen; bei Benzol kann Gelbfärbung geduldet werden.

κ. Bestimmung des Aschengehaltes.

Die Feststellung der Aschenmenge erfolgt durch Verbrennung einer gewogenen Menge Flüssigkeit in einem gewogenen Porzellan- oder Platintiegel und Glühen des Rückstandes bis zu konstantem Gewicht.

b) Die wichtigsten flüssigen Brennstoffe.

Erdöl und daraus hergestellte Produkte.

Erdöl findet sich über die ganze Erde verbreitet, stellenweise in ungeheuren Mengen angehäuft vor.

Europa besitzt die reichsten Erdölvorkommen in Rußland, insbesondere im Gebiet des Kaukasus (Baku, Grosny). Reiche Erdölgebiete liegen auch längs der Karpathen in Rumänien und dem ehemaligen Galizien; die hannoveranischen und die Elsässer Erdöllager sind wenig ertragreich.

Über ungemein ausgedehnte und ergiebige Vorkommen verfügt Amerika. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika zählt man fünf große Ölfelder: 1. Das appalachische Feld, von dem ein großer Teil in Pennsylvanien liegt. 2. Das Lima, Indiana- und Illinoisfeld. 3. Das Golfeld in Texas und Louisiana am Meerbusen von Mexiko. 4. Das Midcontinentfeld in Missouri, Kansas und Oklahoma und 5. Das kalifornische Feld (Los Angeles, Bakersfield, Coalinga). Die beiden zuletzt genannten sind derzeit die wichtigsten. Auch in Kanada, Mexiko, auf den westindischen Inseln und in vielen Staaten Südamerikas sind bedeutende Erdölquellen erschlossen worden.

Während in Afrika nur in Ägypten größere Erdölmengen gefördert werden, weist Asien sehr viele wichtige Fundstätten auf. Von ihnen seien die auf den Sundainseln, in Hinterindien (Birma), Japan und die jetzt zu großer Bedeutung gelangten in Persien (Irak) und Mesopotamien genannt.

Nachstehende Tabelle zeigt die Erdölgewinnung in den verschiedenen Gebieten im Jahre 1927 in Millionen Hektolitern:

Vereinigte Staaten von Nordamerika . . .	1440
Mexiko	102
Peru	15,6
Venezuela	102
Argentinien	13,9
Trinidad	8,3
Columbien	23
Rußland	115
Rumänien	41
Polen	9,2
Deutschland	0,87
Frankreich	0,75
Persien	59
Niederländisch-Indien	34
Britisch-Indien	13
Sarawak	8
Japan und Formosa	2,7
Ägypten	2,1
Weltproduktion	1994

Das rohe Erdöl ist eine dunkel gefärbte, ölige Flüssigkeit, die meist auch gasförmige oder niedrig siedende Bestandteile enthält, die aus dem frisch geförderten Öl beim Stehen an der Luft entweichen. Lange Einwirkung von Luft kann Übergang des Erdöls in asphaltartige Massen herbeiführen.

Die Dichte liegt meist zwischen 0,703 und 0,970 und steigt nur ganz ausnahmsweise über 1.

Alle Erdöle bestehen im wesentlichen aus Gemischen von Kohlenwasserstoffen mit nur geringen Beimengungen von sauer-

stoff-, stickstoff- und schwefelhaltigen Verbindungen. Im allgemeinen können etwa 85—87% Kohlenstoff, 12—14% Wasserstoff, 0,5—1% Sauerstoff und weniger als 1% Stickstoff und Schwefel für die Zusammensetzung der rohen Erdöle angenommen werden. In manchen Sorten ist der Stickstoff- und Schwefelgehalt wesentlich höher, er kann 2% erreichen, ja in selteneren Fällen auch übertreffen. Besonders reich an Schwefelverbindungen sind manche amerikanische Roherdöle (Texasöle, mexikanische und kalifornische Öle).

Der Sauerstoffgehalt ist teilweise auf Phenole, teilweise auf Petrosäuren, die vorwiegend aus Naphthenkarbonsäuren bestehen, zurückzuführen; als stickstoffhaltige Stoffe sind basische Verbindungen, die sich von Pyridin und ähnlichen Basen ableiten, isoliert worden. Der Schwefel ist ebenfalls in organischen Verbindungen, zum Teil auch als Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff vorhanden.

Trotzdem die prozentischen Mengen von Kohlenstoff und Wasserstoff bei den verschiedenen Erdölsorten nicht sehr verschieden sind, weist die chemische Zusammensetzung der zugrunde liegenden Kohlenwasserstoffe doch große Unterschiede auf.

Man kann hierbei zwei Haupttypen unterscheiden:

1. Erdöle, die vorwiegend aus Kohlenwasserstoffen der Methanreihe¹⁾, sogenannten Alkanen von der Formel $C_n H_{2n+2}$ mit kettenartiger Bindung der Kohlenstoffatome bestehen. Hierher gehören vor allem die pennsylvanischen Erdöle.

2. Erdöle, deren Hauptbestandteile die Naphthene, Kohlenwasserstoffe mit ringförmiger Bindung der Kohlenstoffatome, von der Formel $C_n H_{2n}$ sind. Hauptvertreter dieser Gruppe sind die kaukasischen Erdöle.

Überdies sind in geringeren Mengen auch andere Kohlenwasserstoffe an der Zusammensetzung der Erdöle beteiligt.

Hierher gehören insbesondere folgende²⁾:

a) Olefine mit kettenartiger Bindung der Kohlenstoffatome, wobei 2 Kohlenstoffatome miteinander doppelt gebunden sind, von der Formel $C_n H_{2n}$.

b) Aromatische Kohlenwasserstoffe von der Formel $C_n H_{2n-6}$, die eine besondere Art ringförmiger Bindung der Kohlenstoffatome (Benzolring) aufweisen. Diese Verschiedenheit der Zusammensetzung der rohen Erdöle überträgt sich auf die daraus ge-

¹⁾ Auch Paraffinkohlenwasserstoffe oder kurz Paraffine genannt.

²⁾ Nur vereinzelt oder in ganz untergeordnetem Maße in Betracht kommende Kohlenwasserstoffe sind hier nicht berücksichtigt.

wonnenen Produkte, die daher bei ähnlichen Siedepunkten doch sehr verschiedene Eigenschaften zeigen können. Ein Teil der Erdöle (bei nordamerikanischen bis zu einem Drittel der Gesamtförderung) findet ohne weitere Reinigung oder Zerlegung in verschiedene Anteile direkt Verwendung, zum Teil als Brennstoff, zum Teil für Zwecke des Straßenbaues.

Rohöle, die als Brennstoff Verwendung finden sollen, müssen gewissen Bedingungen genügen.

Vor allem dürfen sie nicht künstlich durch Mischung von niedrig und hoch siedenden Anteilen der Erdöldestillation hergestellt werden. Ihre Dichte muß zwischen 0,85—0,96, der Flammpunkt über 60° liegen; der Wassergehalt muß kleiner als 2%, der Schwefelgehalt geringer als 1% sein. Nennenswerte Beimengungen von Mineralstoffen sind nicht gestattet. Bezüglich der Viskosität wird gefordert, daß auch Temperaturen nahe an 0° die Beweglichkeit des Öles nicht aufheben.

Da der Heizwert der meisten Rohöle zwischen 10 000—11 000 Kalorien pro 1 kg beträgt, werden 10 000 Kalorien als Mindestwert gefordert.

Wesentlich zweckmäßiger als die direkte Verfeuerung ist bei der überwiegenden Menge der Erdöle die Zerlegung in besondere Anteile durch fraktionierte Destillation. Die Art der Durchführung dieser fraktionierten Destillation richtet sich auch nach der Zusammensetzung des rohen Erdöls, ebenso wie die Art der dabei erhaltenen Produkte. Die Destillation kann sowohl in Einzelkesseln als auch kontinuierlich vorgenommen werden.

Bei der kontinuierlichen Destillation läßt man das vorgewärmte Erdöl Batterien von Kesseln nacheinander durchfließen und stellt durch entsprechendes Mischen der aus den einzelnen Kesseln erhaltenen Destillate bestimmte Produkte her. Aus den letzten Kesseln fließen pechartige Rückstände, „Goudron“ oder „Asphalt“ ab.

Die Hauptprodukte der fraktionierten Destillation der Rohöle sind:

1. Rohbenzin, 2. Leuchtpetroleum, 3. Rückstände, die entweder direkt als Heizöle dienen oder zur Herstellung von Schmierölen, Treibölen und Gasölen weiter verarbeitet werden.

Da der Bedarf an leichtflüchtigen Destillaten, im besonderen an Benzin, immer größer wird, trachtet man durch das Krackverfahren die Menge dieser Anteile künstlich zu erhöhen.

Beim Cracken wird die Destillation so geleitet, daß die Dämpfe längere Zeit mit den heißen Kesselwänden in Berührung bleiben, wobei die großen Moleküle in kleinere zerlegt werden. Außer durch Crackdestillation stellt man noch durch eine besondere Art von Destillation

unter hohem Druck aus hochsiedenden Erdölfraktionen wertvollere leichtflüchtige her. In Amerika werden auf diese Weise jährlich gegen 10 Millionen Tonnen Benzin erzeugt.

Nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die aus Rohölen verschiedener Herkunft (ohne Krackverfahren oder Hydrierung) erhältlichen Mengen der verschiedenen Fraktionen.

Rohöl aus	Benzin	Leuchtöl	Schmieröl	Paraffin
Pennsylvanien	12—15%	60—70%	10—20%	1,2%
Baku	2—10%	25—35%	50—60%	—
Galizien	5—25%	25—40%	15—30%	0—10%
Rumänien	10—20%	30—50%	20%	0—10%
Hannover (schweres)	1%	6%	30%	—

Bemerkt sei, daß die Ausbeuten an den einzelnen Anteilen sehr von der Art der Verarbeitung abhängen, so daß obenstehende Zahlen nur Durchschnittswerte darstellen.

Die bei der Destillation erhaltenen Fraktionen werden einer Reinigung auf chemischem Wege, die im wesentlichen in einer Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure und darauffolgendem Waschen mit Wasser und Natronlauge besteht, unterzogen.

a. Benzin. Die bei Temperaturen unter 150° C überdestillierenden Anteile des Erdöls bilden das Rohbenzin, das zunächst durch neuerliche Destillation in das niedriger siedende Leichtbenzin und das höher siedende Schwerbenzin zerlegt werden kann.

Nachdem dann eine chemische Reinigung mit konzentrierter Schwefelsäure stattgefunden hat, wird durch Destillation in sogenannten Kolonnenapparaten eine weitere Trennung in verschiedene Produkte vorgenommen. Man erhält dabei Petroleumäther, verschiedene Sorten Schwerbenzine, Waschbenzine (Ligroin) und Lackbenzine.

Für Personenautomobile und Flugzeuge kommen nur die Leichtbenzine, für Lastautomobile Schwerbenzine in Verwendung.

Die Benzinsorten führen verschiedene Handelsnamen, die zum Teil schon auf ihre Verwendbarkeit hinweisen, wie Autoluxusbenzin, Autobenzin, Fliegerbenzin, Motorenbenzin usw. Es ist auch vorgeschlagen worden, die Namengebung auf Grund der bis 100° C überdestillierenden prozentischen Mengen der Benzinsorte vorzunehmen, so daß also ein 70 proz. Motorenbenzin ein solches ist, von dem 70% bis 100° C überdestillieren.

Die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Benzine sind

in hohem Maße durch die chemische Zusammensetzung, also durch die Herkunft beeinflusst.

Amerikanische Benzine bestehen meist der Hauptsache nach aus Alkanen vom Pentan C_5H_{12} angefangen, während in den russischen und galizischen Benzinen Naphthene die Hauptbestandteile bilden. Die Naphthene haben nicht nur einen höheren Kohlenstoffgehalt als die Alkane, sondern bei gleichem Siedepunkt auch höhere Dichte.

Ferner ist bei gleichem Kohlenstoffgehalt der Siedepunkt verschieden, doch ist der Unterschied nicht sehr bedeutend.

Ein Vergleich zwischen Hexan C_6H_{14} und Zylohexan (Naphthen) C_6H_{12} möge das Gesagte noch besser veranschaulichen.

	Siedepunkt	Dichte	C-gehalt ¹⁾	H-gehalt
n-Hexan C_6H_{14}	69° C	0,68	83,7%	16,3%
Zylohexan C_6H_{12}	81°	0,78	85,7%	14,3%

Im allgemeinen kann für Leichtbenzine amerikanischen (pennsylvanischen) Ursprungs die Dichte mit 0,70, die Siedegrenzen zwischen 60—110°, für amerikanische Schwerbenzine die Dichte mit 0,73, die Siedegrenzen von 100—150° angenommen werden. Russische Benzine haben durchwegs eine höhere Dichte.

Da es für den Motorenbetrieb wichtig ist, daß die einzelnen Bestandteile des Benzins in ihrem Siedepunkte nicht zu sehr voneinander abweichen, ist für die Bewertung eines Motorbenzins das Verhalten bei der Destillation maßgebend. Die Dichtebestimmung hat schon deshalb geringeren Wert, weil nicht nur die Herkunft des Rohöls großen Einfluß hat, sondern auch durch entsprechende Mischung von Produkten höherer und niederer Dichte, aber stark verschiedenem Siedepunkte, ein Benzin von gewünschter Dichte hergestellt werden kann.

Um bei Dichtebestimmungen, die nicht bei der Normaltemperatur von 15° C durchgeführt werden, rasch die nötige Korrektur anbringen zu können, bedient man sich nachstehender Tabelle von Men-
delejeff.

d	Korrektur für 1° C bei:	
	pennsylvanischem Benzin	russischem Benzin
0,700—0,720	0,00082	0,00086
0,720—0,740	0,00081	0,00082
0,740—0,760	0,00080	0,00077
0,760—0,780	0,00079	0,00072
0,780—0,800	0,00078	0,00068

¹⁾ Für Autobenzine kann ein mittlerer Gehalt von 85% C und 15% H angenommen werden.

Der Heizwert der Benzine beträgt etwa 10 000 Kalorien, die theoretisch zur Verbrennung nötige Luftmenge etwa 11,5 m³ für 1 kg.

β. Petroleum (Leuchtöl). Während bis vor kurzer Zeit die das eigentliche Petroleum bildenden, zwischen 150—300° C übergehenden Anteile des Erdöls lediglich zur Beleuchtung dienten, werden jetzt große Mengen in Petroleumöfen zu Koch- und Heizzwecken verwendet. Das Petroleum, dessen Reinigung ebenfalls mit konzentrierter Schwefelsäure und darauffolgendes Auswaschen mit Wasser und Natronlauge vorgenommen wird, ist je nach Herkunft und Raffinationsgrad eine gelbliche oder auch nahezu wasserhelle, bläulich fluoreszierende Flüssigkeit. Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften sind wieder wesentlich von der Herkunft abhängig.

Amerikanisches Petroleum enthält 85—86% Kohlenstoff und 13,5 bis 14,0% Wasserstoff; seine Dichte beträgt 0,801—0,802, die Siedegrenzen liegen zwischen etwa 130° bis über 300° C.

Russisches Petroleum zeigt im Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt keine großen Unterschiede, hingegen ist seine Dichte größer (0,81—0,82) und seine Siedegrenzen liegen etwas näher beisammen (140°—300° C).

An der Luft verdickt sich Petroleum allmählich, was auf den Gehalt an ungesättigten Kohlenwasserstoffen zurückzuführen ist.

Als niederster Flammpunkt ist durch internationales Übereinkommen 21° C (im Abelschen Apparat) festgelegt; derzeit weisen aber alle Petroleumsorten höheren Flammpunkt auf, was schon mit Rücksicht auf den Wert des Benzins begreiflich ist.

Der Heizwert des Petroleums beträgt etwa 10 000 Kalorien, der theoretische Luftbedarf etwas über 11 m³ für 1 kg.

Mischungen von Petroleumdampf und Luft sind explosiv, besonders heftig ist die Explosion, wenn das theoretische Mischungsverhältnis, etwa 1 vol. Petroleumdampf auf 10 vol. Luft, vorhanden ist.

Während bei der Konstruktion von Petroleumlampen das Augenmerk darauf zu richten ist, daß freier, glühender Kohlenstoff in der Flamme enthalten ist, um das nötige Licht zu erzeugen, müssen Brenner für Heizzwecke eine möglichst vollkommene und vollständige Verbrennung erzielen lassen. Am geeignetsten für diesen Zweck sind die Vergaserbrenner, die eine Mischung von Petroleumdampf und Luft zur Verbrennung bringen. Für Heizpetroleum ist keine so sorgfältige Raffination nötig wie für Leuchtpetroleum. Für die Prüfung des Petroleums kommen außer der Flammpunktsbestimmung besonders die Siedeanalyse und die Bestimmung der Dichte in Betracht. Bei genauen Dichtebestimmungen muß wieder Rücksicht auf die Temperatur

genommen werden, was mittels nachstehender von M e n d e l e j e f f angegebener Tabelle geschieht.

Normaltemperatur 15° C.	
d	Korrektur für 1° C
0,780—0,800	0,000780
0,800—0,810	0,000770
0,810—0,820	0,000760
0,820—0,830	0,000750

γ . Gasöle, Treiböle. Die bei der fraktionierten Destillation der rohen Erdöle zwischen etwa 250—350° C übergehenden Flüssigkeiten werden gewöhnlich als Gas- oder Treiböle bezeichnet. Ihre Menge liegt je nach der Herkunft des rohen Erdöls zwischen 5—10%, ist also absolut genommen, immerhin sehr beträchtlich. Für Schmierzwecke sind diese Öle wegen ihrer geringen Viskosität ungeeignet, sie sind aber ausgezeichnete Treiböle für Motoren. Da beim Überhitzen ihrer Dämpfe sich reichlich Gase bilden, dienen sie als sogenannte Gasöle zur Erzeugung von Ölgas. Solches Ölgas wird, insbesondere gemischt mit Wassergas (ölkaburiertes Wassergas) zu Beleuchtungszwecken herangezogen.

Das Gasöl (Treiböl) wird ohne weitere Reinigung verwendet und besitzt daher auch dunkle Farbe mit grünlicher oder bläulicher Fluoreszenz (Grünöl, Blauöl). Seine Dichte beträgt 0,83—0,90 und hängt ebenso wie die übrigen physikalischen Eigenschaften von der Art des Rohöls ab, aus dem es gewonnen wurde.

Der Flammpunkt kann zwischen 50—100° liegen, als Heizwert kann etwa 10 000 Kalorien angenommen werden, bei einem Luftbedarf von rund 11 m³ für 1 kg.

Die aus dem Erdöl erhältlichen Schmieröle werden später besprochen werden.

Die Teere und die aus ihnen gewonnenen Produkte.

α . Steinkohlenteer. Die beim Erhitzen von Steinkohle unter Luftabschluß, der trockenen Destillation ¹⁾, erhaltenen schwarzen öligen Flüssigkeiten werden als Steinkohlenteer bezeichnet. Die Teere zeigen je nach der Art der Kohle und der Art der Durchführung der Erhitzung verschiedene Eigenschaften.

¹⁾ Statt trockener Destillation sollte eigentlich besser Zersetzungsdestillation gesagt werden.

Von großem Einflusse ist besonders die Höhe der Temperatur, bei der die trockene Destillation durchgeführt wird, sowie auch die Zeit, während welcher die Teerdämpfe der hohen Temperatur ausgesetzt sind.

Wird bei der Kohlendestillation eine Temperatur von höchstens 500° C eingehalten, so gewinnt man den Tieftemperaturteer, der gewöhnlich als *Urteer* bezeichnet wird.

Der in den Kokereien und Leuchtgasfabriken erzeugte Teer entsteht bei wesentlich höherer Temperatur und zeigt daher auch eine ganz andere Zusammensetzung und ganz andere Eigenschaften als der Urteer.

Steinkohlenurteer. Dieses Produkt wird durch Erhitzen von Kohle in Drehöfen, 20—30 m langen und 2,5 m weiten drehbaren Eisenrohren, erhalten. Die Beheizung der Drehöfen geschieht durch Gasfeuerung oder durch überhitzten Wasserdampf; auch heißes Generatorgas ist als Heizmittel vorgeschlagen worden.

Die bei der Urteergewinnung abfallenden Rückstände werden als *Halbkoks* bezeichnet.

Charakteristisch für den Urteer ist, daß aromatische Kohlenwasserstoffe nur in verschwindend kleiner Menge enthalten sind, insbesondere fehlen die in Kokerei- und Leuchtgasteer reichlich vorkommenden Kohlenwasserstoffe *Naphthalin* und *Anthrazen* gänzlich; hingegen sind *Phenole* in großer Menge vorhanden. Die Kohlenwasserstoffe des Urteers gehören zum Teil zur Gruppe der *Naphthene*, zum Teil zur Gruppe der Olefine und Paraffine, er erinnert demnach in seiner Zusammensetzung an die Erdöle.

Der Steinkohlenurteer ist bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, was durch den Mangel an festen Paraffinen und den Reichtum an flüssigen Phenolen zu erklären ist. Seine Dichte ist nahe an 1, der Zündpunkt in Luft liegt bei etwa 500° C.

Die Verarbeitung des Urteers kann sowohl durch Destillation mit oder ohne Anwendung von Vakuum oder durch Lösungsmittel geschehen. Über die Produkte, die dabei erhältlich sind, gibt folgende von Franz Fischer herstammende Tabelle Aufschluß.

	Urteer aus Fettkohle (3% Ausbeute)	Urteer aus Gasflam- kohle (10% Ausbeute)
Schmieröle (viskose Öle)	15,2%	10,0%
Paraffin	0,4%	1,0%
Nicht viskose Öle	33,5%	15,0%
Phenole	14,0%	50,0%
Harz	4,2%	1,0%
Pech	19,2%	6,0%
Verlust und Wasser	13,5%	17,0%

Aus den zwischen 150—300° übergehenden Anteilen des Urteers lassen sich nach Behandlung mit Natronlauge und verdünnter Schwefelsäure Gemische von Kohlenwasserstoffen gewinnen, die an ähnliche Destillate des Erdöls oder der Braunkohlenteeröle erinnern. So ließen sich beispielsweise aus dem vorhin genannten Urteer aus Gasflamkohle erhalten:

			Siedepunkt bis 150° C
Teerbenzin	5%	des Teers	150—220°
Solaröl	5,5%	„ „	200—250°
Putzöl	1,0%	„ „	250—300°
Gasöl	8,8%	„ „	300—325°
Neutrales Schmieröl	6,0%	„ „	—
Paraffin	0,5%	„ „	—

Von diesen Produkten sind die Benzine ähnlich wie die aus Erdöl verwendbar, während die höher siedenden Anteile als Heiz- und Motoröle Anwendung finden können. Auch als Schmiermittel sind Urteeröle vorgeschlagen worden (siehe Näheres bei Schmiermitteln).

Teer aus Kokereien und Leuchtgasfabriken. Diese bei hoher Temperatur entstehenden Teere sind von größter technischer Bedeutung für die chemische Industrie, insbesondere für die Herstellung von künstlichen Farbstoffen und Arzneimitteln. Man stellt aus ihnen aber auch wichtige Betriebsstoffe für Verbrennungs- und Verpuffungsmotoren, wie die sogenannten Schweröle und das Benzol her. Alle diese Teere sind dickflüssige Produkte von der Dichte 1,1—1,2, die ihre schwarze Farbe dem Gehalt an fein verteiltem Kohlenstoff verdanken. Je höher die Destillationstemperatur war und je länger die Dämpfe der hohen Temperatur ausgesetzt waren, um so reicher sind die Teere an freiem Kohlenstoff. Es entstehen demnach bei der Leuchtgaserzeugung aus Horizontalretorten Teere mit höchstem (bis 33%), aus Vertikalretorten mit niedrigstem Kohlenstoffgehalt (2—4%); Koksofenteer enthält höchstens 10—20%, meist weniger als 7% freien Kohlenstoff.

Teere mit viel freiem Kohlenstoff enthalten meistens viele nicht flüchtige Anteile, die bei der Destillation als Pech zurückbleiben; dieser Pechanteil beträgt gewöhnlich 50—60% des Teers. Außer von der Art der Destillation der Kohle ist die Zusammensetzung des Teers von der Natur der verwendeten Kohle abhängig. Auch die Ausbeute an Teer ist je nach der Kohlensorte und je nachdem es sich um Gasteer oder Kokereiteer handelt, verschieden. Bei der Leuchtgaserzeugung werden 5—5,5%, bei der Kokerei 1,5—4% Teer erhalten.

Alle rohen Teere enthalten Wasser, Gasteer im Durchschnitt 5%, Koksofenteer meist etwas weniger.

Wenn Teer als Brennstoff verwendet werden soll, so muß seine Viskosität bei verschiedenen Temperaturen berücksichtigt werden. In folgender Tabelle sind einige solche Viskositäten angegeben.

Art des Teeres	Viskosität (Englergrade)		
	bei 20° C	bei 50° C	bei 60° C
Horizontalofenteer aus schlesischer Kohle	37,7	4,4	3,3
Vertikalofenteer aus schlesischer Kohle	12,6	2,0	—
Vertikalofenteer aus englischer Kohle	6,9	1,8	—
Kammerofenteer Nr. I	5,8	1,9	—
Kammerofenteer Nr. II	12,3	2,3	—

Hieraus geht hervor, daß Horizontalofenteer die größte Viskosität besitzt, was auch deshalb Bedeutung besitzt, weil solche dickflüssige Teere das Wasser hartnäckig festhalten.

Der Heizwert der Teere beträgt 8300 bis gegen 9000 Kalorien, der Luftbedarf 9,3—9,5 m³ für 1 kg. Den niedrigsten Heizwert hat der Horizontalofenteer.

Der Entflammungspunkt liegt bei Horizontalofenteeren bei 65 bis 100°, bei Vertikalofenteeren bei 40—70° und bei Kammerofenteeren bei 50—58° C.

Die Elementarzusammensetzung der Steinkohlenteere ist aus folgender Tabelle ersichtlich:

Art des Teeres	Zusammensetzung in Prozenten			
	C	H	O + N	S
Horizontalofenteer (Durchschnitt)	90,4—92,9	4,7—5,5	1,7—3,2	0,5—1
Vertikalofenteer (aus schlesischer Kohle)	89,5	6,6	3,4	0,5
Kammerofenteer Nr. I	88,2	6,9	4,6	0,3
Kammerofenteer Nr. II	89,2	6,7	3,6	0,4
Koksofenteer	89,3—93,0	5,5—6,2	4,1—5	0,4—1

Verarbeitung des Steinkohlenteers.

Nachdem man durch längeres Stehenlassen in der Ruhe dem im Teere enthaltenen Wasser Gelegenheit zur Abscheidung gegeben hat, wird er der fraktionierten Destillation unterworfen. Da aber das selbst nach langem Stehen noch immer im Teer vorhandene Wasser bei der Destillation Schäumen hervorruft, wird bis 140° in eigenen Kesseln erhitzt und erst dann das nun wasserfreie Produkt in der Hauptdestillationsanlage weiter verarbeitet.

Die zunächst erhaltenen Destillationsprodukte sind:

1. Leichtöl	Siedegrenzen ¹⁾	80—170° C;	Dichte	0,91—0,96
2. Mittelöl (Karböl)	„	170—230°	„	1,01
3. Schweröl	„	230—270°	„	1,04
4. Anthrazenöl	„	270—350°	„	1,10

Als Rückstand bleibt das Pech zurück, das ebenfalls technische Verwendung findet.

Die Ausbeute an den einzelnen Fraktionen ist von der Natur des Teers abhängig und wie nachstehende Tabelle zeigt, innerhalb weiter Grenzen schwankend.

Art des Teeres	Destillat in Prozenten und zwar:				
	Leichtöl	Mittelöl	Schweröl	Anthrazenöl	Pech
Gasteer (Horizontalofenteer) { I	2,1	12,0	9,2	18,0	55,1
{ II	6,7	7,7	3,6	5,1	63,7
Gasteer (Vertikalofenteer)	5,9	12,3	12,0	16,0	49,8
Gasteer (Kammerofenteer) { I	5,0	22,0	10,5	22,5	40,5
{ II	3,8	16,7	12,1	16,1	40,0
Koksofenteer aus Saarkohle	1,5	7,0	14,0	14,0	60,0
Koksofenteer aus Ruhrkohle	1,4	3,5	9,9	24,7	56,4

Aus den einzelnen Fraktionen wird nun durch neuerliche Destillation, durch Auskristallisierenlassen bei niedriger Temperatur, und durch chemische Behandlung eine Reihe von Stoffen gewonnen, die wichtige Ausgangsmaterialien der chemischen Industrie sind, zum Teil aber zum Motorenbetrieb, als Schmiermittel und Imprägnierungsmittel dienen.

Das **Leichtöl** ist besonders wegen seines Gehaltes an Benzol und seinen Homologen von Bedeutung. Der große Bedarf an diesen Kohlenwasserstoffen hat dazu Veranlassung gegeben, sie auch aus den Koksofengasen durch Waschen mit Schwerölen der Teerdestillation zu gewinnen; aus den gesättigten Waschölen treibt man dann durch Destillation eine Flüssigkeit ab, die in der Zusammensetzung den eigentlichen Leichtölen ähnlich ist und wie diese verarbeitet wird.

Heute liefern die Koksofengase mehr Benzol als die Steinkohlenteere.

Von den Bestandteilen des Leichtöls sind zu nennen: 60—65% flüssige aromatische Kohlenwasserstoffe, von denen auf Benzol 75—80%, auf Toluol 10—15%, und auf Xylole und höhere Kohlenwasserstoffe 3—5% entfallen, ferner 12—15% Naphthalin, 8—10% Phenole und 1—3% Pyridin und ähnliche Basen.

¹⁾ Diese Siedegrenzen werden nicht immer strenge eingehalten, so wird z. B. bei Leichtöl manchmal bis 180° C gegangen. Durch Anwendung von Vakuum können auch noch höher siedende Anteile (bis 400°) erhalten werden.

Die wichtigsten Handelsprodukte, die durch mehrmalige fraktionierte Destillation und chemische Reinigung gewonnen werden, sind:

Reinbenzol (C_6H_6), Kristallbenzol oder $80/_{81}$ er Benzol (wegen des zwischen $80-81^\circ C$ liegenden Siedepunktes so genannt), besitzt die Dichte $0,883-0,885$, erstarrt bei 0° und schmilzt wieder bei $+5^\circ C$. Es wird vorwiegend in chemischen Fabriken weiter verarbeitet.

Der Heizwert des Benzols ist nahezu derselbe wie der des Benzins (etwa 10 000 Kalorien für 1 kg), doch erfolgt seine Verbrennung infolge des relativ höheren Kohlenstoffgehaltes schwieriger. Bei ungenügendem Luftzutritt verbrennt es unter starker Rußausscheidung.

Benzol vermag Drachenblutharz zum Unterschied von Benzin zu lösen; hierauf beruht die Kenntlichmachung von Mischungen beider Flüssigkeiten durch Zusatz dieses färbenden Stoffes. 1 kg Benzol gibt bei gewöhnlicher Temperatur etwa $0,3 m^3$ Benzoldampf.

Zur Sättigung von $1 m^3$ Luft mit Benzoldampf sind folgende Mengen nötig:

Temperatur	g Benzol in $1 m^3$ Luft
0°	116
5°	156,5
10°	207,5
15°	270,2
20°	346,9
25°	440

90er Benzol (Handelsbenzol I), von dem bis $100^\circ C$ 90% überdestillieren (daher der Name), von der Dichte $0,880-0,883$ und dem Flammpunkt unter $-10^\circ C$.

Es besteht zu $80-85\%$ aus Benzol und enthält daneben etwa 13% Toluol ($C_6H_5 \cdot CH_3$) und 3% Xylole [$C_6H_4(CH_3)_2$]; es dient in ausgedehntem Maße als Motorbetriebsmittel.

Der Verbrauch von Benzol zum Motorenbetrieb ist heute so groß, daß $\frac{3}{4}$ des in Deutschland gewonnenen Benzols hierzu verwendet werden. Reines Benzol ist wegen seines leichten Erstarrens bei niedriger Temperatur minder gut geeignet als beispielsweise das 90er Benzol. Die beste Zusammensetzung für den genannten Zweck hat die vom „Benzolverband“ auf Grund eingehender Untersuchungen durch Mischung mit anderen Kohlenwasserstoffen hergestellte Marke, die als B.V.-Benzol bezeichnet wird.

Gereinigtes Toluol, das zwischen $100-120^\circ C$ siedet und die Dichte $0,870-0,872$ besitzt. Es besteht zu 15% aus Benzol, 75% aus Toluol und 10% aus Xylole.

Der Entflammungspunkt liegt bei $+5^\circ C$.

Lösungsbenzol (Solventnaphtha), von dem gewöhnlich die zwei Marken I und II in den Handel kommen.

Solventnaphtha I siedet zwischen 120—150° C, hat die Dichte 0,874—0,880 ¹⁾, den Flammpunkt 21° C und besteht zu 5% aus Toluol, 70% aus Xylol und 25% aus höheren Kohlenwasserstoffen.

Solventnaphtha II, siedet zwischen 140—180° C, hat die Dichte 0,890—0,910, den Flammpunkt 28° und besteht zu 35% aus Xylole und 65% aus höheren Kohlenwasserstoffen, darunter 5% sogenanntes Naphthalinöl.

Schwerbenzol, siedet zwischen 160—200° C, von der Dichte 0,920—0,945 und dem Entflammungspunkt 47° C.

Das **Mittelöl** (Karböl) enthält außer sauren Bestandteilen (Karbolsäure) das meiste im Teer vorkommende Naphthalin.

Aus der rohen Karbolsäure gewinnt man das reine Phenol ($C_6H_5 \cdot OH$), das besonders zur Herstellung von Pikrinsäure (für Sprengstoffe) und Salizylsäure dient. Große Mengen von roher Karbolsäure werden zur Gewinnung von Desinfektionsmitteln benützt.

Das **Naphthalin** ($C_{10}H_8$) ist ein wertvolles Rohmaterial zur Erzeugung wichtiger Farbstoffe, wird aber auch zur Gewinnung von Heizölen verwendet.

Lagert man nämlich an Naphthalin Wasserstoff an, so erhält man flüssige Produkte, die unter dem Namen **Tetralin** ($C_{10}H_{12}$) Sd. P. 207° C und **Dekalin** ($C_{10}H_{18}$) Sd. P. 189° in den Handel kommen.

Tetralin wird als Zusatzstoff für Motorenbenzol benützt; so besteht der sogenannte **Reichskraftstoff** aus Mischungen von Benzol, Tetralin und Spiritus.

	Reichskraftstoff	
	Nr. I	Nr. II
Benzol	50%	57%
Tetralin	25%	9%
Spirit	25%	34%

Der Heizwert des Reichskraftstoffes Nr. I beträgt rund 9000 Kalorien für 1 kg.

Das **Schweröl**. Da eine vollkommene Trennung in einzelne chemische Verbindungen bei der Zerlegung des Teers in die Hauptfraktionen nicht stattfindet, sind im Schweröl sowohl Stoffe enthalten, die im Mittelöl als auch solche, die im Anthrazenöl vorkommen. Es dient demnach das Schweröl vor allem auch zur Gewinnung von Naphthalin. Nach Abscheidung der Hauptmenge des Naphthalins gewinnt man dann durch nochmalige fraktionierte Destillation daraus Produkte, die teils für

¹⁾ Das eigentümliche Verhalten in der Dichte dieser Mischungen ist darauf zurückzuführen, daß Toluol und Xylol geringere Dichte wie das Benzol haben.

sich, teils gemischt mit Anteilen, die von der Verarbeitung des Mittelöls und des Anthrazenöls herrühren, als **T e e r ö l e** zur Imprägnierung von Holz, als Waschöl für die Benzolgewinnung aus Koksofengasen und als Heizöle und Treiböle für Motoren verwendet werden.

Bei ihrer Verwendung ist auf den sauren Charakter wie auf den Schwefelgehalt (etwa 0,5%) Rücksicht zu nehmen.

Teeröle, in denen noch größere Mengen Naphthalin vorkommen, erstarren leicht in der Kälte und bereiten daher im Winter leicht Schwierigkeiten.

Der Heizwert des Teeröls ist etwa 9300 Kalorien, also dem der Kohle überlegen.

Zum Motorenbetrieb dienendes Teeröl darf höchstens 1% Wasser enthalten, bei 15° C keine festen Stoffe ausscheiden und muß zum mindesten aus 50% unter 300° C siedenden Bestandteilen bestehen, ferner muß es sich bis auf 0,2% in Xylol lösen und einen Flammpunkt über 65° C besitzen. Als niedrigster Betrag des Heizwertes werden 8800 Kalorien angenommen.

Der Naphthalingehalt des Teeröls wirkt beim Verbrennungsvorgang in Motoren nicht störend, sondern wegen der hohen Dampfspannung des Naphthalins sogar günstig.

Das **Anthrazenöl**, das letzte flüssige Destillationsprodukt des Steinkohlenteers, dient vor allem zur Gewinnung des für die Farbstoffherzeugung wichtigen **A n t h r a z e n s** und **K a r b a z o l s**. Die flüssigen Rückstände der Anthrazengewinnung werden, häufig nach nochmaliger Destillation, entweder mit Schwerölanteilen vereinigt oder für sich verwendet.

Man erhält so Öle für Feuerungsanlagen, Anstrichöle (Karbolineum) und Imprägnieröle für Holz; durch Erhitzen mit Schwefel können billige Schmieröle erzeugt werden.

Pech. Das Pech, der feste Rückstand der Teerdestillation, besitzt je nach der Art des Teers und je nach der Temperatur, bei der die Destillation beendet wird, etwas verschiedene Eigenschaften.

Man unterscheidet **H a r t p e c h**, Erweichungspunkt 75—90°, **B r i k e t t p e c h**, Erweichungspunkt 60—75° und **W e i c h p e c h**, Erweichungspunkt 45—60°.

Das Pech findet mannigfaltige Verwendung, zur Brikettierung der Kohle, als elektrisches Isoliermaterial, zur Erzeugung von Elektroden, zur Herstellung von künstlichem Asphalt für Straßenbauzwecke u. dgl.

Mischungen von Pech mit hochsiedenden Teerölen (aus Schweröl) werden als **p r ä p a r i e r t e T e e r e** bezeichnet. Präparierter Teer dient zur Fabrikation von Dachpappe, ferner in den Stahlwerken als

Bindemittel für Magnesit- und Dolomitsteine und als Staubbindemittel im Straßenbau. Die sogenannten *Eisenlacke*, die zum Schutze des Eisens gegen das Rosten Verwendung finden, werden aus Pech unter Heranziehung von flüchtigen Lösungsmitteln erzeugt.

β. *Braunkohlenteer*. Die Braunkohle liefert beim Erhitzen unter Luftabschluß ebenfalls flüssige Destillationsprodukte, die mannigfacher Anwendung fähig sind. Für die Gewinnung solcher Destillate kommt fast ausschließlich die bitumenreiche *Schwelkohle* in Betracht.

Die Zusammensetzung der Destillationsprodukte hängt nicht nur von der Art der Kohle, sondern auch von der Temperatur, auf die erhitzt wird, ab. Diese Temperatur ist immer niedriger als bei der Steinkohlendestillation und beträgt höchstens 900°. Der unter 500° C gewonnene Braunkohlenteer wird analog wie bei der Steinkohle als *Urteer* bezeichnet und hat ähnliche Zusammensetzung wie Steinkohlenurteer.

Die Destillation der Braunkohle wird sowohl als sogenannter *Schwelprozeß* in den eigentlichen *Schwelöfen* als auch in Generatoren (siehe die gasförmigen Brennstoffe) durchgeführt; Generatoren dienen vorwiegend zur Urteererzeugung.

Beim Schwelprozeß erhält man *Schwelgas*, *Schwelwasser* (50—60%), *Gasbenzin* (1—1,5%), *Braunkohlenteer* (5—10%) und *Grudekoks* (25—35%).

Die Schwelgase enthalten wertvolle Kohlenwasserstoffe, die durch Auswaschen mit Paraffinöl in Rieseltürmen gewonnen werden. Durch Destillation der so erhaltenen Lösungen erhält man eine *Leichtöl* genannte Flüssigkeit und das *Waschöl*, das neuerdings verwendet wird.

Das Leichtöl ist eine infolge der darin enthaltenen Schwefelverbindungen widerlich riechende, gelbliche Flüssigkeit, die auf chemischem Wege mit Lauge und Schwefelsäure (unter Zusatz von etwas Paraldehyd) gereinigt und dann nochmals destilliert wird.

Man gewinnt dabei als Hauptprodukt eine farblose, angenehm riechende Flüssigkeit, die bis 160° C überdestilliert und ziemlich viel aromatische Kohlenwasserstoffe enthält. Sie wird sowohl für sich allein, als auch gemischt mit Alkohol als Betriebsstoff für Automobile gebraucht. Die ausgewaschenen Schwelgase dienen zur Heizung der Schwelöfen.

Der *Braunkohlenteer* ist eine unangenehm riechende, dunkelbraune dickflüssige Masse, deren Dichte 0,88—0,91 beträgt. Vom Steinkohlenteer unterscheidet er sich durch den hohen Gehalt an

Kohlenwasserstoffen der *Methanreihe*, darunter auch festen Paraffinen und den geringen Gehalt an aromatischen Verbindungen, die vorwiegend phenolartigen Charakter besitzen. Auch Stoffe aus der Reihe der Olefine und schwefelhaltige Verbindungen (der Schwefelgehalt beträgt 0,5—1,5%) sind in größerer Menge vorhanden.

Die Verarbeitung des Braunkohlenteers erfolgt auf physikalischem und auf chemischem Wege.

Bei der Reinigung auf physikalischem Wege spielt die fraktionierte Destillation, die mehrmals, unter Zuhilfenahme von Druckverminderung und Wasserdampf, durchgeführt wird, die Hauptrolle. Die festen Anteile, das Paraffin, werden durch entsprechende Abkühlung gewonnen. Auch 96prozentiger Alkohol ist zur Trennung der Bestandteile von Braunkohlenteerdestillaten herangezogen worden; während er die Kreosot- und Harzöle zu lösen vermag, bleiben die vorwiegend aus Paraffinkohlenwasserstoffen bestehenden Neutralöle ungelöst. Aus der alkoholischen Lösung der *Kreosotöle* erhält man nach Abdestillieren des Alkohols das sogenannte „*Fresol*“.

Die chemische Reinigung wird bei der Verarbeitung des Braunkohlenteers ebenfalls fast nur mit Natronlauge und konzentrierter Schwefelsäure durchgeführt.

Physikalische und chemische Reinigung werden kombiniert angewendet, so daß beispielsweise auf die chemische Reinigung wieder eine fraktionierte Destillation folgt.

Unter Anwendung der vollkommensten Trennungsv erfahren kann man folgende technisch wertvolle Produkte aus dem Braunkohlenteer erzeugen:

× Benzin 2%, Solaröl 1%, Gelböl 1,5%, Gas und Paraffinöl 53,5 %, Fresol 14 %, Hartparaffin 8 %, Weichparaffin 2%. Hierzu kommt noch das durch Auswaschen der Schwelgase erhaltene Gasbenzin, dessen Menge etwa 1% des Teers ausmacht.

Das Braunkohlenteerbenzin siedet zwischen 100 bis 200° C und hat eine Dichte von 0,790—0,810. Da es in der Industrie des Braunkohlenteers selbst und zwar bei der Paraffinerzeugung weiter verwendet wird, steht es für andere Anwendungen nicht zur Verfügung.

Das Solaröl siedet zwischen 130—240° C und hat die Dichte 0,825—0,835. Es wird gegenwärtig, trotz seines Schwefelgehaltes von etwa 0,75% als Betriebsstoff für Motoren gebraucht. Sein Flammpunkt liegt bei 45—50° C, der Heizwert ist etwa 10 000 Kalorien für 1 kg. Die Viskosität ist gering, rund 1° Engler.

Das Putzöl siedet zwischen 200—300° C und hat die Dichte

0,850—0,860; es dient als Waschmittel für fettige Maschinenbestandteile.

Aus den höher siedenden Anteilen des Braunkohlenteers werden das Gasöl und die verschiedenen (leichten und schweren) Paraffinöle erzeugt.

Die wichtigsten hierher gehörenden Handelsprodukte sind:

Das Gelböl und Rotöl; sie siedend zwischen 200—325° C, haben die Dichte 0,865—0,880, den Flammpunkt 82—85° C und den Heizwert von 9800, beziehungsweise 9700 Kalorien für 1 kg.

Das eigentliche Gasöl, das 1—2% Kreosot enthält. Es hat dunkle Farbe, siedet von 225—360° C, hat die Dichte 0,880—0,900, den Flammpunkt 90—100° C und einen Heizwert von 9800 Kalorien für 1 kg.

Das Ablauföl von der Paraffinfabrikation, das gewöhnlich als Paraffinöl bezeichnet wird. Es besitzt ebenfalls dunkle Farbe, destilliert nahezu vollständig über 300° C über, hat die Dichte 0,900 bis 0,930, den Flammpunkt 100—130° C und einen Heizwert von 9700—9800 Kalorien.

Alle diese Öle werden größtenteils als Treiböle für Dieselmotoren, in geringerem Maße zur Herstellung von Ölgas benützt. Auch Schmiermittel werden aus Paraffinölen durch besondere Verfahren erzeugt (siehe diese).

Das bei der Alkoholwaschung erhaltene Fresol besteht der Hauptsache nach (60—90%) aus sauren, phenolähnlichen Stoffen, die als Kreosot bezeichnet werden. Es dient zur Herstellung von billigen Wagenfetten und als Imprägnierungsmittel für Holz. Seine Viskosität beträgt 5—10° Engler, sein Flammpunkt liegt bei 100—110° C.

Ähnliche Zusammensetzung haben die Kreosotöle, die aus dem bei der chemischen Reinigung des Braunkohlenteers mit Natronlauge erhaltenen Kreosotnatron durch Zersetzung mit Schwefelsäure und darauf folgende Destillation gewonnen werden. Sie finden außer als Desinfektionsmittel in geringem Maße als Heizöle Anwendung.

Für den Betrieb der eigentlichen Schmelzöfen können die Braunkohlen in entsprechend zerkleinertem Zustande meistens ohne weiteres verwendet werden. Generatoranlagen erfordern, besonders bei kleinstückigen Kohlen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt vorherige Brikettierung. Da die aus den gewöhnlichen Generatoren entweichenden Gase nicht überall verwendbar sind, hat man auch solche Generatoren gebaut, in denen aus der Kohle die flüchtigen Bestandteile ausgetrieben werden, wobei gleichzeitig ein brauchbarer fester Rückstand, der sogenannte Brikokoks, erhalten wird.

An manchen Orten der Erde (Bayern, Württemberg, Schottland, Australien) finden sich Schiefergesteine, die mit bituminösen Substanzen durchtränkt sind. Dieser bituminöse Schiefer wird einem ähnlichen Schwelprozeß unterworfen wie die Braunkohle und der dabei gewonnene Schwelteer auf Paraffin und verschiedene Öle verarbeitet. Je nach der Art des Ausgangsmaterials gewinnt man dabei Benzine und hochsiedende Treib- und Heizöle verschiedener Zusammensetzung und Menge.

c) Umwandlung von Kohle in flüssige Brennstoffe nach dem Verfahren von Bergius (Bergin verfahren).

Wird auf Kohle bei hohem Druck und höherer Temperatur bei Gegenwart eines geeigneten Katalysators¹⁾ Wasserstoff einwirken gelassen, so verwandelt sich der größte Teil der Kohlesubstanz in ölige, brennbare Flüssigkeiten, es ist also auf diesem Wege die Möglichkeit gegeben, Kohle in hochwertigen Brennstoff umzuwandeln.

Bei dem von Bergius erfundenen Verfahren geschieht dies im wesentlichen in der Weise, daß fein gemahlene Kohle mit einem dicken Öl, das zum Teil aus dem Betrieb selbst oder auch aus Teerölen der Erdölindustrie her stammt, im Verhältnis 10:4 und überdies mit 6% der Kohle an Eisenoxyd gemischt und mit 5% des Kohlegewichtes an Wasserstoff in drucksicheren Gefäßen erhitzt wird.

Die Hauptschwierigkeit bei der technischen Durchführung des Verfahrens bestand in der Herstellung einer geeigneten Apparatur, die den Betrieb in sehr großem Maßstabe ermöglicht und ihn dabei so billig durchführen läßt, daß die erzeugten Öle mit anderen konkurrenzfähig sind. Nach einer aus dem Jahre 1925 stammenden Mitteilung wurden bei einer Reaktionstemperatur von 400° und einem Drucke von 100 bis 150 Atmosphären aus 100 kg Kohle etwa 130 kg Flüssigkeit und 20 kg Gas erhalten. Die Flüssigkeit enthielt außer 7 kg Wasser 20 kg Öl mit dem Siedepunkte bis 230° C, 10 kg mit dem Siedepunkte bis 330°, 51 kg mit dem Siedepunkte über 330° und 40 kg sogenanntes Dicköl, das im Betrieb selbst weiter verarbeitet werden kann. Nach entsprechender Destillation der Flüssigkeit erhielt man für 1 t Kohle 150 kg Benzin, 200 kg Dieselöl, 60 kg Schmieröl und 80 kg Heizöl.

Daß sich das Verfahren zur Kohlenflüssigung nach Bergius be-

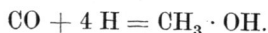
¹⁾ Katalysatoren sind Substanzen, die ohne selbst bleibend verändert zu werden, auf den Verlauf chemischer Reaktionen derart einwirken, daß die Geschwindigkeit verändert wird. Praktisch kommt nur die Beschleunigung der Reaktion in Betracht (durch positive Katalysatoren).

bewährt hat, geht daraus hervor, daß in den J. G. Anlagen in Merseburg¹⁾ im Jahre 1928 eine Jahreserzeugung von 100 000 t Benzin erreicht wurde, die 1929 verdoppelt werden soll. Das Ausgangsmaterial bildet dort die Braunkohle, doch ist in anderen Anlagen auch die Steinkohlenverflüssigung in Angriff genommen worden.

Die Höhe der Ausbeute und die Art der gewonnenen Erzeugnisse hängt von Druck, Temperatur, Katalysator und Dauer der Erhitzung ab. Unter Zuhilfenahme des Krackverfahrens kann die Benzinausbeute beispielsweise stark gesteigert werden, so daß Hoffnung vorhanden ist, den Bedarf an diesem Stoff in Deutschland selbst decken zu können. Ungünstiger liegt die Sache bei den Schmierölen, da bei diesen an eine Befriedigung des deutschen Bedarfes bisher nicht gedacht werden konnte. Der zur Hydrierung verwendete Wasserstoff wird teils aus dem Wassergas, teils auch Koksofengas gewonnen.

d) Synthetische Verfahren zur Herstellung flüssiger Brennstoffe.

Es ist mehrfach versucht worden, aus Kohle auf dem Umwege über daraus hergestelltes Generator- oder Wassergas brennbare Flüssigkeiten zu erzeugen. Hierher gehört das Methanolverfahren der Badischen Anilin- und Sodafabrik, das aus Wassergas, einer Mischung von Kohlenoxyd und Wasserstoff, mit Hilfe von Katalysatoren Methylalkohol erzeugt.



Erwähnenswert ist ferner das von Franz Fischer aus Wassergas, ebenfalls auf katalytischem Wege unter höherem Druck hergestellte Synthol, das zwar ziemlich viele sauerstoffhaltige Verbindungen, wie Alkohole, Aldehyde, Ketone und Fettsäuren enthält, aber wie der Erfinder durch den Versuch feststellen konnte, als Motorbetriebsstoff brauchbar ist. Durch Hochdruckerhitzung gelang es aus Synthol eine vorwiegend aus Kohlenwasserstoffen bestehende Flüssigkeit, das Synthin, zu gewinnen. Praktische Verwendung findet das Syntholverfahren bisher nicht.

Bei gewöhnlichem Druck arbeitet ein von Franz Fischer und Tropsch gefundenes Verfahren, bei dem gereinigtes Wassergas bei 200—300° über Kobalt oder Eisen enthaltende Katalysatoren geleitet wird; hierbei wird außer Benzin eine dem Petroleum ähnliche Flüssigkeit und Paraffin erhalten.

¹⁾ Das Verfahren, nach dem in dieser Anlage (Leunawerke) gearbeitet wird, ist mit dem ursprünglichen Bergiusverfahren nicht identisch.

Anhang. Antiklopfmittel.

In hochkomprimierenden Motoren verbrennen die Benzine manchmal explosionsartig, bevor der Zündfunke das Gasgemisch zur Entzündung gebracht hat. Der Motor zeigt dann keinen ruhigen Gang, er klopft ¹⁾. Ganz geringe Mengen mancher Zusätze vermögen das Klopfen zu verhindern. So wird unter dem Namen *Motalin* Benzin mit einer kleinen Beimengung von Eisencarbonyl $\text{Fe}(\text{Co})_5$ in den Handel gebracht. In Amerika wird auch das höchst giftige Bleitetraäthyl $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ zu dem gleichen Zwecke benützt (1 Teil auf 1000 Teile Benzin).

3. Gasförmige Brennstoffe.

Die Verwendung gasförmiger Brennstoffe bringt so mannigfaltige Vorteile mit sich, daß nicht nur die bei technischen Prozessen als Nebenprodukte gewonnenen brennbaren Gase zu Heizzwecken benützt, sondern Heizgase auch in besonderen Anlagen erzeugt werden.

Die Hauptvorteile der Gasfeuerung sind folgende:

1. Gase lassen sich leicht mit Luft mischen und es ist daher ein geringerer Luftüberschuß — etwa $1\frac{1}{4}$ der theoretisch nötigen Menge — zur vollkommenen Verbrennung erforderlich.

2. Die Verbrennung erfolgt ohne Rauch- und Rußentwicklung und ohne Hinterlassung von Asche.

3. Je nach den Mischungsverhältnissen von Heizgas und Luft kann entweder mit reduzierender oder oxydierender Flamme gearbeitet werden, was für viele, besonders metallurgische Prozesse von großer Wichtigkeit ist.

4. Große Oberflächen können gleichmäßiger erhitzt werden, als dies bei festen Brennstoffen der Fall ist.

5. Die gasförmigen Brennstoffe ermöglichen die Erzielung sehr hoher Temperaturen durch Vorwärmen von Heizgas und Verbrennungsluft in Wärmespeichern oder *Regeneratoren*. Die Heizung der Regeneratoren erfolgt durch die in den Abgasen der Verbrennung enthaltene Wärme.

6. Minderwertige feste Brennstoffe, die zur direkten Feuerung wenig geeignet sind, können durch Überführung in Gase besser ausgenützt werden.

¹⁾ Nach den neuesten Untersuchungen hängt das Klopfen mit der elektrischen Leitfähigkeit zusammen. Benzol, das besser leitet als Benzin, ist letzterem daher in dieser Hinsicht vorzuziehen.

Schließlich sei noch erwähnt, daß brennbare Gase in Gasmotoren direkt zur Erzeugung mechanischer Energie herangezogen werden können.

Die Heizgase können in natürliche und künstlich hergestellte eingeteilt werden.

a) In der Natur vorkommende brennbare Gase.

An manchen Orten der Erde, meistens dort wo Erdöllager sich finden, können gelegentlich von Bohrungen Ausströmungen brennbarer Gase beobachtet werden, die längere Zeit andauern und so gewaltige Gasmengen liefern, daß sie industrielle Verwertung finden. Der Hauptsache nach bestehen diese Erdgase aus Methan CH_4 (in Kissarmas in Rumänien sind 99% des Gases Methan), daneben kommt auch Äthan C_2H_6 (in großer Menge, 4—18%, im Delamatergasbrunnen in Pittsburg) und in relativ kleiner Menge andere Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff und Stickstoff vor. Der Heizwert dieser Naturgase ist sehr hoch und kann 8400—9000 Kalorien für 1 m³ betragen.

b) Künstlich hergestellte Heizgase.

Man kann diese einteilen in solche, die als Nebenprodukte von technischen Betrieben auftreten und solche, die in eigenen Anlagen erzeugt werden.

Von den ersteren ist das wichtigste das Gichtgas.

a. Gichtgas. Beim Hochofenprozeß wird in beträchtlicher Menge (über 4000 m³ für 1 t Roheisen) ein Gas erhalten, das wegen seines Gehaltes an Kohlenmonoxyd als Heizgas geeignet ist und besonders in den Winderhitzern und zum Motorenbetrieb verwendet wird.

Das Gas führt pro 1 m³ 5—15 g Staub mit, von dem es gereinigt werden muß; sorgfältige Reinigung vom Staube ist vor allem für die Verwendung des Gichtgases in Gasmaschinen erforderlich.

Die Zusammensetzung des Gichtgases ist nicht immer die gleiche, da sie vom Hochofenbetriebe abhängt; im Mittel kann sie zu 24—28 Vol % Kohlenmonoxyd, 12—16% Kohlendioxyd und 55—60% Stickstoff angenommen werden; daneben ist gewöhnlich etwas Wasserstoff und Methan darin enthalten. Der Heizwert des Gichtgases beträgt 800—900 Kalorien für 1 m³.

Die im großen Maßstabe künstlich erzeugten brennbaren Gase werden nach zwei prinzipiell verschiedenen Methoden gewonnen. Bei

der ersten Methode, der **Entgasung** oder trockenen Destillation (auch Zersetzungsdestillation genannt) wird nur ein Teil des festen Brennstoffes in Gas übergeführt, während der Rest sich teilweise in flüchtige Flüssigkeiten verwandelt, teilweise als fester brennbarer Rückstand hinterbleibt.

Bei der zweiten Methode, der **Vergasung**, wird bis auf den geringen Aschenrest der ganze Brennstoff in Form von Gas erhalten, indem der Kohlenstoff durch eine unvollkommene Verbrennung in **Kohlenmonoxyd** umgewandelt wird.

In vielen Fällen treten übrigens Entgasung und Vergasung gleichzeitig auf.

β. Steinkohlengas. Von den Gasen, die im großen durch trockene Destillation erzeugt werden, ist das **Steinkohlengas** (Leuchtgas) das wichtigste.

Das Steinkohlengas wurde ursprünglich nur zu Beleuchtungszwecken verwendet und in eigenen Fabriken als sogenanntes **Leuchtgas** erzeugt.

Da aber das bei der Kokerei entstehende **Koksofengas** ähnliche Zusammensetzung besitzt und in Industriebezirken oft in ungeheurer Menge als Nebenprodukt auftritt, wird es jetzt vielfach an Stelle des eigentlichen Leuchtgases nicht nur zur Beleuchtung, sondern auch als Heizgas und zum Betrieb von Gasmotoren benützt.

Die Zusammensetzung des **Koksofengases** ist im Mittel die folgende:

Wasserstoff	44,5%
Methan	33,9%
Kohlenmonoxyd	6,2%
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (C_nH_{2n})	3,8%
Kohlendioxyd	2,9%
Sauerstoff	0,3%
Stickstoff	8,4%

Der Heizwert beträgt etwa 4000 Kalorien für 1 m³.

Die Zusammensetzung des Koksofengases und sein Heizwert hängen innerhalb gewisser Grenzen von der Art der Kohle und der Durchführung des Verkokungsprozesses (Art des Ofens, Höhe der Temperatur), sowie auch davon ab, ob das Gas zu Beginn oder am Ende der Destillation entstanden ist. Das am Anfange entstehende Gas hat einen höheren Heizwert und heißt **Reichgas** zum Unterschiede von dem gegen Schluß der Destillation gebildeten **Armgas**.

Der Unterschied der beiden Gase ergibt sich aus nachstehendem Analysenbeispiele:

	Reichgas	Armgas
Wasserstoff	38,4%	50,5%
Methan	38,7%	29,2%
Kohlenmonoxyd	6,1%	6,3%
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (C_nH_{2n})	5,2%	2,4%
Kohlendioxyd	3,6%	2,2%
Sauerstoff	0,3%	0,3%
Stickstoff	7,7%	9,1%
Heizwert	5200 Kal.	4400 Kal.

Von der gesonderten Verwertung von Reichgas und Armgas ist man aber abgekommen und fängt es jetzt gemeinsam auf.

γ. Ölgas. Außer aus Steinkohle werden brennbare Gase aus sogenannten Gasölen durch Überhitzung ihrer Dämpfe erzeugt; man nennt solches Gas **Ölgas**.

Als Gasöle kommen schwerflüchtige Erdöl- oder Braunkohlenteerdestillate (Schieferteerdestillate) in Betracht.

Eine besondere Art des Ölgases, die auch für den Betrieb von Motoren Bedeutung erlangt hat, ist das **Blaugas**.

Zur Erzeugung des Blaugases wird zunächst Gasöl auf 550—600° erhitzt. Das hierbei entstehende Gas wird gereinigt und dann stufenweise komprimiert. Bei der ersten Kompression auf etwa 20 Atmosphären wird ein benzinartiges Gemisch von Kohlenwasserstoffen erhalten, das gesonderte Verwendung findet. Das eigentliche Blaugas wird in flüssiger Form unter einem Druck von 100 Atmosphären gewonnen und in Stahlflaschen eingefüllt. Die unter diesem Druck nicht in den flüssigen Zustand überführbaren Gase Wasserstoff und Methan werden entfernt; ein Teil ist im flüssigen Blaugas gelöst enthalten.

100 kg Gasöl geben 30—40 kg flüssiges Blaugas, 5—6 kg Benzin, 5—6 kg nicht verdichtbare Gase und 50—55 kg Teer.

Das flüssige Blaugas besteht nahezu ganz aus Kohlenwasserstoffen, von denen etwa 36% der Methanreihe ¹⁾ und gegen 50% der Äthylenreihe angehören. Da es kein Kohlenmonoxyd enthält, ist es nicht giftig. Sein Siedepunkt liegt bei — 50° bis — 60° C.

Das flüssige Blaugas bietet große Vorteile durch seine geringe Dichte (0,51) und seinen hohen Heizwert (gegen 12000 Kalorien für 1 kg).

1 kg Flüssigkeit liefert gegen 800 l Gas von 15 000 Kalorien Heizwert für 1 m³. Es dient als Heizgas zur Erzeugung hoher Temperaturen und zum Motorenbetrieb.

Die bisher besprochenen Gase sind mit Ausnahme des Gichtgases durch trockene Destillation fester Brennstoffe oder durch Überhitzung von Flüssigkeitsdämpfen erzeugt worden. Man kann Heizgase aber auch

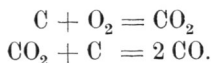
¹⁾ Methan selbst kommt nur wenig darin vor.

dadurch erhalten, daß man feste Brennstoffe so oxydiert, daß aus Kohlenstoff im wesentlichen nur Kohlenmonoxyd entsteht; dieser Vorgang heißt **Vergasung**.

Als Oxydationsmittel dient praktisch sowohl freier Sauerstoff als auch Wasserdampf. Während im ersten Falle Wärme frei wird, erfordert die Reaktion mit Wasserdampf, bei der freier Wasserstoff entsteht, Wärmezufuhr. Durch gleichzeitige Einwirkung von freiem Sauerstoff und Wasserdampf kann der Prozeß so geleitet werden, daß die bei der direkten Oxydation des Kohlenstoffes frei gewordene Wärme zur Reduktion des Wasserdampfes durch Kohlenstoff ausreicht.

Die Einwirkung des freien Sauerstoffes auf den Kohlenstoff erfolgt übrigens nicht unter direkter Bildung von Kohlenmonoxyd, sondern führt über das Kohlendioxyd zu diesem, indem das zuerst gebildete Kohlendioxyd durch glühenden Kohlenstoff reduziert wird.

Folgende Gleichungen sollen dies veranschaulichen:

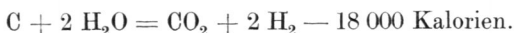


Wenn statt reinem Kohlenstoff ein zusammengesetzter Brennstoff, wie Steinkohle vergast wird, so findet neben der Vergasung eine trockene Destillation statt, die entstandenen Gase haben daher dann eine komplizierte Zusammensetzung.

Da zur Vergasung mit freiem Sauerstoff überdies nicht reiner Sauerstoff, sondern Luft verwendet wird, ist auch der ganze Stickstoff der Luft im Gase vorhanden, wodurch der Heizwert beträchtlich herabgesetzt wird.

Nachstehend sollen die wichtigsten hierher gehörenden Gase besprochen werden, wobei gleichzeitig erwähnt sei, daß das Gichtgas ebenfalls einem Vergasungsprozesse der Kohle im Hochofen seine Entstehung verdankt.

δ. Wassergas. Wird Wasserdampf über glühenden Kohlenstoff geleitet, so beginnt die Umsetzung im Sinne folgender Gleichung:



Steigt die Temperatur, so tritt neben Kohlendioxyd auch Kohlenmonoxyd auf und über 1000° verläuft die Reaktion der Hauptsache nach entsprechend der Gleichung:



Es ist dies der eigentliche Wassergasprozeß, da in der Praxis möglichst kohlendioxydfreies Gas erzeugt wird.

Beide Reaktionen verbrauchen Wärme und sie müssen deshalb bald zum Stillstand kommen, wenn nicht beständig Wärme zugeführt wird. Da Wärmezufuhr durch Heizvorrichtungen praktisch nicht in Betracht kommt, muß die Wassergaserzeugung, bei der der Kohlenstoff meist in Form von Koks verwendet wird, in zwei Abschnitte zerlegt werden.

Im ersten Abschnitt, dem Heißblasen, wird die in einem Schachtofen befindliche Kohle durch Luft teilweise verbrannt und dadurch der Rest über 1000° erhitzt, während im zweiten Abschnitte, dem Gasmachen oder Gasen durch Einblasen von Wasserdampf das Wassergas erzeugt wird. Das Gasen wird solange fortgesetzt, bis größere Mengen von Kohlendioxyd zu entstehen beginnen.

Beim Heißblasen kann man auf zwei verschiedene Arten vorgehen. Bei dem älteren, von Blaß herrührenden Verfahren wird eine höhere Kohlschicht angewendet und der Blaseprozeß so geleitet, daß als Endprodukt der Einwirkung des Sauerstoffes auf die Kohle vorwiegend Kohlenmonoxyd, also sogenanntes Generatorgas entsteht. Dieses ist brennbar und muß verwertet werden, wenn nicht Kohle vergeudet werden soll.

Folgende Gleichungen sollen dies näher erläutern:

1 kg C in CO übergeführt liefert 2433 Kalorien und bei Anwendung von Luft 5,382 m³ Gas (Generatorgas), die mit einer Temperatur von etwa 700° entweichen und daher 1281 Kalorien mit sich führen. Es bleiben demnach für den eigentlichen Wassergasprozeß nur 2433 — 1281 = 1152 Kalorien verfügbar.

Die Verwertung des entstandenen Generatorgases geschieht meistens nach Strache durch Verbrennen mit Luft in mit feuerfesten Steinen gitterartig ausgesetzten Räumen, in denen dann der Wasserdampf erhitzt wird, bevor er über die glühende Kohle geblasen wird.

Während das Heißblasen nach dieser Methode etwa 11 Minuten dauert, kann man nur 4 Minuten Gas machen, wenn man die Entstehung größerer Mengen von Kohlendioxyd hintanhalten will.

Die Gase besitzen folgende Zusammensetzung:

	H	CO	CO ₂	CH ₄	N
Gas beim Heißblasen (Generatorgas)	2,4%	28%	4,2%	0,3%	65%
Wassergas ¹⁾	45—51%	45—41%	2—6%	1—0,2%	7—2%

An Stelle von Koks werden bei diesem Verfahren auch Kohlen benützt, die im oberen Teile des Schachtofens durch die emporsteigenden

¹⁾ Die Zusammensetzung ist von der Temperatur abhängig, ändert sich also während des Gasens.

heißen Gase entgast und in Koks verwandelt werden. Das bei der Entgasung entstehende Destillationsgas mischt sich dem Wassergase bei.

Bei dem Verfahren von Dellwik und Fleischer wird beim Heißblasen der Kohlenstoff zu Kohlendioxyd verbrannt, was durch Anwendung niedriger Kohlschichten und großer Luftgeschwindigkeiten (stark gepreßter Luft) erreicht wird.

Hierbei entstehen für jedes Kilogramm Kohlenstoff 8100 Kalorien und $8,9 \text{ m}^3$ Gase, die mit etwa 1000° entweichen und 4742 Kalorien

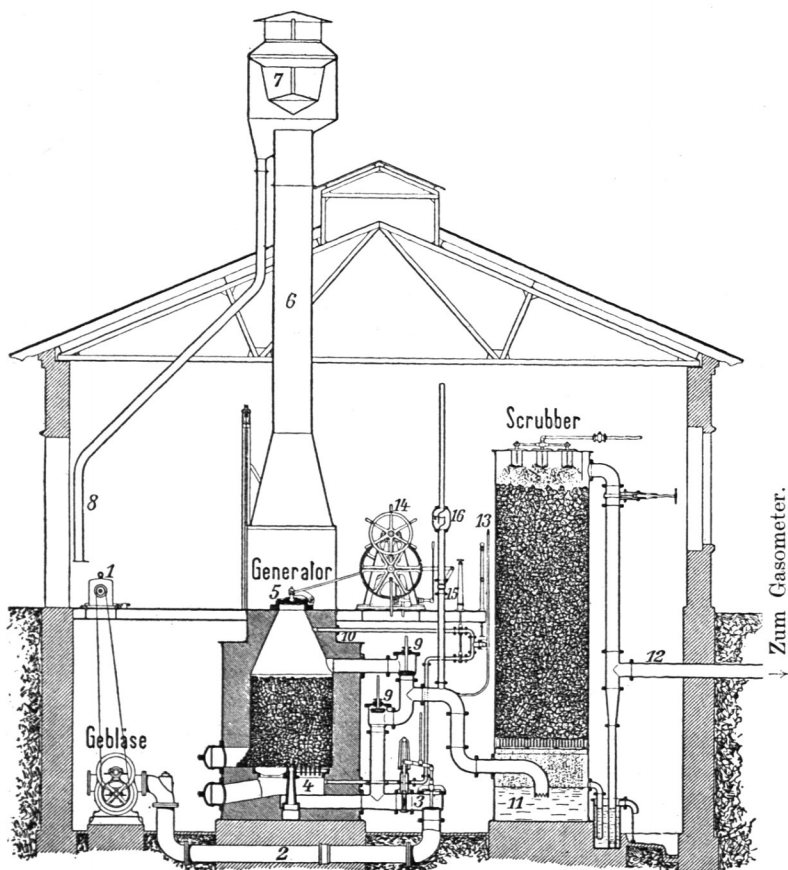


Fig. 33. Wassergasanlage nach Dellwik-Fleischer.

entführen; es bleiben demnach für den Wassergasprozeß 4358 Kalorien verfügbar.

Der viel größeren erzeugten Wärmemenge entsprechend, dauert hier das Heißblasen viel kürzer (1—2 Minuten) als beim Blaßverfahren; das Gasen kann hingegen auf 5—7 Minuten ausgedehnt werden.

Aus 1 kg Koks erhält man etwa 2 m³ Wassergas, also doppelt so viel als beim früheren Verfahren.

Fig. 33 zeigt eine Anlage nach Dellwik-Fleischer.

Die Zusammensetzung des Wassergases aus Koks kann aus der Analyse folgender zwei Proben entnommen werden:

	CO	CO ₂	H	CH ₄	N	d
I	39,0%	5,0%	49%	0,7%	6,3%	—
II	37,2%	5,6%	51,6%	0,6%	4,6%	0,529

Theoretisch müßten gleiche Volumina Wasserstoff und Kohlenmonoxyd enthalten sein.

Der Heizwert beträgt 2500—2800 Kalorien (bei Probe II beispielsweise 2730 Kal.) für 1 m³.

Das Wassergas wird mit Wasser gewaschen (in sogenannten Scrubbern) und mit Eisenhydroxyd behandelt, eventuell auch durch ein mit Sägemehl gefülltes Filter geleitet.

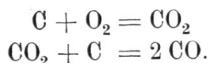
Das reine Wassergas ist farblos, geruchlos und wegen des hohen Gehaltes an Kohlenmonoxyd sehr giftig. Es brennt mit blauer (daher auch Blauwassergas genannt), sehr heißer Flamme und bildet mit Luft explosive Gemenge. Die Explosionsgrenzen liegen weit auseinander, da Mischungen mit Luft, die 12—67% Wassergas enthalten, explosiv sind.

Das Wassergas liefert bei der Verbrennung eine Flamme, die eine viel höhere Temperatur besitzt als die gewöhnliche Leuchtgasflamme, weil bei der geringen Ausdehnung des Flammenkörpers die Wärme konzentriert wird. Man benützt es deshalb vor allem dort, wo hohe Temperatur erfordert wird. Von anderen Anwendungen sei die zum Betriebe von Motoren und zur Erzeugung von Wasserstoff erwähnt; auch ist Wassergas als Ausgangsmaterial zur Gewinnung flüssiger Brennstoffe herangezogen worden.

Mischungen von Wassergas mit Ölgas oder Steinkohlengas werden in ausgedehntem Maße an Stelle des alten Leuchtgases verwendet.

ε. **Generatorgas** (Luftgas). Während bei der Wassergaserzeugung die Vergasung des Kohlenstoffes durch gebundenen Sauerstoff erfolgt, findet sie bei der Generatorgasherstellung durch den freien Sauerstoff der Luft statt.

Wird durch eine erhitzte und etwa 1 m hohe Kohlschicht Luft geblasen, so gehen folgende zwei Prozesse vor sich:



Letzterer Prozeß verläuft bei einer Temperatur von 1000° und darüber nahezu vollständig, so daß das abziehende Gas dann außer dem Stickstoff der Luft fast nur Kohlenmonoxyd enthält. Die ideale Zusammensetzung von 34,4% Kohlenmonoxyd und 65,6% Stickstoff besitzt das Generatorgas allerdings nie, da stets etwas Kohlendioxyd erhalten bleibt, das dann auch den Stickstoffgehalt in die Höhe drückt. Als höchste zulässige Grenze des Kohlendioxydgehaltes können 5% angesehen werden. Obige Reaktionen setzen überdies reinen Kohlenstoff voraus, eine Bedingung, die auch durch Koks und Holzkohle nicht ganz erfüllt wird. Aus Koks hergestelltes Gas besitzt beispielsweise folgende Zusammensetzung:

	Probe I	Probe II
CO	29,7 Vol %	25,7 Vol %
H	1,9 „	0,6 „
CH ₄	— „	0,2 „
CO ₂	2,0 „	4,0 „
N	66,7 „	69,0 „
O	— „	0,6 „
Heizwert für 1 m ³	950 Kal.	814 Kal.

Bei der Vergasung von Koks oder Holzkohle verläßt das Gas den Generator mit hoher Temperatur und beim Weiterleiten auf größere Entfernungen geht daher sehr viel Wärme verloren. Wenn man das Gas also nicht — wie etwa in einer Leuchtgasfabrik beim Heizen der Retorten — sofort nach dem Austritt aus dem Generator zum Verbrennen bringen kann, so trachtet man durch entsprechende Maßnahmen seine Temperatur herabzusetzen, man führt den „kalten Gang“ des Generators herbei.

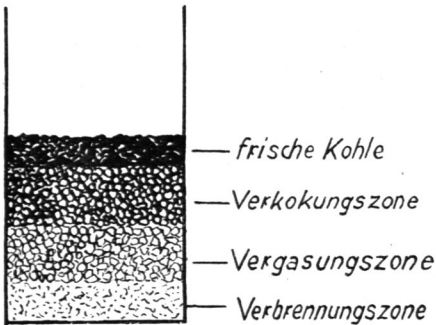


Fig. 34. Schematische Darstellung eines Generators.

Dies tritt teilweise schon ein, wenn man an Stelle von Koks Steinkohle oder Braunkohle benützt oder wenn man, was noch ausgiebiger ist, etwas Wasserdampf durch die Kohlenschicht leitet, was am einfachsten durch Anbringen einer mit Wasser gefüllten Schüssel unter dem Rost geschieht. Wir haben dann zuerst den Wärme verbrauchenden Entgasungsvorgang

und daran anschließend neben der Wärme liefernden Vergasung durch freien Sauerstoff die wärmebindende Bildung von Wassergas.

Aus Fig. 34 sind die einzelnen Teile, in die die Generatorgasbildung bei Verwendung natürlicher Kohlen zerfällt, ersichtlich.

Die Zusammensetzung des Generatorgases hängt auch von der Kohlenart ab. Nachstehend sind die Analysenresultate für ein aus Steinkohle erzeugtes Generatorgas angegeben:

CO	23,7 Vol %
H	6,5 „
CH ₄	1,9 „
CO ₂	5,3 „
N	62,6 „

Der Heizwert des Generatorgases beträgt nur 800 bis 1000 Kalorien für 1 m³.

Durch Einblasen größerer Mengen von Wasserdampf nimmt der prozentische Gehalt an Wassergas zu und damit steigt der Heizwert, was für manche industrielle Anwendungen von Bedeutung ist.

Als Beispiel eines Generators, der solches heizkräftiges Gas liefert, sei der Drehrostgenerator von Kerpély erwähnt, bei dem die Entfernung der gebildeten Asche (Schlacke) ununterbrochen geschieht (Fig. 35).

Der Mantel des zylindrischen Schachtes reicht mit seinem unteren Teile in die mit Wasser gefüllte Schüssel, die dadurch den Abschluß des Generators nach unten bildet. In ihrer Mitte baut sich exzentrisch ein runder Treppengrost auf, durch den von unten Luft und Wasserdampf ¹⁾ eingeblasen wird. Er wird ebenso wie die Schüssel

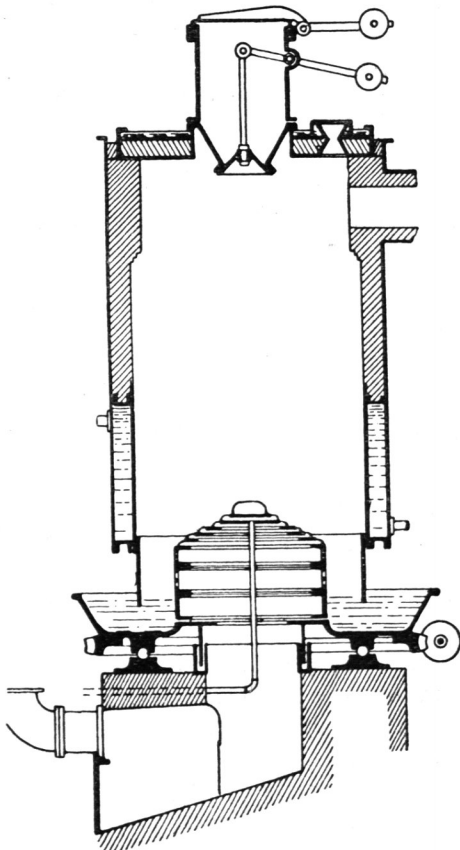


Fig. 35. Generator von Kerpély.

1) Wenn die Luft vorher in Rieselkammern mit Wasserdämpfen beladen wird, kann das Einblasen von heißem Wasserdampf vermieden werden.

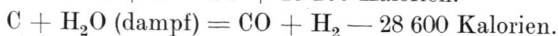
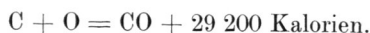
durch einen Motor in langsame Umdrehung versetzt, wodurch die Schlacke zwischen Rost und Mantel zerquetscht wird und in die Schüssel fällt, aus der sie mechanisch entfernt wird.

Die Kerpelygeneratoren vermögen in 24 Stunden über 20 t Steinkohle und bis 30 t Braunkohle zu vergasen.

Die Verwendung von Braunkohle gibt beispielsweise ein Gas folgender Zusammensetzung:

CO	30,5 Vol %
H	14,0 „
CH ₄	2,0 „
N	51,5 „
CO ₂	2,8 „

Durch Abänderung des Verhältnisses von Wasserdampf und Luft, die gleichzeitig über die glühende Kohle geleitet werden, kann man schließlich einen Punkt erreichen, wo die bei der Vergasung der Kohle durch den freien Sauerstoff erzeugte Wärme gerade hinreicht, um die Zerlegung des Wasserdampfes zu ermöglichen.



In der Praxis ist dies wegen der Wärmeverluste erst dann der Fall, wenn dreimal mehr Kohle durch Luft als durch Wasserdampf vergast wird. Man nennt das dabei erhaltene Gas *Mischgas* oder nach dem Erfinder *Dowsongas*.

Eigentlich sind alle Generatorgase, die unter Mitwirkung von Wasserdampf entstehen, Mischgase, obschon ihre Zusammensetzung oft beträchtlich von der des idealen Mischgases abweicht.

Das Mischgas wird wegen seines höheren Heizwertes (1200—1300 Kalorien für 1 m³) sowohl als Heizgas für industrielle Zwecke als auch zum Betrieb von Gasmaschinen als sogenanntes *Kraftgas* benützt.

Für den Motorbetrieb wird Mischgas als *Sauggas* erzeugt, indem der im Gange befindliche Motor ein Gemisch von Luft und Wasserdampf über die im Generator befindliche glühende Kohle saugt. Das dabei entstehende Gas muß, bevor es in den Zylinder eintritt, von Staub und Teer sorgfältig gereinigt werden, was in eigenen Reinigungsapparaten geschieht, die zwischen Generator und Motor eingeschaltet sind. Zur Erzeugung von Sauggas dienen Koks, Anthrazit oder auch Braunkohlenbriketts; letztere erfordern aber besondere Generatoren, um teerfreies Gas zu liefern.

Nachstehend sind einige Beispiele für die Zusammensetzung von Kraftgasen angeführt:

	Koks	Steinkohlen	Anthrazit (Sauggas)	Braunkohlen- briketts (Sauggas)
CO	29,2 Vol %	24,6 Vol %	23,3 Vol %	20,1 Vol %
H	10,1 „	14,8 „	17,4 „	15,6 „
CH ₄	0,8 „	1,6 „	2,0 „	1,7 „
CO ₂	3,5 „	6,0 „	5,5 „	9,4 „
N	56,2 „	53,0 „	51,3 „	53,1 „
Heizwert für 1 m ³	1218 Kal.	1268 Kal.	—	—

ζ. **Mondgas.** Bei der Vergasung der Kohle in den besprochenen Generatoren geht der Stickstoff infolge der hohen Temperaturen praktisch verloren. Wenn man aber nach dem Verfahren von Mond neben der Luft bedeutende Mengen von Wasserdampf (über 2 kg für 1 kg Kohle) einbläst, so sinkt die Temperatur im Generator soweit, daß der Stickstoff als Ammoniak gewonnen werden kann. Von dem zugeführten Wasserdampf setzt sich nur ein Teil mit der glühenden Kohle um, beträchtliche Mengen verlassen den Generator unzersetzt und nur dadurch ist der Prozeß überhaupt möglich, weil sonst die Temperatur zu stark herabgesetzt würde. Trotzdem empfiehlt es sich, das Gemenge von Luft und Wasserdampf vor dem Eintritt in den Generator durch Überhitzer zu leiten.

Die Mondgasgeneratoren vergasen stündlich gegen 10 t Steinkohle und liefern neben Ammoniak, das mit Schwefelsäure ausgewaschen wird, ein Gas, das einen Heizwert von 1200—1300 Kalorien besitzt und meist als Kraftgas in Motoren verwendet wird.

Die Zusammensetzung des Mondgases ist beispielsweise folgende:

H	27,5 Vol %
CO	11,0 „
CO ₂	16,5 „
CH ₄	2,0 „
N	43,0 „

Mondgasgeneratoren sind auch zur Überführung von Torf mit über 40% Wassergehalt in Gas unter gleichzeitiger Gewinnung von Ammoniak geeignet.

Mondgas wird durch Kühlung und Waschung in eigenen Apparaten gereinigt, die ähnlich wie die in den Leuchtgasfabriken verwendeten, eingerichtet sind.

Anhang. Zum Schlusse mögen noch zwei Gase erwähnt werden, die als Heizgase für bestimmte Zwecke, nämlich für die autogene Schweißung Verwendung finden; es sind dies der Wasser-

stoff und das Azetylen. Der Wasserstoff ist ein Hauptbestandteil des Wassergases und wird im Großen gewöhnlich daraus dargestellt.

Es kann dies in der Weise geschehen, daß man das Kohlenmonoxyd in Kohlendioxyd umwandelt und letzteres durch Wasser (bei hohem Druck) in Lösung bringt, oder auch indem man Eisenoxyde (natürliche Erze) durch das Wassergas reduziert und mittels des erhaltenen Eisens Wasserdampf bei hoher Temperatur zerlegt.



Außer aus Wassergas gewinnt man Wasserstoff durch elektrolytische Prozesse, vielfach sogar als Nebenprodukt. Er wird unter hohem Druck in Stahlzylindern in den Handel gebracht.

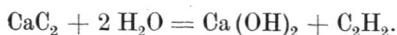
Der Wasserstoff ist ein farb- und geruchloses Gas, das mit Sauerstoff explosive Mischungen bildet; am heftigsten explodiert die Mischung von 2 Vol. Wasserstoff mit 1 Vol. Sauerstoff, die daher den Namen Knallgas führt.

Die Flamme des brennenden Wasserstoffes besitzt eine Temperatur von gegen 2000° und wird daher sowohl zum Schneiden als auch zum autogenen Schweißen von Eisen benützt. Beim Schneiden dient die Wasserstoffflamme nur zur Einleitung des Prozesses, das eigentliche Schneiden erfolgt dann durch den Sauerstoff, der das Eisen an den betreffenden Stellen wegbrennt. Beim autogenen Schweißen muß Überschuß von Sauerstoff vermieden werden, ja der Wasserstoff sogar in größerem Überschusse vorhanden sein, da sonst Oxydation eintritt.

Wegen der großen Explosivität von Sauerstoff-Wasserstoffmischungen werden diese nicht fertig verwendet, sondern Brenner benützt, in denen die Gase getrennt zugeleitet und erst an der Verbrennungsstelle selbst gemischt werden.

Wegen seiner geringen Dichte (0,0696) wird Wasserstoff auch zur Füllung von Luftschiffen benützt.

Azetylen. C_2H_2 . Azetylen wird durch Einwirkung von Wasser auf Calciumkarbid erhalten.



Hierbei wird aber so viel Wärme frei, daß bei schlechten Gasentwicklern eine starke Erhitzung des Gases eintritt, die zu einer ungünstigen chemischen Veränderung des Azetylens (Polymerisation), unter Umständen sogar zur Explosion führen kann. Es muß deshalb das Karbid stets in kleinen Mengen mit großen Wassermengen in Berührung gebracht werden, wie das bei den Einwurfapparaten der Fall ist. Nur bei

kleinen Azetylenlampen wird das Gas meist durch Zutropfenlassen von Wasser entwickelt.

Am zweckmäßigsten ist es, das Azetylen unter Druck in Aceton zu lösen und es aus diesen Lösungen in Freiheit zu setzen. Gegenwärtig bringt man solche Lösungen in Stahlflaschen, die einen porösen Aufsaugestoff, z. B. Kieselgur enthalten, unter dem Namen *Dissousgas* in den Handel. Solches Dissousgas wird auch beim autogenen Schweißen benützt.

Das Azetylen ist ein farbloses, im reinen Zustande nicht giftiges Gas, das mit Luft oder Sauerstoff sehr leicht explosive Mischungen bildet, da die Explosionsgrenzen weit auseinander liegen.

Die Azetylenflamme ist noch heißer als die Wasserstoffflamme (unter Verwendung von reinem Sauerstoff können Temperaturen von 3000° erreicht werden) und daher für die autogene Schweißung noch geeigneter. Auch hier ist Überschuß von Sauerstoff zu vermeiden; gewöhnlich nimmt man auf 3 Vol. Azetylen 4 Vol. Sauerstoff. (Für vollkommene Verbrennung wäre nach der Gleichung $2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ für 3 Vol. Azetylen $7\frac{1}{2}$ Vol. Sauerstoff nötig.)

II. Schmiermittel.

Da die Reibung von Metall auf Metall so groß ist, daß bei bewegten Maschinenteilen nicht nur viel Energie unnötig verbraucht würde, sondern auch eine beträchtliche Temperaturerhöhung eintreten müßte, ist die Verwendung von Schmiermitteln unumgänglich notwendig.

Als Schmiermittel dienen entweder Flüssigkeiten oder schlüpfrige, halbfeste Stoffe, die die Metallteile umhüllen und dadurch, daß sie die unmittelbare Berührung aufheben, die Reibung stark verringern.

Die Anforderungen, die man an ein gutes Schmiermittel stellen muß, sind im wesentlichen die folgenden:

1. Muß es imstande sein, die Reibung in entsprechendem Maße zu verringern, also einen genügenden Grad von Schlüpfrigkeit besitzen.
2. Darf es diesen Schlüpfrigkeitsgrad an der Luft nicht wesentlich ändern; es darf demnach unter dem Einflusse der Luft weder verharzen noch eintrocknen.
3. Muß es eine bestimmte, dem Schmierzweck angepaßte Viskosität haben, die durch Temperaturänderungen nicht allzu stark beeinflusst wird.
4. Dort wo das Schmiermittel der Winterkälte ausgesetzt ist, muß es entsprechend kältebeständig sein, also bei normalen Wintertemperaturen flüssig bleiben.