I. Die Heiz- und Leuchtstoffe.

Alle chemischen Vorgänge spielen sich unter Kraftverbrauch oder, wenngleich seltener, unter Kraftabgabe ab. An Stelle des Begriffes „Kraft“ wird heute fast allgemein der umfassendere Ausdruck „Energie“ gesetzt, und wir können mithin auch sagen, daß mit jeder stofflichen Veränderung auch eine Veränderung des Energie-Inhaltes Hand in Hand geht. Wenn wir Holz oder Kohle soweit erwärmen, daß sich der Kohlenstoff und Wasserstoff mit dem Sauerstoffe der Luft verbindet, worauf dann dieser chemische Prozeß solange anhält, als brennbare Substanz vorhanden ist, so wird Energie in Form von Wärme abgegeben. Wenn wir aber die Verbindung des Eisens mit dem Sauerstoffe trennen und metallisches Eisen gewinnen wollen, so müssen wir Energie in Form von Wärme zuführen; dieser Vorgang spielt sich also unter Energieverbrauch ab.

In den letzten Jahren hat das Gebiet der chemischen Technologie durch die Einführung und vielfache Anwendung einer anderen Form der Energie, der elektrischen, eine wesentliche Ausgestaltung erfahren. Heute stehen uns zu ihrer Gewinnung nur drei praktisch gangbare Wege offen: die Umwandlung von Energie in Form von Wärme in mechanische, und diese in elektrische Energie (Dampfkessel, Dampfmaschine, Dynamo, wobei an Stelle der Dampfmaschine die Dampfturbine oder auch die Gaskraftmaschine treten kann), die Umwandlung von potentieller Energie (Wasserkräfte, Wind, Sonnenwärme, Ebbe und Flut) in mechanische und elektrische Energie, und endlich die Umwandlung chemischer Energie in elektrische, wie sie sich in der Batterie vollzieht. Doch findet immer nur eine Umformung vorhandener Energien, niemals eine Erschaffung von Energie statt, und auch die Umformung verläuft nie verlustlos, wir sind immer nur imstande, einen gewissen Anteil der verfügbaren Energie auch wirklich nutzbar zu machen, während der Rest verloren geht. Die strahlende Wärme, die wir in der Nähe des Dampfkessels verspüren, die Verluste durch die Reibung in den Lagern der Dampfmaschine und des Dynamos sind Beispiele dieser Art. Aufgabe der Technik ist es daher auch, diese unvermeidlichen Verluste nach Möglichkeit zu verringern.

Jedes chemisch-technologische Verfahren ist auf Energieverbrauch angewiesen. Zum Verdampfen und Schmelzen, zum

Zerkleinern und Rühren, zur Einleitung und Durchführung chemischer Vorgänge ist Energie nötig, und die Energiebeschaffung ist daher für jedes Verfahren ebenso wichtig, wie die Beschaffung der Roh- und Ausgangsprodukte selbst. Die moderne chemische Technologie wird jedoch auch von dem Grundsatze der Ökonomik beherrscht, d. h. von dem Streben, mit dem geringsten Aufwande an Energie und Rohstoff die höchsten Ausbeuten zu erzielen. Der *Ostwald*sche „energetische Imperativ": Vergeude keine Energie, verwerte sie! kommt demnach auch hier voll zur Geltung. Da unsere hervorragendsten Energiequellen die fossilen Brennstoffe sind, wollen wir sie an erster Stelle in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen.

Auch Licht ist eine Energieform, und die Erzeugung von Licht ist nur unter Aufwendung bezw. Umformung von Energie möglich. Da nun viele fossile Brennstoffe auch zur Erzeugung von Leuchtstoffen dienen, oder wie z. B. das Erdöl nur einer Reinigung bedürfen, um zu Beleuchtungszwecken verwendbar zu sein, so wird sich die Erörterung der chemischen Technologie der Leuchtstoffe zweckmäßig auch in diese Gruppe einfügen.

1. Die fossilen Brennstoffe.

Zu den fossilen Brennstoffen gehören im engeren Sinne der *Torf* und die *Kohle*, im weiteren ist ihnen auch das *Erdöl* und das *Erdgas* zuzuzählen. In chemischer Hinsicht haben sie das Gemeinsame, daß sie ausnahmslos Kohlenstoff und meist auch Wasserstoff enthalten, und diese beiden Elemente oder ihre Verbindungen sind die eigentlichen Energielieferanten. Wird Kohlenstoff verbrannt, so verbindet er sich mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd oder Kohlensäure, wobei Wärme frei wird, Wasserstoff verbrennt zu Wasserstoffoxyd oder Wasser, ein Vorgang, der ebenfalls mit Energieentbindung einhergeht. Eine Zerstörung der ursprünglich vorhandenen Substanz ist damit jedoch nicht verbunden, es findet nur eine Änderung der Form statt. Wenn wir 12 *kg* Kohlenstoff verbrennen, so verbinden sie sich mit genau 32 *kg* Sauerstoff zu 44 *kg* gasförmiger Kohlensäure, aus denen wir durch geeignete chemische Prozesse wieder die 12 *kg* Kohlenstoff und 32 *kg* Sauerstoff verlustlos wiedergewinnen könnten. Während sich aber die Entstehung der Kohlensäure, also die Verbrennung des Kohlenstoffes unter Energieentwicklung abspielt, müßten wir, um aus der Kohlensäure wieder Kohlenstoff darzustellen, Energie aufwenden, und zwar genau ebensoviel, als bei der Verbrennung

des Kohlenstoffes frei wurde. Auch der Wasserstoff zeigt das gleiche Verhalten: 2 *kg* Wasserstoffgas verbrennen mit 16 *kg* Sauerstoffgas zu 18 *kg* Wasser, und zur Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff, etwa mit Hilfe des elektrischen Stromes, müssen wir wieder ebensoviel Energie aufwenden, als früher frei wurde. Dieses Verhalten des Kohlenstoffes und des Wasserstoffes ist durch zwei Naturgesetze begründet, denen auch alle anderen Körper unterworfen sind: das Gesetz von der Erhaltung des Stoffes und von der Erhaltung der Energie. Stoff und Energie sind in ihrer Gesamtheit gegebene Größen, die wir weder willkürlich vermehren, noch verringern, sondern nur umformen können, wobei es natürlich immer darauf ankommt, die größte Menge nutzbarer Energie oder der darzustellenden veredelten Substanz zu gewinnen.

Torf und *Kohle* sind ausnahmslos aus Zellulose, dem wichtigsten Baustoffe der grünen Gewächse, entstanden. Die *Zellulose* besteht im chemischen Sinne aus drei Elementen, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Die grünen Pflanzen schöpfen diese Materialien aus der Luft und aus dem Wasser, der Kohlensäuregehalt des Luftozeans bildet ihre unerschöpfliche Kohlenstoffquelle, während das Wasser den Wasserstoff zu liefern hat. Der Aufbau der organischen Stoffe des Pflanzenleibes aus diesen unorganischen Rohstoffen vollzieht sich in den grünen Pflanzenzellen und geht, wie die meisten chemischen Vorgänge, unter Energieverbrauch von statten, die Energiequelle ist in diesem Falle die Sonne. Die verbrauchte Energie geht jedoch nach dem Gesetze von ihrer Erhaltung nicht verloren, sondern wird in den erzeugten organischen Stoffen, also auch in der Zellulose gebunden und in einer Form festgelegt, aus der wir sie wieder in Freiheit setzen können. Dies ist der Fall, wenn wir Zellulose (Holz) verbrennen; unter Abspaltung der gleichen Energiemenge, die zum Aufbaue nötig war, zerfallen die Baustoffe wieder und es bildet sich neuerdings Kohlensäure und Wasser. Die Energiemenge, die wir so nutzbar machten, stammt aber von der Sonne und wurde von ihr seinerzeit als strahlende Energie zur Erde gesandt.

Bei der Verbrennung der Zellulose zu Kohlensäure und Wasser findet eine restlose Vereinigung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes mit Sauerstoff statt, wir bezeichnen solch einen Vorgang als *Oxydation*, ihr glatter Verlauf setzt das Vorhandensein einer ausreichenden Menge Sauerstoff (16 Teile Sauerstoff für 12 Teile Kohlenstoff oder 2 Teile Wasserstoff) voraus. Ist

Sauerstoff nicht in genügender Menge vorhanden, so geht dieser Vorgang auch nur unvollständig von statten und dann entstehen Zwischenprodukte, die natürlich immer noch oxydierbar sind, in ihren Eigenschaften aber schon wesentlich von der Zellulose, aus der sie entstanden, abweichen.

Gelangen beispielsweise abgestorbene Pflanzen unter Wasser, so sind sie von der Luft abgeschlossen, die Einwirkung des Sauerstoffes kann sich daher nur auf jene Mengen beschränken, die im Wasser gelöst sind. Die meisten Elemente — und zu diesen gehören auch Kohlenstoff und Wasserstoff — verbinden sich nur dann energisch mit Sauerstoff, wenn der Prozeß durch Energiezufuhr (Entzündung) eingeleitet wurde. Diese Bedingung fehlt bei den unter Wasser geratenen abgestorbenen Pflanzen, und deshalb wird sich auch hier der Oxydationsvorgang nur allmählich und unter gleichzeitigem Auftreten von Zwischenprodukten abspielen. In erster Linie wird der Wasserstoff zu Wasser oxydiert, außerdem treten auch kohlenstoffhaltige Verbindungen, wie Kohlensäure und Methan (Sumpfgas) auf, der Vorgang verläuft jedoch immer so, daß kohlenstoffreichere Verbindungen hinterbleiben und eine Anreicherung der Masse mit Kohlenstoff stattfindet.

Derartige veränderte Pflanzenmassen werden als „*Torf*“ bezeichnet. Je nach seinem Alter ist der Torf bald weniger, bald mehr zersetzt, d. h. die Reste der ursprünglichen Pflanzen sind in wenig zersetztem Torfe noch deutlich, im gut zersetzten dagegen nicht mehr mit freiem Auge wahrnehmbar. Je älter der Torf ist, desto dichter, dunkler und schwerer wird er und desto größer ist im allgemeinen auch sein Gehalt an Kohlenstoff, umso geringer sein Gehalt an Wasserstoff und Sauerstoff.

Der geschilderte Vorgang der Torfbildung schreitet ungehindert fort, wenn er naturgemäß mit zunehmendem Alter und Mächtigkeit der Torfschichten auch immer langsamer verläuft, weil dann der Zutritt von Sauerstoff zu den unteren Schichten immer schwieriger wird. Unter allen Umständen haben wir jedoch die Torflager als Zwischenglieder anzusehen, aus denen die Braunkohlen-, Steinkohlen- und Anthrazitablagerungen hervorgingen. Freilich stammen Braun- und Steinkohlen aus ganz anderen Pflanzenfamilien als jene, die heute torfbildend sind (vorwiegend Sauergräser, Schilfrohr und Hypnummoose für die „Niedermoore“, echtes Torfmoos, Sphagnum und scheidiges Wollgras, Eriophorum vaginatum für die „Hochmoore“), doch weisen verschiedene Mo-

mente darauf hin, daß die Umwandlung der Zellulose in Kohle stets über die Torfbildung als Zwischenglied führte. *Credner* veranschaulicht diese Vorgänge mit folgenden Worten:

„Bei der unter Luftabschluß durch überlagernde tonig-sandige Gesteine vor sich gehenden außerordentlich langsamen Zersetzung (Vermoderung, Verkohlung) der Pflanzen verbinden sich die pflanzlichen Elemente untereinander; es vereinigt sich ein Teil des Kohlenstoffes mit Sauerstoff zu Kohlensäure, ein anderer mit Wasserstoff zu Sumpfgas, welche entweichen, und endlich ein Teil des Wasserstoffes mit Sauerstoff zu Wasser. Nun ist aber in der entstehenden Kohlensäure ein Gewichtsteil Kohlenstoff mit $2^2/_3$ Gewichtsteilen Sauerstoff, im Wasser ein Gewichtsteil Wasserstoff mit 8 Gewichtsteilen Sauerstoff verbunden, so daß die Zersetzung, deren Produkte sie sind, namentlich auf Kosten des Wasserstoffes und Sauerstoffes der Holzfaser (die 50% Kohlenstoff, 6% Wasserstoff und 44% Sauerstoff im Durchschnitte enthält) vor sich geht. Diese beiden Elemente werden der vermodernden Pflanzenmasse viel rascher entzogen als der Kohlenstoff, wodurch zugleich eine Anreicherung, eine relative Vermehrung dieses Elements stattfindet. Der Vermoderungs- oder Verkohlungsprozeß arbeitet demgemäß darauf hin, aus der gewöhnlichen Pflanzensubstanz im Laufe der Zeit reinen Kohlenstoff herzustellen. Zugleich aber werden die in den aufgespeicherten Pflanzenmassen reichlich vorhandenen und aus den einzelnen Teilen derselben in großen Mengen sich bildenden löslichen humin- oder ulminartigen Substanzen durch das Wasser aufgelöst und als feste, nach und nach erhärtende Massen in den Hohlräumen und Lücken zwischen den einzelnen Pflanzenresten wieder ausgeschieden. Pflanzliche Massen, von Sedimenten bedeckt, unterliegen dieser Zersetzung außerordentlich langsam, da ihnen die Bedingungen zur Fäulnis, namentlich die Möglichkeit des Zutrittes der atmosphärischen Luft und des Entweichens der gasförmigen Produkte nur in höchst beschränktem Maße gegeben sind. So hat denn die von einer mächtigen Schichtenreihe bedeckte Steinkohle, trotzdem Millionen von Jahren seit ihrer Ablagerung vergangen sein müssen, ihre Zersetzung noch nicht vollendet. Die sich durch den Verkohlungsprozeß in ihr bildenden und anfänglich von ihr eingeschlossenen, dann exhalierten Gase sind, außer Sauerstoff und Stickstoff, von hinzutretender Luft herrührend, Kohlensäure und Sumpfgas. Von diesen vier Gasen sind z. B. in 100 g der westfälischen und sächsischen Kohle

15 bis 60 cm^3 enthalten. Fortwährend, zuweilen aber auch plötzlich und in gefahrbringender Weise, entweichen Kohlensäure (Schwaden) und Sumpfgas (schlagende Wetter) und zeigen an, daß sich der Verkohlungsprozeß noch im vollen Gange befindet. Sein Ziel erreicht er erst, wenn Anthrazit und Graphit hervorgebracht sind; in diesen seinen Endprodukten liegt der Kohlenstoff brach und gefesselt in der Erde, bis ihn der Mensch für seine Zwecke benutzend zu Kohlensäure verbrennt und ihn so der Atmosphäre wiedergibt, von wo aus er seinen Kreislauf von neuem beginnt. Die Länge der geologischen Zeiträume ersetzt mithin den freien Zutritt der Luft oder den Einfluß höherer Temperatur, so daß der Kohlenstoffreichtum der Kohlengesteine in demselben Maße zunimmt, je älter diese sind. Torf, Braunkohle und Steinkohle sind einzelne Stadien des besprochenen Verkohlungsprozesses der Pflanzenmasse, Anthrazit und Graphit die Endprodukte desselben.

Lokal wird der Verkohlungsprozeß beschleunigt: 1. durch die Bildung zahlreicher Spalten infolge von Faltungen und Zerreißungen der kohleführenden Formationen; 2. durch Zerstückelung ausgedehnter Kohlenfelder infolge von Erosionen; in beiden Fällen wird der Zutritt von atmosphärischer Luft und das Entweichen der entstehenden Gase erleichtert und der Verkohlungsprozeß dadurch befördert; 3. durch gebirgsbildenden Druck, deshalb sind die Kohlen, wo sie horizontal und ungestört liegen, meist bituminös und werden immer magerer, je auffallendere Biegungen sie erleiden, und endlich zu Anthrazit, wo die stärksten Faltungen und Zusammendrückungen stattgefunden haben, wie z. B. in den Anthrazitbecken Pennsylvaniens; 4. durch Einwirkung hoher Temperatur von seiten glutflüssiger Gesteine, welche die betreffende Kohlenformation durchsetzen; so ist die erdige Braunkohle des Meißners im Kontakte mit Dolomit und Basalt in anthrazitähnliche Kohle, in Stengel-, Pech- und Glanzkohle, die Steinkohle von Waldenburg in der Berührung mit Melaphyr in Anthrazit umgewandelt. In allen diesen Fällen ist der Verkohlungsprozeß infolge lokaler Beeinflussung der Zeit vorangeeilt."

Das Gesagte geht selbstverständlich auch aus der chemischen Zusammensetzung von Holzsubstanz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit und Graphit hervor, die mit zunehmendem Alter reicher an Kohlenstoff, dagegen ärmer an Wasserstoff und Sauerstoff werden, bis endlich der Graphit — von anorganischen

Beimengungen (Asche) abgesehen — nur mehr aus reinem Kohlenstoff besteht. Die folgenden Zahlen veranschaulichen dies.

Geologisches Zeitalter	Substanz	Zusammensetzung der organischen Substanz		
		Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff und Stickstoff
Neuzeit	Holz	49·57	6·11	43·90
Diluvium	Torf	60·02	5·88	34·10
Tertiär	Braunkohle von Köln	66·96	5·25	27·76
	Braunkohle von Meißner	72·00	4·93	23·07
	Erdige Braunkohle von Dux	74·20	5·89	19·80
Karbonische Periode	Bituminöse Steinkohle von Saarbrücken	81·82	3·30	14·50
	Cannelkohle von Wigan	85·81	5·85	8·34
	Hartleykohle von Newkastle	83·42	5·61	5·97
	Bituminöse Steinkohle von Eschweiler	89·16	3·21	6·45
Karbonische, devonische, silurische Periode	Anthrazit	94	3	3
Archäische Periode	Graphit	100	0	0

a) Torf.

Die Torfe sind, wie erwähnt, das erste Umwandlungsprodukt der Pflanzenmassen bei ungenügendem Zutritt von Sauerstoff. Je nach den Pflanzenarten, die an der Torfbildung beteiligt sind, unterscheiden wir *Nieder-*, *Niederungs-*, *Grünlands-* oder *Flachmoore* und *Moos-* oder *Hochmoore*. Die ersten entstehen aus den Überresten von Schilfrohr, Sauergräsern und Hypnummoosen und bauen sich vorwiegend unterhalb des Normalwasserstandes auf. Die Torfschichten werden nach oben immer ärmer an Pflanzen-

nährstoffen, und daher lösen sich — wie *Weber* gezeigt hat — Pflanzengenerationen ab, deren Ansprüche an den Vorrat an Pflanzennährstoffen immer geringer werden.

Ist das Moor dem Grundwasserstande entwachsen und dadurch relativ trockener geworden, so siedeln sich meist Holzgewächse (Weide und Erle, später Kiefer und Birke) an, deren Blätter, Nadeln und Zweige nun ebenfalls Torf — sogenannten Bruchwald-, Birken, Föhrentorf usf. — bilden. Diese Torflage ist abermals, im Vergleiche mit den darunter liegenden, ärmer an Nährstoffen, und nun können nur mehr Pflanzen gedeihen, deren Ansprüche an die Bodennährstoffe noch geringer sind. Es siedelt sich zwischen den Stämmen das echte Torfmoos (Sphagnum) an, überzieht einem Teppich gleich den Boden, schließt die Wurzeln der Stämme von der Luft ab und bewirkt so ihr Absterben. Die Baumleichen faulen dort, wo sie vom Moose umgeben sind, ab, werden vom Winde geworfen, und nun wuchert das Torfmoos ungehindert fort, meist in Gesellschaft mit dem scheidigen Wollgrase, Eriophorum vaginatum, oft mächtige Torfschichten bildend. Das Sphagnum besitzt das Bestreben, polster- und hügelförmig emporzuwachsen, dies teilt sich dem ganzen Moore mit und hat zur Folge, daß die Hochmoore stets uhrglasförmig aufgewölbt und in der Mitte höher sind als an den Rändern. Daher stammt ihre Bezeichnung „Hochmoor", die mit der Meereshöhe, in der sie sich befinden, nichts gemein hat. Die ausgedehnten Moore in Nordwestdeutschland, fast unmittelbar an der Meeresküste, sind Hochmoore, während wir beispielsweise in den Alpenländern in Höhenlagen von 2000 *m* und darüber zahlreiche Niedermoore finden.

Die Eigenschaften des in den Mooren lagernden Torfes hängen ebenso sehr von den Pflanzen, aus denen er entstand, wie von seinem Alter ab. Da mit zunehmendem Alter der Torf dichter und schwer wird und auch der Kohlenstoffgehalt steigt, nimmt der Brennwert zu, junge, wenig zersetzte und leichte Torfe, besonders der „jüngere Moostorf", der gewöhnlich die oberste Schichte der Hochmoore bildet, ist seiner lockeren Beschaffenheit wegen zu Brennzwecken nicht geeignet, bildet dagegen ein ausgezeichnetes Material zur Erzeugung von Torfstreu.

Moore, die sich normal aufgebaut haben, zeigen meist die folgende Anordnung der Schichten, wozu bemerkt sein mag, daß die gleiche Anordnung sowohl in Norddeutschland wie in

südlich gelegenen Mooren anzutreffen ist, wenn auch mitunter eine oder die andere Torfart weniger ausgebildet ist oder ganz fehlt.

Hochmoorbildungen	Lebende Vegetation, Jüngerer Moostorf, Grenzhorizont (Heide- oder Wollgrastorf), Älterer Moostorf.
Übergangsbildungen	Scheuchzeriatorf oder Carex-Sphagnum-Wollgrastorf, Föhren- oder Birkenwaldtorf, Bruchwaldtorf (Erlentorf).
Niedermoorbildungen	Carextorf, mitunter auch Hypnumtorf, Schilftorf.
Teich- und Seebildungen mit nach unten abnehmendem Gehalte an organischen Substanzen	Torfmudde, Lebertorf, Kalk- und Tonmudde.

Untergrund.

Die *Gewinnung* des *Torfes*, die meist erst nach der Entwässerung des Moores geschehen kann, erfolgt gewöhnlich durch Handarbeit. Der Torf wird mit besonderen Geräten (Torfmessern, Flügeleisen, Breitstechern (Abb. 1) in regelmäßigen Stücken losgetrennt und auf dem Boden, oder in niederschlagsreichen Gegenden auf Gerüsten oder in Hütten zum Trocknen angesetzt. Im frischen Zustande enthält selbst Torf aus gut entwässerten Mooren immer noch 90% Wasser, guter Brenntorf soll nicht mehr als etwa 20 bis 25% Wasser enthalten. Es handelt sich mithin um die Verdampfung eines gewaltigen Wasserquantums, und darin liegt die wesentlichste Schwierigkeit der Gewinnung von Brenntorf in größeren Mengen, weil sie sich naturgemäß nur auf die Frühjahrs- und Sommermonate erstrecken kann.

An Versuchen, den Torf zu „veredeln", hat es natürlich nicht gefehlt, doch ist alles, was bisher vorgeschlagen wurde, erfolglos geblieben. Durch Anwendung starker Drucke läßt sich dem Torfe nur ein sehr geringer Anteil des Wassers entziehen, künstliche Trocknung ist unter allen Umständen zu teuer, und das gleiche gilt von der Behandlung des Torfes mit elektrischen Strömen und anderen Verfahren.

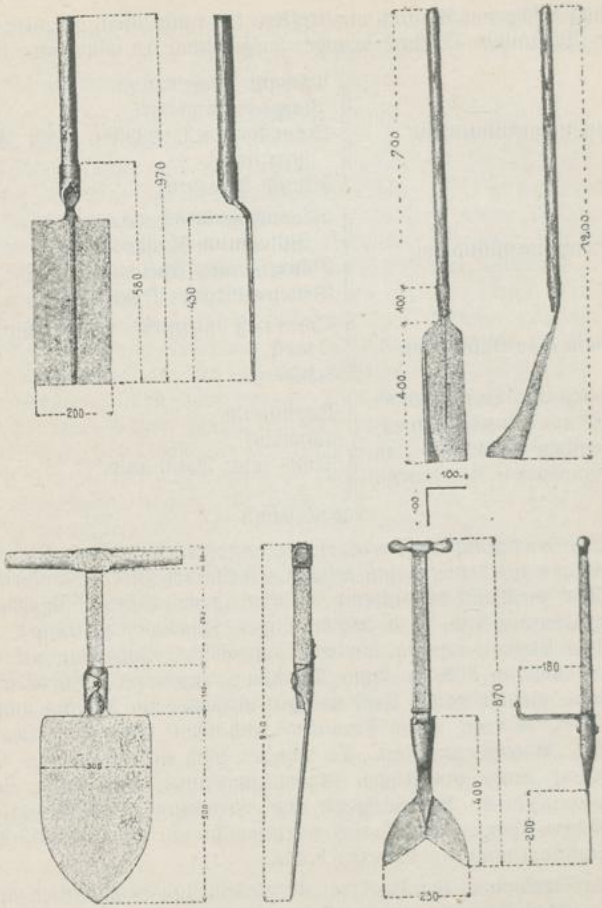


Abb. 1. Torfstechgeräte: Torfmesser, Flügeleisen, Breitstecher.

Das einzige für den Großbetrieb in Betracht kommende Verfahren besteht in der Darstellung von sogenanntem „*Formtorf*", meist „*Preßtorf*" genannt. Die Torfformmaschinen (Abb. 2) be-

sitzen rotierende Messerwellen, die sich gegeneinander bewegen. Wird ihnen der nasse Torf übergeben, so zerkleinern und mischen sie ihn, wodurch er sich während des Trocknens weit stärker zusammenzieht, rascher widerstandsfähig gegen den Regen, fester und leichter transportfähig wird. Ein Abpressen des Wassers ist damit nicht verbunden, ebenso findet natürlich auch keine Erhöhung des Heizwertes statt, doch wird Torf mit höherem Gebrauchswerte gewonnen.

Die verschiedenen Verfahren zur Verkohlung des Torfes unter Gewinnung von Nebenprodukten, die Torfvergasung etc., Verfahren, die entweder in der Praxis versagten oder noch nicht alle Kinderkrankheiten überwunden haben, werden wir an einer später folgenden Stelle kurz besprechen.

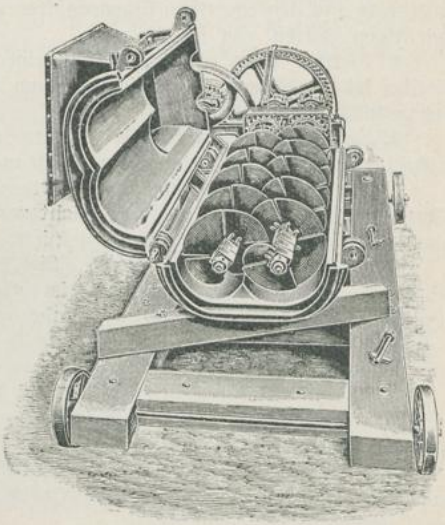


Abb. 2. Torfformmaschine von R. Dolberg.

b) Braunkohlen.

Als Braunkohlen bezeichnet man meist die Kohlenablagerungen der Tertiärformation, besonders ihrer mittleren Abteilung, Miozäns, doch ist ein scharfer Unterschied zwischen Braunkohlen des und Steinkohlen nicht immer möglich. *Donath* hat daher vorgeschlagen, chemische Unterscheidungsmerkmale zu Hilfe zu nehmen und alle jene Kohlen den Braunkohlen zuzuzählen, die noch eine deutliche Reaktion auf Ligninkörper, aus der ursprünglichen Holzsubstanz stammend, liefern. Andere chemische, doch auch nicht unter allen Umständen zuverlässige Unterscheidungsmerkmale ergeben sich beim Erhitzen der Kohle unter Luftabschluß, Steinkohlen liefern alkalisch, Braunkohlen sauer rea-

gierende Dämpfe. Mit Kalilauge erhitzt, bleibt bei Steinkohle die Flüssigkeit farblos, färbt sich dagegen bei Braunkohle meist braun, doch ist auch dieses Merkmal durchaus nicht zuverlässig, und oft ist eine scharfe Unterscheidung überhaupt nicht möglich, da naturgemäß, wie schon aus der Abstammung und Entstehung hervorgeht, ältere Braunkohlen und jüngere Steinkohlen sich so im Aussehen wie auch in der chemischen Zusammensetzung sehr ähnlich sind.

Gewöhnlich unterscheidet man, je nach dem Zersetzungszustande und den sonstigen Eigenschaften, die folgenden technisch wichtigen Sorten von Braunkohle:

1. *Lignite.* Hier sowie in den holzigen und faserigen Braunkohlen ist die Holzstruktur noch deutlich zu erkennen, die Farbe ist gelblich bis dunkelbraun.

2. *Gemeine Braunkohle.* Sie zeigt nur mehr Spuren der Holzstruktur, ist hellbraun bis schwarz, derb und besitzt erdigen Bruch.

3. *Erdige Braunkohlen.* Die Farbe ist meist gelblich bis dunkelbraun, sie sind erdig und leicht zerreiblich, der Bruch ist matt, Pflanzenstruktur überhaupt nicht mehr vorhanden.

4. *Blattkohle* und *Papierkohle.* Sie bildet meist sehr dünne Platten und Lagen, die Blattkohle ist glänzend und dunkel, die Papierkohle matt und grau bis dunkelbraun.

5. *Moorkohle.* Eine lockere, braune bis dunkelschwarze Kohle, die mit Pflanzenüberresten und Holzstücken untermengt ist.

6. *Pechkohle* und *Glanzkohle.* Diese Sorten bilden die wertvollste Braunkohle, sie sind fest und hart, schwarzbraun bis pechschwarz und besitzen den höchsten Heizwert.

Jett oder *Gagat* ist ebenfalls Braunkohle, doch so hart, daß er als Schmuckstein verwendet wird. Er ist samt- bis pechschwarz und besitzt muscheligen Bruch.

Die chemische Zusammensetzung der organischen (also wasser- und aschefrei gedachten) Substanz der Braunkohlen bewegt sich innerhalb der folgenden Grenzen:

Kohlenstoff	50	bis	77%
Wasserstoff	3	„	5%
Sauerstoff	26	„	37%
Stickstoff	0	„	2%

Der Wassergehalt der Braunkohlen ist oft sehr bedeutend, er beträgt im grubenfeuchten Zustande mitunter 50% und selbst noch wesentlich mehr. Auch der Aschengehalt ist größeren Schwankungen unterworfen; beginnend mit wenigen zehntel Prozent, steigt er bis auf 10, 12% und darüber an.

Die geförderte Kohle gelangt, soferne sie genügend trocken und auch sonst entsprechend beschaffen ist, sofort als „Förderkohle“ zum Konsum, oder sie wird der Aufbereitung unterworfen, wobei sie die „Rätter“, Siebe verschiedener Art, die sich in rüttelnder und schwingender Bewegung befinden, passieren muß. Man erhält auf diese Weise *Stückkohle* verschiedener Größe und *Klarkohle*.

Die *Klarkohle*, die so wie sie ist, als Feuerungsmaterial nicht verwendet werden kann, wird häufig zu *Naßpreßsteinen* verarbeitet. Man unterwirft sie zu diesem Zwecke in Formen einem Drucke von 5 bis 7 Atmosphären und trocknet sie dann an der

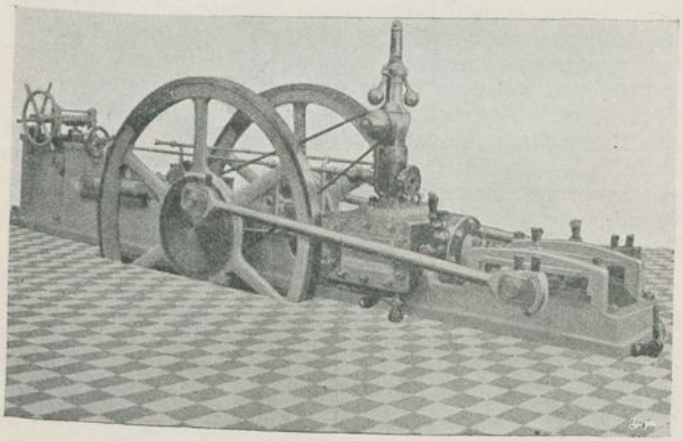


Abb. 3. Brikettpresse.

Luft. Da diese Naßpreßsteine aber leicht zerbrechlich sind und keinen weiteren Transport vertragen, ist ihre Verwendung auf die Umgebung der Erzeugungsstätte beschränkt.

Weit wichtiger ist die Herstellung der *Braunkohlenbriketts*, die allerdings einerseits besondere Vorrichtungen, andererseits eine Braunkohle von gewisser Beschaffenheit voraussetzt. Die Brikettierung beruht darauf, daß die genügend vorgetrocknete Kohle in der Brikettpresse unter sehr starkem, doch nur kurze Zeit anhaltendem Drucke gepreßt wird. Dabei erwärmt sich die Kohle so stark, daß das in ihr enthaltene Bitumen erweicht und

die Teilchen verkittet. Der Gehalt an *Bitumen*, worunter die harz-, wachs- und asphaltähnlichen Bestandteile der Kohle zu verstehen sind, soll nicht unter 4 und nicht über 14% betragen. Ist er zu gering, so binden die Briketts nicht genügend ab, zu bitumenreiche Briketts dagegen zerfallen im Feuer.

Auch der *Wassergehalt* darf 16 bis 20% nicht übersteigen. Da die Förderkohle bezw. die zu brikettierende Klarkohle meist einen wesentlich höheren Wassergehalt besitzt, muß das zerkleinerte Material zunächst künstlich getrocknet werden. Dies geschieht in Vorrichtungen, die so gebaut sind, daß das Kohlenpulver mit den Feuergasen nicht in direkte Berührung kommt, meist werden Dampftelleröfen oder besonders die *Schulz*schen Röhrentrockenöfen verwendet. Das trockene Gut wird dann der Brikettpresse übergeben (Abb. 3), die automatisch arbeitet und den sich bildenden Brikettstrang bis zum Lagerraume vortreibt, wobei er gleichzeitig Gelegenheit findet, zu erkalten.

Braunkohlen mit höherem Bitumengehalte werden nicht zu Briketts verarbeitet, sondern durch trockene Destillation weiter verwertet, man erhält dabei eine Reihe wertvoller Produkte, besonders Paraffin, wovon später die Rede sein wird.

c) Steinkohle.

Wie erwähnt, ist eine scharfe Unterscheidung zwischen Braun- und Steinkohlen nicht möglich. Vielleicht das beste Unterscheidungsmerkmal bildet die *Ligninreaktion*, die zwar die Braunkohlen, doch nicht die Steinkohlen geben. Sie besteht darin, daß Braunkohlen beim Erwärmen mit verdünnter Salpetersäure auf dem Wasserbade eine braunrote Lösung liefern, während Steinkohle unverändert bleibt.

Auch bei Steinkohle werden verschiedene Kohlenarten unterschieden; die wichtigsten sind:

1. *Glanzkohle.* Sie ist tiefschwarz, meist spröde und leicht spaltbar, aschenarm und sehr reich an Kohlenstoff, enthält verhältnismäßig wenig flüchtige Bestandteile und liefert daher bei der trockenen Destillation eine hohe Koksausbeute.

2. *Anthrazit.* Diese sehr kohlenstoffreiche Kohle ist noch ärmer an flüchtigen Bestandteilen als die Glanzkohle, grauschwarz oder rötlichschwarz gefärbt und besitzt meist schwachen Metallglanz.

3. *Mattkohle* kommt häufig mit Glanzkohle in abwechselnden Lagen vor. Sie ist fester und härter als Glanzkohle, doch ärmer

an Kohlenstoff und reicher an Wasserstoff und Sauerstoff. Trocken destilliert liefert sie weniger Koks, doch mehr Gas.

4. *Cannelkohle.* Das wesentlichste Merkmal dieser leicht entzündlichen Kohle besteht darin, daß sie relativ reich an Wasserstoff, doch arm an Sauerstoff ist. Sie brennt mit langer, lebhafter Flamme fort.

Wichtiger als diese Einteilung ist die Klassifizierung der Steinkohle nach ihren technischen Eigenschaften, die sich bei der trockenen Destillation, der „Verkokung" zeigen. Man unterscheidet demnach Kesselkohle, Gaskohle, Schmiedekohle, Kokskohle usf. Am besten gehen die Unterschiede aus der folgenden Zusammenstellung von *Gruner* hervor.

Manche Steinkohlen „backen" in der Hitze, d. h. sie werden weich und schmelzen schließlich. Solche Kohle ist natürlich für Kesselfeuerung nicht geeignet, weil sie die Rostöffnungen verschließt. Die Erscheinung des Backens hängt jedenfalls mit dem Gehalte der Kohlen an noch nicht näher erforschten bituminösen Bestandteilen zusammen.

Bezeichnung der Kohle	Chem. Zusammensetzung %	Koksausbeute %	Beschaffenheit und Aussehen des Koks
1. Trockene Steinkohle mit langer Flamme	75·0-80·0 *C* 5·5- 4·5 *H* 19·5-15·0 *O*	50-60	pulverförmig oder höchstens gefrittet
2. Fette Kohle mit langer Flamme oder Gaskohle	80·0-85·0 *C* 5·8- 5·0 *H* 14·2-10·0 *O*	60-68	geschmolzen, aber stark zerklüftet
3. Eigentliche fette Kohle oder Schmiedekohle	84·0-89·0 *C* 5·0- 5·5 *H* 11·0- 5·5 *O*	68-74	geschmolzen bis mittelmäßig kompakt
4. Fette Steinkohle mit kurzer Flamme oder Kokskohle	88·0-91·0 *C* 5·5- 4·5 *H* 6·5- 5·5 *O*	74-82	geschmolzen, sehr kompakt
5. Magere oder anthrazitische Steinkohle	90·0-93·0 *C* 4·5- 5·0 *H* 5·5- 3·0 *O*	82-90	wenig zerklüftet, gefrittet oder pulverförmig

C bedeutet Kohlenstoff, *H* Wasserstoff, *O* Sauerstoff.

Die häufig beobachtete *Selbstentzündung* und Verwitterung der Kohlen ist auf ihren Gehalt an leicht oxydierbaren Substanzen zurückzuführen. Als solche kommen vor allem Schwefelkies in Betracht, dann aber auch sogenannte „ungesättigte" Kohlenwasserstoffverbindungen, die sich durch Aufnahme von Sauerstoff leicht oxydieren, wobei soviel Wärme frei wird, daß sich die Kohle entzünden kann.

Auch die Steinkohle wird zunächst einer oft sehr umständlichen Aufbereitung unterzogen, wobei sie in Stücke gleicher Größe (Stückkohle, Nußkohle usf.) gesondert wird. Die Feinkohle der mageren und nur wenig backenden Kohlensorten wird der *Brikettierung* unterworfen. Meist ist der Gehalt dieser Kohlen an bituminösen Bestandteilen zu gering, um die Herstellung genügend widerstandsfähiger Briketts zu ermöglichen. Man greift daher zu dem Hilfsmittel, die Brikettierung unter Zusatz solcher Substanzen, die sich ähnlich verhalten, wie die natürlichen bituminösen Stoffe, vorzunehmen. Als Bindemittel wird fast ausschließlich mittelweiches Steinkohlenteerpech verwendet, dessen Erweichungstemperatur zwischen 40 und 70° liegt. Es wird in Mengen von 6 bis 9% der gemahlenen und, wenn nötig, vorgetrockneten Kohle zugesetzt, worauf diese der Brikettpresse übergeben wird.

d) Bewertung der fossilen Brennstoffe.

Der Wert der für Heizzwecke bestimmten fossilen Brennstoffe hängt in erster Linie von der bei der Verbrennung frei werdenden Wärmemenge ab, die ihrerseits wieder durch die Zusammensetzung, bezw. die Wärmeentwickelung der organischen Substanz bedingt wird. Im allgemeinen kann man daher auch sagen, daß ein fossiler Brennstoff um so wertvoller sein wird, je mehr organische Substanz und je weniger Asche und Wasser er enthält. Die Asche beeinflußt den Wärmewert eines Brennstoffes nur indirekt, direkt aber das vorhandene Wasser, weil es verdampft werden muß, wozu Wärme verbraucht wird.

Die Energiemenge, die bei der Verbrennung eines Körpers frei wird, pflegt man nach *Wärmeeinheiten* oder *Kalorien* zu messen. Man versteht darunter jene Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 g Wasser um 1° C zu erwärmen. Wenn es also heißt, eine Kohle entwickelt 7000 Wärmeeinheiten, so besagt dies, daß 1 g, vollständig verbrannt und die freiwerdende Wärme verlustlos

auf Wasser übertragen, 7000 *g* Wasser um 1° oder 700 *g* um 10° oder 70 *g* um 100° zu erwärmen vermag.

Die bei der Verbrennung frei werdende Wärmemenge ist durchaus nicht bei allen Stoffen gleich. Reiner Kohlenstoff entwickelt beispielsweise 8100 Wärmeeinheiten, Wasserstoff 29.000, Schwefel 2500 Wärmeeinheiten, während 1 *g* Wasser zum Übergange aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand 600 Wärmeeinheiten verbraucht.

Wenn daher die Elementarzusammensetzung eines Brennstoffes bekannt ist, also sein Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und hygroskopischem Wasser, so kann daraus mit Hilfe dieser Zahlen der Wärmewert annähernd berechnet werden. Doch ist zu bemerken, daß nur der verfügbare oder „disponible" Wasserstoff gerechnet werden darf, d. h. jene Menge Wasserstoff, die sich bei der Verbrennung nicht mit dem in der Substanz vorhandenem Sauerstoffe unmittelbar zu Wasser verbindet. Die Verbrennung des Wasserstoffes findet nach der Formel

$$2H + O = H_2O$$

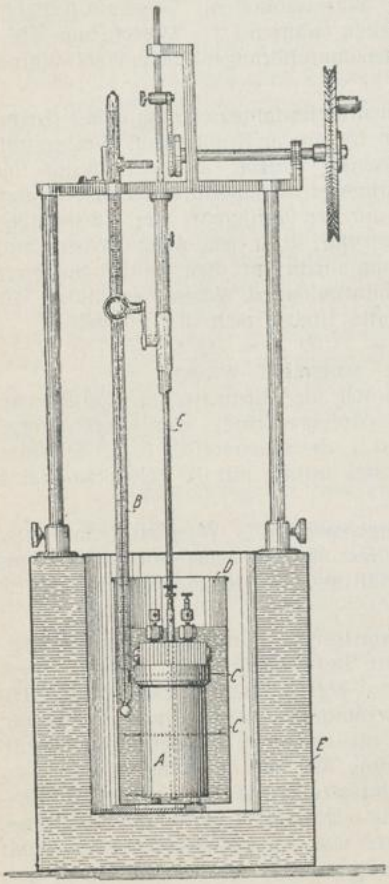
Wasserstoff Sauerstoff Wasser

statt und zwar vereinigen sich die Elemente im Verhältnisse ihrer Verbindungsgewichte (Atomgewichte). Das Verbindungsgewicht des Wasserstoffes ist 1, des Sauerstoffes 16, 2 Gewichtsteile Wasserstoff verbinden sich mithin mit 16 Teilen Sauerstoff zu 18 Teilen Wasser.

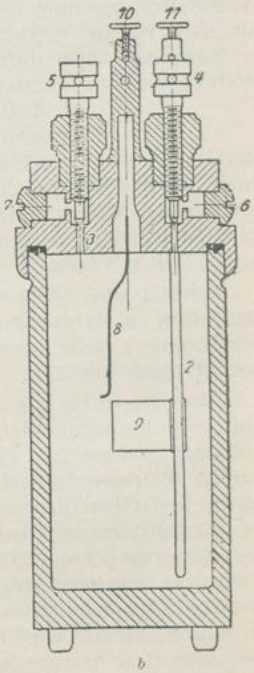
Enthält eine Kohle beispielsweise 6% Wasserstoff und 32% Sauerstoff, so verbrauchen diese 32 Teile Sauerstoff zur Bildung von Wasser 4 Teile Wasserstoff und der „disponible Wasserstoff" beträgt daher nur 2%.

Nun liegen in den Brennstoffen Kohlenstoff und Wasserstoff, also die wärmeliefernden Bestandteile, nicht einfach nebeneinander, sondern sie sind zu Verbindungen zusammengetreten und der Wärmewert dieser Verbindungen ist natürlich ein anderer, als der der freien Elemente, aus denen sie bestehen. Auf Grund der Elementarzusammensetzung, die mit Hilfe der Analyse ermittelt werden kann und der mitgeteilten Wärmewerte des Kohlenstoffes und Wasserstoffes läßt sich mithin der Wärmewert eines Heizstoffes niemals mit vollster Genauigkeit ermitteln, dies kann nur durch direkte Bestimmung der bei der vollständigen Verbrennung frei werdenden Wärmemenge geschehen, zu deren Ermittelung die *Kalorimeter* dienen.

Die Einrichtung eines solchen Apparates, des *Bombenkalorimeters* nach *Berthelot*, verbessert von *Kröcker* und *Mahler*, veranschaulicht Abb. 4. Es besteht aus dem Kalorimetergefäße *E* und der Bombe *A*, die nach der Beschickung in das Kalorimetergefäß gestellt wird. *E* ist aus Kupfer verfertigt und zur Verhütung von Wärmeverlusten und Wärmeaufnahme doppelwandig, der Zwischenraum wird mit



a



b

Abb. 4 *a* u. *b*. Bombenkalorimeter von Kröcker-Mahler.

Wasser gefüllt. In diesem Gefäße steht das aus blank poliertem Neusilber verfertigte eigentliche Kalorimetergefäß *D*, in das die Bombe eingesetzt wird.

Die Kalorimeterbombe *A* ist aus Stahl gedreht und mit einem gut abgedichteten, fest aufschraubbaren Deckel versehen, das Innere der Bombe ist meist mit Platinblech ausgefüttert. Der Deckel ist an drei Stellen durchbohrt, zwei Öffnungen können durch die Ventile 4 und 5 und die Verschlußschrauben 6 und 7 gasdicht verschlossen werden, in die dritte ist ein Platindraht (8) eingefügt und vom Bombendeckel isoliert bis zur Klemmschraube 10 geführt. Das ebenfalls mit einer Klemmschraube (11) ausgestattete Ventil 4 setzt sich im Inneren der Bombe in ein dünnes, aus Platinblech verfertigtes Rohr 2 fort, das das Platinschälchen 9 trägt. In dieses Schälchen wird die zu untersuchende, mit einer kleinen Presse zu einer Pastille geformte und genau gewogene Substanz gelegt, deren Wärmewert zu bestimmen ist. Um die Pastille wird ein dünner Baumwollfaden geschlungen und um einen sehr dünnen Platindraht gelegt, den man zwischen 8 und 2 spannt.

Ist dies vorbereitet, so wird der Deckel auf die Bombe aufgeschraubt und bei 6 komprimierter Sauerstoff eingeleitet, bis ein an 7 angeschlossenes Manometer einen Druck von 20 Atmosphären zeigt. Dann werden die Verschlußschrauben 6 und 7 eingesetzt, das Kalorimetergefäß *D* mit genau 2 *l* Wasser gefüllt und die Bombe hineingestellt. Man setzt nun das Rührwerk *C*, das bei *CC* im Kalorimetergefäße durchbrochene Rührscheiben trägt, in Bewegung und beobachtet von Zeit zu Zeit das Thermometer *B*, bis die Temperatur konstant geworden ist. Das Thermometer trägt eine Teilung in hundertstel Grade, mit Hilfe einer Lupe lassen sich tausendstel Grade mit hinreichender Genauigkeit schätzen.

Ist die Temperatur gleichförmig geworden, so schickt man durch die Klemmschrauben 10 und 11 einen Strom, der den dünnen Platindraht zwischen 8 und 2 sofort zum Glühen bringt. In der Atmosphäre von komprimiertem Sauerstoff entzündet sich der Baumwollfaden, der die Pastille entflammt, die nun sofort und vollständig verbrennt. Die frei gewordene Wärme teilt sich zunächst den Wandungen der Bombe mit und wird dann an das Wasser, in dem sie steht, übertragen. Das Thermometer beginnt zuerst langsam, dann rasch zu steigen, der höchste Stand wird notiert, er tritt nach drei bis vier Minuten ein, worauf die Tem-

peratur wieder fällt. Aus diesen Daten und gewissen Korrekturen für Wärmeverluste, die Zündung etc., deren Erörterung uns jedoch zu weit führen würde, kann nun leicht die von der verbrannten Substanz entwickelte Wärmemenge berechnet werden.

Angenommen, die am Thermometer abgelesene Temperatursteigerung betrage 3·658° C. Um diesen Betrag wurden die im Kalorimetergefäße *D* befindlichen 2 *l* Wasser erwärmt, mithin wäre 1 *l* Wasser um das Doppelte, um 7·316° C erwärmt worden, oder 1 *g* Wasser um 7316°. Da nun eine Kalorie jene Wärmemenge ist, die 1 *g* Wasser um 1° C erwärmt, beträgt der Wärmewert des untersuchten Heizstoffes 7316 Wärmeeinheiten oder Kalorien.

Für die Technik sind diese Untersuchungen höchst bedeutungsvoll. Denn sie ermöglichen einerseits, verschiedene Heizstoffe untereinander zu vergleichen, andererseits auf Grund des bekannten Wärmewertes die Ökonomik der Feuerungsanlagen zu überwachen. Freilich darf nicht übersehen werden, daß die im Kalorimeter gefundene Zahl ein theoretischer Wert ist, der die gesamte, von einem Heizstoffe gelieferte Wärmemenge umfaßt. Es findet hier zunächst in der Atmosphäre von komprimiertem Sauerstoff tatsächlich vollständige Verbrennung statt, andererseits wird auch die sonst durch Verdampfung des hygroskopischen und bei der Verbrennung entstehenden Wassers verloren gehende Wärmemenge mit beobachtet. Man bezeichnet daher die wie beschrieben ermittelten Zahlen auch als „*Verbrennungswärme*“, im Gegensatze zum „*Heizwert*“, zu dessen Ermittelung noch eine Korrektur für Wasser anzubringen ist.

Wie schon früher erwähnt, sind zur Überführung von 1 *g* flüssigem Wasser in Wasserdampf 600 Wärmeeinheiten nötig. Enthält der Brennstoff z. B. 5% hygroskopisches Wasser und 4% Wasserstoff, woraus bei der Verbrennung 36 Teile Wasser entstehen, so sind insgesamt 41 Teile Wasser zu verdampfen, wozu 246 Wärmeeinheiten nötig sind. Um diesen Betrag muß daher die „Verbrennungswärme“ vermindert werden, um den „Heizwert“ zu erhalten, er beträgt demnach in unserem Falle 7070 Kalorien.

Natürlich läßt sich in der Praxis auch diese Wärmemenge nicht vollständig nutzbar machen. Wärme geht durch Strahlung verloren, die abziehenden Verbrennungsprodukte treten mit oft ziemlich hoher Temperatur in den Schornstein ein, die zur Verbrennung nötige Luft muß vorgewärmt werden, die Verbrennung

ist nicht vollständig usf. Sache des Betriebes ist es mithin, diese Wärmeverluste auf das geringste mögliche Maß herabzudrücken, die Ökonomik der Feuerungsanlage zu erhöhen.

Dies kann durch verschiedene Mittel geschehen, sehr viel hängt aber immer von der Bedienung der Feuerungsanlage ab. Übermäßiges Offenhalten der Feuerungstüre bedingt z. B. das Eindringen eines Luftüberschusses, zu starker Zug im Schornsteine das gleiche. Der Rost darf weder zu stark, noch zu wenig mit Kohle bedeckt sein, die Rostspalten müssen dem Heizstoffe entsprechen usf. Viel, ja sehr viel hängt von der richtigen Bedienung der Feuerungsanlage ab, es hat sich daher in vielen Fällen als zweckmäßig erwiesen, die Heizer am Brennstoffverbrauch zu interessieren, indem man ihnen bei Ersparungen Prämien gewährte, ein Vorgang, der stets zum Besten der Unternehmung ausfiel.

Man war aber auch bestrebt, die Feuerungsanlagen soviel als möglich von der Willkür des Heizers unabhängig zu machen. Dies führte zur Konstruktion automatischer Brennstoffzuführvorrichtungen, zu beweglichen Rosten, selbsttätiger Regulierung der Luftzufuhr usf., zu Maßnahmen, durch die nicht nur die Ökonomik, sondern auch die Ästhetik des Dampfkesselbetriebes wesentlich gehoben wurde. Früher war ein großes Kesselhaus meist ein unerträglich heißer, schmutzstarrender Raum, in dem halbbekleidete Gestalten ihren schwierigen Dienst versahen, heute ist eine moderne Kesselanlage in einer lichten, angenehm erwärmten Halle untergebracht, in der die größte Sauberkeit herrscht und — dank der automatischen Brennstoffzufuhr — kein Stückchen des Heizmateriales zu sehen ist.

Der Wärmewert der Heizmaterialien ist nicht nur je nach ihrer Natur, ob z. B. jüngere oder ältere Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit etc. verschieden, sondern hängt auch von der Beschaffenheit des Flözes, dem Aschengehalte usf. ab. Um richtige Zahlen zu erhalten, muß daher die Probeentnahme stets mit der größten Sorgfalt durchgeführt werden.

Da, wie schon früher angedeutet, die Wärmewerte des Kohlenstoffes und Wasserstoffes, sowie der übrigen wärmegebenden und wärmebindenden Bestandteile der Brennmaterialien bekannt sind, kann der Heizwert auch auf Grund der Elementarzusammensetzung berechnet werden. Man benützt dazu die *Dulongsche* Formel:

$$\frac{8100\,C + 29000\,(H - \frac{O}{8}) + 2500\,S - 600\,W}{100}$$

worin C, H, O, S und W Prozente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und hygroskopisches Wasser bedeuten. Durch 100 muß dividiert werden, weil hier Prozentzahlen in Rechnung gestellt sind, während sich der Heizwert auf die Gewichtseinheit (1 *kg*) des Brennstoffes bezieht.

Besitzt z. B. eine Steinkohle die folgende Elementarzusammensetzung:

Kohlenstoff	81·69
Wasserstoff	4·77
Sauerstoff	6·80
Stickstoff	0·49
Schwefel	0·54
Asche	4·62
Wasser	1·09
	100·00

so beträgt der Wärmewert

$$\frac{8100 \times 81{\cdot}69 + 29000 \times (4{\cdot}77 - 0{\cdot}85) + 2500 \times 0{\cdot}54 - (600 \times 1{\cdot}09)}{100} =$$

$= 7760{\cdot}65$ Wärmeeinheiten.

In dieser Weise erhält man jedoch nur für Steinkohlen halbwegs richtige Werte, und zwar auch nur deshalb, weil sich die Fehler meist gegenseitig aufheben. Für alle anderen Brennstoffe ist diese Berechnungsart wertlos und es muß, sollen richtige Heizwerte erhalten werden, das Kalorimeter benützt werden.

Ein natürlicher Bestandteil der Braun- und Steinkohlen ist auch der Schwefel, der als *flüchtiger* und als *gebundener Schwefel* vorliegt. Unter „flüchtigem Schwefel" versteht man jene Menge, die bei der Verbrennung als schwefelige Säure austritt, während der gebundene Schwefel sich als Sulfate, d. s. schwefelsaure Salze, in der Asche vorfindet. Da die schwefelige Säure die Kesselwandungen stark angreift und der flüchtige Schwefel auch bei metallurgischen Prozessen eine Rolle spielt, pflegt man ihn wohl auch als „*schädlichen Schwefel*" zu bezeichnen.

Die *Heizwerte* der wichtigsten Brennstoffe bewegen sich innerhalb der folgenden Grenzen:

Holz	4000	bis	4200	Wärmeeinheiten
Torf	3500	„	4500	„
Jüngere Braunkohle . .	3500	„	4500	„
Ältere Braunkohle . .	5500	„	6500	„
Steinkohle	6500	„	7500	„
Anthrazit	7500	„	8100	„

2. Die Kokerei.

Werden Torf, Holz oder Kohle an der Luft erhitzt, so tritt schließlich Entzündung ein und sie verbrennen, wobei der Kohlenstoff in Form von Kohlensäure, der Wasserstoff in Form von Wasser entweicht. Auch der in den Heizstoffen enthaltene Stickstoff wird frei, geht jedoch als elementarer Stickstoff in die Verbrennungsprodukte über, ohne sich mit Sauerstoff oder Wasserstoff zu verbinden.

Ganz anders verläuft dagegen der Vorgang, wenn man die Heizstoffe unter Luftabschluß erhitzt. Dann findet eine tiefgreifende Zersetzung der organischen Substanz statt, die jedoch nicht zu den Endprodukten Kohlensäure und Wasser führt, sondern wobei eine Reihe von Zwischenprodukten entstehen, die teils gasförmig, teils flüssig sind. Diese Produkte bestehen aus Verbindungen des Kohlenstoffes mit Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, besitzen eine große Mannigfaltigkeit und sind vielfach technisch von größter Bedeutung. Ein Teil des Kohlenstoffes hinterbleibt bei diesem Vorgange stets in sehr reinem Zustande, er wird bei Holz und Torf als Holz- bezw. Torfkohle, bei Kohle als Koks bezeichnet. Die erwähnten chemischen Verbindungen bestehen zum Teile nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff, wie das Paraffin der Braunkohlenschwelerei und das in den Produkten der „trockenen Destillation“, wie man diesen Vorgang gewöhnlich bezeichnet, der Steinkohle enthaltene Benzol, zum Teile nur aus Stickstoff und Wasserstoff, wie das Ammoniak, und endlich treten auch Verbindungen auf, die Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, wie das Kresol, Xylenol, Naphtol, oder aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff bestehen, wie Anilin, Pyridin, Chinolin.

Die Menge und Zusammensetzung der festen, flüssigen und gasförmigen Produkte der trockenen Destillation hängt nicht nur von der Natur des ihr unterworfenen Rohstoffes, sondern auch von der Art und Weise der Verkokung, der dabei angewendeten Temperaturen und Vorrichtungen ab. So liefern ältere, sauer-

stoffärmere Kohlen eine viel höhere Koksausbeute als jüngere, und bei diesen werden wieder wegen ihres viel höheren Sauerstoff- und Wasserstoffgehaltes größere Mengen flüchtiger Stoffe und sauerstoffreichere Produkte erhalten.

a) Holzverkohlung.

Holz wird in großen Mengen zu dem Zwecke verkohlt, um *Holzkohle* darzustellen. Mit den einfachsten Mitteln wird dieses Produkt in den bekannten *Meilern* gewonnen. Diese werden aus dem Holze aufgebaut und mit einer die Luft abschließenden Erdschichte umgeben, worauf man das Holz entzündet. Der Luftzutritt wird dabei so geregelt, daß es nicht zur Flammen-

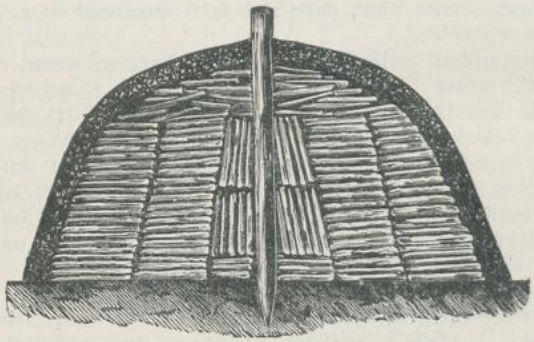


Abb. 5. Kohlenmeiler im Durchschnitte.

bildung kommt, sondern nur ein Abschwelen stattfindet. Übrigens sei bemerkt, daß sich der Vorgang der trockenen Destillation des Holzes unter Wärmeaustritt abspielt, wurde das Holz auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, so geht die Zerlegung nun unter Wärmeaustritt weiter und Wärmezufuhr ist nicht mehr nötig.

In der Nähe eines Kohlenmeilers (Abb. 5) riecht die Luft immer eigentümlich brenzlich, dieser Geruch stammt von den entweichenden flüchtigen Stoffen her, die bei diesem Verfahren ungenutzt entweichen. Diese Stoffe sind ein Gemenge mehrer wertvoller Substanzen, die man gewinnen und verarbeiten gelernt hat. Zu diesem Zwecke nimmt man die trockene Destillation des Holzes in besonderen Öfen oder in Retorten vor und leitet

die Produkte der Destillation nach Kühlvorrichtungen, wo sie zum Teile verdichtet werden. Man erhält brennbare Gase, die wieder zur Heizung der Retorten herangezogen werden, eine sauer schmeckende, wässerige Flüssigkeit, die zur Darstellung von reiner Essigsäure und von Methylalkohol (Holzgeist) dient, und endlich den Holzteer. Der Teer besitzt je nach der Holzart, die destilliert wurde, eine verschiedene Zusammensetzung. Der Birkenteer dient zur Bereitung des Juchtenleders, dem er den eigentümlichen Geruch erteilt, anderer Holzteer wird zur Konservierung von Holz, zur Gewinnung von Ruß und endlich in solchen Gegenden, wo sich eine weitere Verarbeitung und Veredlung nicht lohnen würde, als Brennstoff verwendet.

Wir sehen hier von der weiteren Besprechung der Durchführung der Verwertung des Holzes auf chemischem Wege ab; weil ihrer Erörterung ein besonderer Abschnitt im zweiten Bande gewidmet werden wird, wo auch die Schilderung der Darstellung der Essigsäure und des Holzgeistes aus Holz, die Gewinnung von Azeton etc. zu finden ist.

b) Torfverkohlung.

In gleicher Weise, wie das Holz, läßt sich auch Torf in Meilern verkohlen, wobei als Rückstand *Torfkohle* hinterbleibt. Sie kann vielfach die teure Holzkohle ersetzen, doch wird dieses Verfahren nur im verhältnismäßig sehr kleinem Umfange ausgeübt.

Die bedeutenden Vorkommen von Torflagern einerseits, die Tatsache, daß auch bei der trockenen Destillation des Torfes verwertbare Produkte entstehen andererseits, legten den Gedanken nahe, sie ebenfalls in geschlossenen Vorrichtungen durchzuführen und die Nebenprodukte zu verarbeiten. Wird Torf unter Luftabschluß erhitzt, so wird zunächst Wasser abgegeben, dann treten flüchtige Verbindungen auf, die sich verdichten lassen und Ammoniak, Essigsäure, Methylalkohol, Paraffin etc. enthalten. Ferner werden brennbare Gase abgespalten, und in der Retorte hinterbleibt endlich eine dichte, schwarze, klingende Kohle, die, wie erwähnt, in den meisten Fällen als Ersatz für Holzkohle dienen kann.

Dieses Verfahren, das besonders von *Ziegler* ausgebildet und durchgearbeitet wurde, besitzt neben einigen Vorteilen auch verschiedene Nachteile. Als Vorteil ist es anzusehen, daß durch die Verkohlung das Volumen des Torfes wesentlich verringert wird und daß die Torfkohle für viele Zwecke sehr gut geeignet ist.

Da ferner die auftretenden Gase brennbar sind und in reichlicher Menge die Retorte verlassen, genügen sie gewöhnlich, um den Vorgang der Destillation, der kontinuierlich ist, zu unterhalten, sobald er sich im Gange befindet. Dann ist die Zufuhr weiteren Brennmateriales überflüssig, gewöhnlich kann sogar ein Teil der brennbaren Gase zu anderen Zwecken, etwa zur Heizung eines Dampfkessels herangezogen werden.

Ein Nachteil ist es dagegen, daß der zu destillierende Torf sehr trocken sein muß, weil sonst die Soden durch den austretenden Wasserdampf in der Retorte gesprengt werden und man die Kohle nicht in zusammenhängenden, gleichmäßigen Stücken erhält. Endlich ist darauf hinzuweisen, daß die Rentabilität dieses und aller ähnlichen Verfahren gewöhnlich nur auf die Verarbeitung der auftretenden Destillationsprodukte gegründet ist. Man erhält im Durchschnitte:

Torfkohle	30 bis 33%
Teer	3 „ 5%
Teerwasser	38 „ 42%
Gase	29 „ 30%

Der Gehalt der Destillationsprodukte an schwefelsaurem Ammon, Paraffin, Essigsäure und Methylalkohol ist jedoch sehr gering, ferner bereitet auch ihre Reindarstellung gewisse Schwierigkeiten. Die Torfverkohlung hat daher nur dort Aussicht auf Erfolg, wo die Rentabilität des Unternehmens schon durch den Verkauf der Torfkohle gesichert ist und wo der Torf in genügender Menge und billig im erforderlichen, trockenen Zustande gewonnen werden kann.

c) Verkokung der Braunkohle.

Die trockene Destillation der Braunkohle, meist als „Braunkohlenschwelerei“ bezeichnet, bezweckt vor allem die Gewinnung des wertvollen Teeres, während die entstehenden Gase, die zur Heizung verwendet werden, und der minderwertige Braunkohlenkoks als Nebenprodukte anzusehen sind.

Ursprünglich unterwarf man auschließlich den *Pyropissit*, auch Wachs- oder Schwelkohle genannt, eine sehr bitumenreiche Varietät der erdigen Braunkohle, der trockenen Destillation. Nach dem vollständigen Abbau dieser Lager ging man dann zur Verarbeitung anderer bitumenreicher Sorten der erdigen Braunkohle über, im allgemeinen gelten noch jene Sorten als

schwelwürdig, die, auf einen Wassergehalt von 55% bezogen, einen Teergehalt von 8% aufweisen.

Die *Schwelzylinder*, in denen die Destillation ausgeführt wird, besitzen im Inneren eine größere Anzahl eiserner, glockenförmiger Einsätze, zwischen denen und der Ofenmauer ein ringförmiger Zwischenraum verbleibt. In diesem Zwischenraume gleitet die Braunkohle nach abwärts, wobei sie durch Wärmeabgabe von dem Mauerwerk, um das die Heizkanäle führen, erhitzt wird. Die Destillationsprodukte entweichen in das Innere der glockenförmigen Einsätze und werden von hier abgeleitet und kondensiert.

Wie erwähnt, bildet der Braunkohlenteer das Hauptprodukt, das dann weiter verarbeitet wird. Er ist eine gelblichbraune bis schwarze Masse, die eigentümlich riecht und alkalisch reagiert, bei gewöhnlicher Temperatur etwa die Konsistenz der Butter besitzt und bei Temperaturen, die zwischen 25 und 35° liegen, zu einer braunen, eigentümlich grün fluoreszierenden Flüssigkeit schmilzt. Natürlich ist er durchaus kein einheitlich zusammengesetzter Körper, sondern besteht aus zahlreichen Verbindungen, die zwischen 80 und 400° sieden, die Hauptmenge besitzt Siedepunkte, die zwischen 250 und 350° liegen.

Die eigentlichen wertvollen Bestandteile des Braunkohlenteeres sind Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff, sogenannte *Paraffine*, ferner sind auch geringe Mengen „aromatischer Kohlenwasserstoffe", wie Benzol, Phenol, Naphtene, Pyridinbasen usf. vorhanden.

Außer dem Teer wird auch eine wässerige Flüssigkeit, das *Schwelwasser*, gewonnen, das schwach alkalisch reagiert. Dies rührt von dem Gehalte an Ammoniak her, das bei der trockenen Destillation aus den stickstoffhaltigen Bestandteilen der Braunkohle entsteht. Da der Gehalt an Ammoniak jedoch nur 0·03 bis 0·07% beträgt, ist seine Menge zu gering, um die Gewinnung zu rentieren, man pflegt es daher zur Düngung der in der Nähe der Fabrik befindlichen Felder zu verwenden.

Der in den Schwelzylindern hinterbleibende Koks ist schwarz und körnig, er wird mit Wasser abgelöscht und als „*Grudekoks*" in den Handel gebracht. Dieser Koks wird besonders in kleinen Haushaltungen zur Heizung eigentümlicher Küchenöfen, der „Grudeöfen", verwendet und besitzt den Vorteil, daß er langsam bei geringem Luftzutritte fortglimmt. Die in die „Grude" gestellten Speisen bedürfen daher keiner besonderen Beaufsichtigung.

Auch zur Herstellung schwarzer Farben, von Filtern und von Koksbriketts wird Grudekoks verwendet.

Endlich treten auch brennbare Gase auf, ihre Zusammensetzung veranschaulichen die folgenden Zahlen:

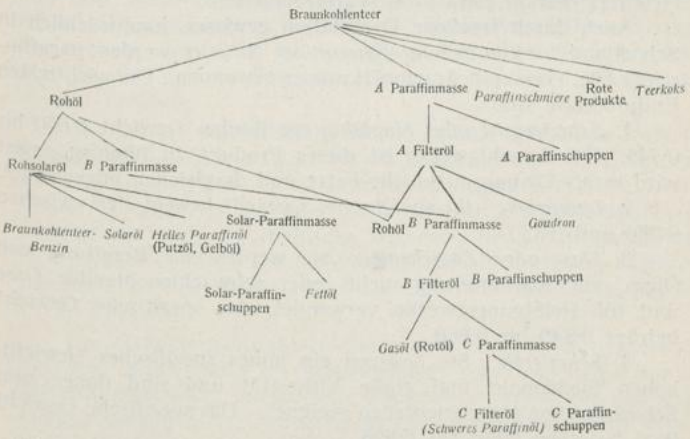
Kohlensäure	10	bis	20%
Sauerstoff	0·1	„	3%
Schwere Kohlenwasserstoffe	1	„	2%
Kohlenoxyd	5	„	15%
Methan	10	„	30%
Wasserstoff	10	„	25%
Stickstoff	10	„	30%
Schwefelwasserstoff	1	„	3%

Ihr Heizwert beträgt 2000 bis 3500 Wärmeeinheiten, man benützt sie zur Heizung der Schwelöfen oder, nach vorangehender Reinigung, als Kraftgas.

Die weitere Verarbeitung des Teeres besteht in der Zerlegung durch Destillation, wobei man bei gewöhnlichem und bei vermindertem Drucke arbeitet. Man erhält dadurch zunächst Rohparaffin, das dann weiter zerlegt und gereinigt wird. Durch Abkühlung scheidet sich schon ein Teil des Paraffins aus; da das Paraffin kein einheitlicher Körper, sondern ein Gemenge verschiedener Kohlenwasserstoffe ist, die jedoch Kohlenstoff und Wasserstoff stets im gleichen Verhältnisse enthalten, fallen zuerst die hochschmelzenden Anteile, das *Hartparaffin*, aus. Bei weiterer Abkühlung werden die *Weichparaffine* erhalten, zur Abscheidung bedient man sich in modern eingerichteten Fabriken vielfach der künstlichen Kälte, wodurch die Scheidung der Paraffine leicht und rasch von statten geht. Die Trennung des abgeschiedenen Paraffins von den flüssig bleibenden Anteilen wird dann in Kammerfilterpressen vorgenommen, wobei „*Paraffinschuppen*“ und „*Preßöle*“ erhalten werden.

Die Preßöle werden dann wieder, ähnlich wie der Teer, verarbeitet, sie liefern *Solaröl* und *Paraffinöl*, außerdem minder reines und weicheres Paraffin. Die Trennung erfolgt wieder in Filterpressen und der Vorgang wird noch einige Male wiederholt, wobei man immer unreinere Paraffinmassen mit sinkendem Schmelzpunkte erhält. Diese rohen Paraffine werden dann noch durch Behandlung mit Benzin gereinigt, schließlich entfärbt man sie durch Tierkohle oder durch die Rückstände der Blutlaugensalzfabrikation, eine kohlenstoffreiche Masse, die „*Schwärze*“ genannt wird.

Als Nebenprodukte werden ferner leichte Benzine und Photogene, Fettöle, rote und dunkle Paraffinöle, sowie Kreosotöl, Säureharze und Goudron oder Asphalt gewonnen. Die Paraffine, deren Schmelzpunkt über 50° liegt, dienen zur Darstellung der Paraffinkerzen, die Weichparaffine, deren Schmelzpunkt niederer liegt, werden als Zusätze für Wachs- und Stearinkerzen, als Schmiermittel, zur Extraktion von Wohlgerüchen aus Blüten, zum Dichten von Fässern, Einfetten von Leder, Appretieren von Glanzpapier, zur Darstellung von Ceresin, als Kühlbäder in der Hartglasfabrikation und zu vielen anderen Zwecken verwendet. Das Kreosotöl dient zur Holzimprägnierung, um es gegen Fäulnis



widerstandsfähig zu machen, Goudron oder Asphalt wird zu Fabrikation der Dachpappe benützt.

Braunkohlenteer von mittlerem spezifischen Gewichte (0·870 bis 0·880) liefert, in der geschilderten Weise zerlegt, etwa die folgenden Produkte:

Rohöl	32%
Paraffinmasse	62%
Paraffinschmiere	1%
Rote Produkte	1%
Blasenkoks	2%
Destillationsgase	2%

Einen Überblick über den Verlauf der Zerlegung des Braunkohlenteeres und die dabei resultierenden Produkte zeigt das folgende Verarbeitungsschema nach *Scheithauer*. Darin sind die fertigen Erzeugnisse, die Handelsprodukte bilden und aus der Fabrikation scheiden, durch Fettdruck hervorgehoben. Die bei allen Destillationen entweichenden Gase sind nicht angeführt.

Kaumazit ist ein in Böhmen aus Braunkohle hergestellter Koks, wobei jedoch hochwertige Braunkohle verarbeitet wird. Der Kaumazit bildet dabei das Hauptprodukt, er dient je nach der Korngröße als Betriebsmaterial für Sauggasanlagen, als Dampfkesselfeuerung und zur Herstellung von Kaumazitbriketts, sein Heizwert beträgt etwa 6700 Wärmeeinheiten.

Auch durch trockene Destillation gewisser, hauptsächlich in Schottland vorkommender *bituminöser Schiefer* werden paraffinreiche Öle, Gase und Ammoniakwasser gewonnen. Die wichtigsten Endprodukte sind:

1. *Schiefergeist* oder *Naphtha*, spezifisches Gewicht 0·660 bis 0·745. Für Leuchtzwecke ist dieses Produkt zu flüchtig, meist wird es als Lösungsmittel für Fette und dergleichen angewendet.

2. *Lampenöle*. Ihr spezifisches Gewicht bewegt sich zwischen 0·786 und 0·830.

3. *Gas-* oder *Zwischenöle*. Sie werden zur Bereitung von Ölgas, zur Karburierung nicht- oder schwachleuchtender Gase und für Reinigungszwecke verwendet, das spezifische Gewicht beträgt 0·840 bis 0·860.

4. *Schmieröle*. Sie besitzen ein hohes spezifisches Gewicht, hohen Siedepunkt und große Viskosität und sind daher zum Schmieren von Maschinenteilen geeignet. Das spezifische Gewicht liegt zwischen 0·865 bis 0·895.

5. *Festes Paraffin*. Sein Schmelzpunkt liegt zwischen 38° und 55°, es dient hauptsächlich zur Darstellung von Paraffinkerzen.

6. *Blasenkoks, Blasenschmiere* usf.

7. *Schwefelsaures Ammon* wird aus dem Ammoniakwasser dargestellt. Es wird hauptsächlich als Düngemittel verwendet.

Aus bituminösen Schiefern der Triasformation, die sich hauptsächlich bei Seefeld in Tirol finden und das ganze Karwendelgebirge durchziehen, wird durch Destillation das *Ichthyolöl* gewonnen, das schon seit alter Zeit als schmerzlinderndes Hausmittel bei Rheumatismen von der Landbevölkerung unter dem Namen *Dürstenblut* oder *Dürschenöl* benützt wird. Der Name

Ichthyolöl stammt daher, weil dieser bituminöse Schiefer sehr reich an Abdrücken von Seetieren, besonders von Fischen ist.

Durch Einführung von Schwefel (Sulfurierung) wird das Ichthyolrohöl wasserlöslich, das Ammoniumsalz der Ichthyolsulfosäure bildet das *Ichthyol*, das häufig in der Arzneikunde angewendet wird.

d) Verkokung der Steinkohle.

Wohl die größte technische Bedeutung besitzt die Verkokung der Steinkohle, weil einerseits der Steinkohlenkoks — „Koks" kurzweg genannt — ein ungemein wichtiges Brennmaterial bildet und weil andererseits der Teer das Ausgangsmaterial für eine Reihe bedeutungsvoller Produkte ist. Er liefert die Hauptmenge des Benzols und bildet die Grundlage für zahlreiche Industrien, unter denen die der Teerfarbstoffe an erster Stelle genannt zu werden verdient.

Das bei der Aufbereitung der Steinkohle abfallende Kohlenklein kann als solches nicht oder nur schwer verwertet werden, wenn es unmittelbar als Brennmaterial dienen soll. Um es zu verwerten, wird es brikettiert oder verkokst, doch besteht ein Unterschied nach der Richtung, daß sich für die Brikettierung im allgemeinen nur nicht backende Steinkohlen eignen, während backende Kohlen in allererster Linie für die Verkokung in Betracht kommen.

Die Verkokung bringt zwei Vorteile mit sich. Es wird einerseits aus dem Kohlenklein ein großstückiges, sehr wertvolles Brennmaterial gewonnen, andererseits hat man es durch die der Verkokung vorangehende Aufbereitung bis zu einem gewissen Grade in der Hand, den Aschengehalt zu erniedrigen und besonders den Schwefelkies zu entfernen, wodurch man imstande ist — abgesehen von der mit der Verkokung verbundenen Entschwefelung — einen nach Möglichkeit schwefelfreien Koks zu erzeugen. Auf die Gewinnung von Gas und Teer als Nebenprodukte, die man allerdings früher ungenutzt entweichen ließ, sowie auf das in großen Mengen aus dem Teerwasser erzeugte schwefelsaure Ammon, wurde schon hingewiesen.

Die Darstellung des Steinkohlenkoks beruht auf ähnlichen Vorgängen, wie wir sie schon bei der Besprechung der Gewinnung der Holzkohle und der Torfkohle kennen lernten. Die zur Verkokung bestimmte Kohle wird in besonderen Öfen der trockenen

Destillation unterworfen, wobei tiefgreifende chemische Veränderungen ihres Gefüges eingeleitet werden.

Die Menge der bei der trockenen Destillation resultierenden festen, flüssigen und gasförmigen Produkte und ihre Zusammensetzung hängt in hohem Grade nicht nur von der Art und Weise der Verkokung und der dabei eingehaltenen Temperatur, sondern auch von der Beschaffenheit der Kohle selbst ab. Ältere, sauerstoffärmere Kohlen liefern eine viel höhere Koksausbeute, als jüngere; bei diesen werden wieder wegen ihres viel höheren Sauerstoff- und Wasserstoffgehaltes größere Mengen flüchtiger Stoffe und sauerstoffreichere Produkte erhalten.

Wie erwähnt, sind gasarme Backkohlen für die Verkokung am besten geeignet. Man erhält aus ihnen nicht nur die größten Ausbeuten, sondern auch einen sehr festen Koks mit vorzüglichen Eigenschaften. Durch ein einfaches Hilfsmittel ist man übrigens in der Lage, auch magere, schlechtbackende Feinkohle zu verkoken. Man vermengt sie nämlich mit fetter, stark backender Kohle und stampft das Gemenge vor der Verkokung in Formen ein, wozu besondere Vorrichtungen dienen.

Gewöhnlich pflegt man zur Verkokung gewaschene Kohle bis zu einer Korngröße von 8 *mm* zu verwenden, der meist trocken abgesiebte Feinkohle mit einem Korndurchmesser bis zu 3 *mm* beigemengt wird. Durch diese Beimengung wird gleichzeitig der Feuchtigkeitsgehalt herabgedrückt, der 15% nicht übersteigen soll. Denn zu nasse Kohle liefert nicht nur einen minderwertigen Koks, sondern es werden auch die Koksöfen sehr rasch abgenützt, ganz abgesehen davon, daß das Gaswasser unnötig verdünnt wird. Doch auch zu trockene Kohle ist nicht günstig, weil man dann eine geringere Ausbeute an festem, großstückigem Koks erhält.

Bei der Verkokung erfährt die Masse der eingebrachten Kohle eine bedeutende Verringerung, an der jedoch die Asche nicht beteiligt ist. Der Koks muß daher prozentisch reicher an Asche sein als die zur Verkokung verwendete Kohle. Deshalb vermindert man den Aschengehalt des Kohlenklein vor der Verkokung auf etwa 4% durch nasse Aufbereitung und erhält dann Koks, dessen Aschengehalt etwa 6% beträgt. In der Regel bewegt sich jedoch der Aschengehalt des Koks zwischen 8 und 10%.

Ursprünglich bediente man sich zur Verkokung ganz einfach gebauter offener Öfen, in denen die Verkokung ähnlich wie in den zur Bereitung der Holzkohle benützten Meilern vonstatten

ging. Solche Öfen ermöglichen es natürlich nicht, den Luftzutritt ganz nach Bedarf zu regeln, die Folge ist eine sehr ungleichmäßige Beschaffenheit des Koks, ganz abgesehen von der geringeren Ausbeute, weil ja ein Teil der zu verkokenden Kohle als Heizmaterial dienen muß. Der wesentlichste Nachteil dieser alten Koksöfen bestand aber darin, daß alle Produkte der trockenen Destillation verloren gingen, wodurch die Rentabilität der Verkokung empfindlich litt.

Da sich, wie wir schon angedeutet haben, unter diesen Produkten viele Stoffe befinden, die sehr großen Wert besitzen und deren Gewinnung die Kokereibetriebe wesentlich lukrativer zu gestalten vermag, ging man bald zur Verwendung geschlossener

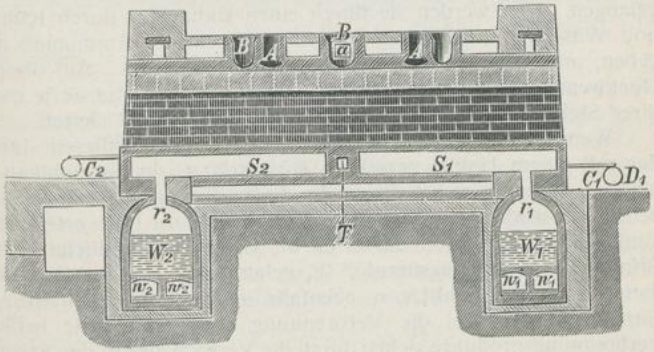


Abb. 6. Koksofen nach Otto-Hoffmann.

Koksöfen über, wobei man natürlich besonderen Wert auf die Ökonomik der Feuerung, zu der man das sich bei der trockenen Destillation der Steinkohle bildende brennbare Gas verwendet, legt. Wie dieses Problem gelöst wurde, veranschaulicht am besten die Besprechung der Konstruktion des *Otto-Hoffmann*schen Ofens (Abb. 6).

Im Gewölbe des Ofens befinden sich drei Öffnungen *B*, die zur Beschickung dienen, und zwei Öffnungen *A*, durch welche die bei der Verkokung sich entwickelnden Gase abziehen. In den Seitenwänden ist unter den Widerlagern ein Horizontalkanal angeordnet, welcher die sämtlichen Vertikalzüge verbindet. Der Sohlkanal ist in der Längsrichtung des Ofens durch eine Scheide-

wand T in Teile S_1 und S_2 geteilt. Jede dieser Hälften steht in Verbindung mit einem „*Regenerator*“ W_1, beziehungsweise W_2, der zur Erhitzung der zur Verbrennung des Gases nötigen Luft dient. Ferner mündet in jede Sohlkanalhälfte ein Düsenrohr C_1 und C_2, welche von den Gasführungsröhren D_1 und D_2 gespeist werden. Die Regeneratoren, lange, mit Steinen gitterartig ausgesetzte Kanäle, laufen quer unter sämtlichen Kammern hin. Sie stehen an einem Ende mittels einer Wechselklappe entweder mit dem Luftzuströmungsrohr w oder mit dem Schornstein in Verbindung. Sobald der Ofen in Hitze und die Verkokung im Gange ist, entweichen die von den Kohlen abgegebenen Gase durch die Öffnungen A in die Steigrohre und gehen von da durch das geöffnete Ventil in die Vorlage, von der sie zur einheitlichen Kondensation gelangen. Hier werden sie durch einen Exhaustor durch Kühler und Waschapparate getrieben, wo sie Teer und Ammoniak abgeben, und gelangen dann wieder zum Ofen zurück. Auf diesem Rückwege passieren die Gase eine Wechselklappe, die sie je nach ihrer Stellung in das Gaszuführungsrohr D' oder D'' leitet.

Wenn das Gas in das Rohr D' eintritt und aus diesem durch das mit einem Hahne versehene Düsenrohr C_1 in die Sohlkanalhälfte S_1 gelangt, so ist die in der Luftzuführungsleitung befindliche Wechselklappe so gestellt, daß die Luft in die Luftverteilungskanäle w_1 eintritt, von da durch im Gewölbe befindliche kleine Öffnungen in den Regenerator W_1 gelangt, sich hier erhitzt, und dann durch die Schlitze r_1 ebenfalls in die Sohlkanalhälfte S_1 eintritt, in der nun die Verbrennung stattfindet. Die heißen Verbrennungsprodukte ziehen durch die Vertikalzüge in den Seitenwänden nach oben, gelangen in den Horizontalkanal, streichen auf der anderen Hälfte durch die Vertikalzüge nach unten, gelangen in die Sohlkanalhälfte S_2 und gehen von da durch die Schlitze r_2 in den Regenerator W_2, heizen diesen, ziehen durch die einzelnen kleinen Öffnungen in die Kanäle w_2 und gelangen von da durch die Luftwechselklappe in den Kamin. Nach einer bestimmten, durch die Erfahrung ermittelten Zeit werden die Wechselklappen umgestellt und die Gase nehmen genau den umgekehrten Weg. Die Luft wird im Regenerator auf etwa 1000° vorgewärmt, was wesentlich dazu beiträgt, daß nicht alles Gas zur Heizung der Öfen nötig ist, sondern noch ein beträchtlicher Teil desselben für andere Zwecke verfügbar bleibt.

Sobald das im Ofen entwickelte Gas durch die Ventile in die Vorlage gelangt ist, wird es durch den im Apparatenraume

aufgestellten Gassauger in die Kondensation gesaugt. Auf dem Wege dahin passiert es zunächst zwei von außen durch Luft gekühlte Kohlenstaubausscheider, in welchen ein großer Teil des Teeres und die mitgerissenen Kohlenteilchen abgesetzt werden, dann die Kondensatoren.

Die *Kondensatoren* sind aufrechtstehende, viereckige Kästen, oben und unten mit Zwischenböden und einer großen Anzahl zwischen den Böden durchgehender Röhren versehen, innerhalb welcher Kühlwasser fließt. Die Gase umstreichen diese Röhren nach dem Gegenstromprinzipe derart, daß die heißesten Gase mit schon benütztem Kühlwasser, die schon abgekühlten mit noch ganz kaltem in Berührung kommen, um eine nach Möglichkeit gute Ausnützung des Kühlwassers zu erzielen. Hier wird Teer und Gaswasser, das Ammoniak enthält, verdichtet, diese Kondensationsprodukte fließen dauernd ab.

An den Kühler schließen sich die *Vorreiniger*, viereckige Kästen, in denen sich das Gas auf eine Anzahl Röhren verteilt. Hier wird das Gas zum ersten Male mit Wasser, und zwar mit schwach ammoniakalischem Wasser gewaschen, das dauernd oben zu- und unten abfließt und sich dabei mit Ammoniak anreichert, während zugleich Teer abgeschieden wird. Dieses Wasser wie die Kondensationsprodukte aus den Luft- und Wasserkühlern fließen zusammen in eine große Teergrube, in der sich Teer und Wasser nach ihren spezifischen Gewichten scheiden.

Die bisher saugend, von da ab aber drückend wirkenden Gassauger befördern das Gas nun durch den Kühler, in dem es nach Möglichkeit stark — je nach der Temperatur des Kühlwassers auf 13 bis 18° C — abgekühlt wird. Dann tritt es in den Glockenwäscher ein und verteilt sich hier unter eine Anzahl Glocken, deren unten gezahnter Rand in Wasser taucht. Das durch die Zahnung gedrückte Gas wird dadurch mit einer reichlichen Menge Wasser in Berührung gebracht, welches von oben nach unten die je nach Bedarf mit 4 bis 6 Etagen versehenen Wascher durchfließt, während das aufwärtssteigende Gas durch die Behandlung mit immer frischem Wasser das Ammoniak und den letzten Rest Teer vollständig abgibt.

Die im *Otto-Hoffmann*schen Ofen aus trockener Kohle *ausgebrachten Koksmengen* betragen je nach der Beschaffenheit der Kohle:

	Koks	Teer	schwefelsaures Ammon
Im Ruhrgebiet .	75 bis 77%	2·5 bis 3·0%	1·1 bis 1·2 %
In Oberschlesien	55 „ 70%	4·0 „ 4·5%	1·0 „ 1·25%
Im Saargebiet .	68 „ 72%	4·0 „ 4·3%	0·8 „ 0·9 %

Das interessanteste am Otto-Hoffmannschen Ofen ist das hier angewendete *Regenerationsprinzip*, das uns noch vielfach begegnen wird. Zum Verständnisse seiner Aufgabe sei folgendes hinzugefügt. Die bei der Verbrennung eines gasförmigen Brennstoffes freiwerdende Wärmemenge wird zum Teil naturgemäß dazu verwendet, um das Gas auf die Verbrennungstemperatur vorzuwärmen. Damit ist selbstverständlich ein Verlust an nutzbarer Wärme verbunden, der um so größer ist, je größer die gleichzeitig zugeführte Luftmenge ist, denn auch sie muß entsprechend vorgewärmt werden. Man wird daher auch trachten, den Luftzutritt so zu regulieren, daß er gerade hinreicht, um alles Gas vollständig zu verbrennen.

Die Verbrennungsprodukte — Kohlensäure und Wasserdampf — geben nun allerdings einen großen Teil ihrer Wärme an die zu heizenden Verkokungskammern ab, würden aber mit einer immerhin noch relativ sehr hohen Temperatur in den Schlot entweichen, womit weitere Energieverluste verbunden wären. Um diese nach Möglichkeit zu vermeiden oder doch einzuschränken, wendet man das Regenerativsystem an.

Ehe die Verbrennungsprodukte in den Schlot eintreten, werden sie gezwungen, einen mit Schamottesteinen gitterförmig ausgelegten Raum zu durchstreichen. Sie umspülen die große Oberfläche der Schamottesteine und geben hier noch einen großen Teil ihrer Energie ab, der Regenerator wird also zu einem Wärmespeicher. Nach einiger Zeit, sobald der Regenerator die erzielbare Höchsttemperatur erreicht hat, stellt man den Weg der Gase mit Hilfe einer Wechselklappe um und läßt sie nun nach einem zweiten Regenerator gehen, während man durch den ersten, eben erhitzten die zur Verbrennung gelangenden Gase oder die Verbrennungsluft streichen läßt. Sie erhitzten sich hier und gelangen mit einer viel höheren Temperatur zur Verbrennung, wobei auch eine wesentlich bessere Ausnützung der Wärme stattfindet.

Ist der Regenerator durch das Durchleiten der kalten Gase wieder bis zu einem gewissen Grade ausgekühlt, so bewirkt das Umstellen der Wechselklappe, daß die Gase nun den umgekehrten Weg nehmen. Die abziehenden Verbrennungsprodukte durchstreichen nun wieder den ersten Regenerator, die Heizgase

passieren den eben angewärmten zweiten Regenerator, dieser Wechsel in der Bewegungsrichtung wird je nach Bedarf etwa alle halbe Stunden durchgeführt.

In neuerer Zeit ist man übrigens von der Regenerativfeuerung bei dieser Ofenkonstruktion wieder abgekommen, trotz der großen Vorteile, die man damit erzielte, und wendet Einzelbrenner zur Heizung an. Hierzu gab der Umstand Anlaß, daß durch den mit der Regenerativfeuerung verbundenen Gaswechsel und die damit zusammenhängende Abkühlung der Ofenenden gewisse Ungleichförmigkeiten der Heizung unvermeidlich sind. Man setzt daher jetzt in die Sohle des Ofens nach Art der bekannten „Bunsenbrenner" konstruierte Gasverbrennungsvorrichtungen ein, denen das Gas von der Kondensation durch eine gemeinsame Leitung zugeführt wird. Die Verbrennungsluft wird nicht besonders vorgewärmt, doch streicht sie zunächst durch das unter dem Ofen gelegene Gewölbe, wo sie Gelegenheit findet, eine höhere Temperatur anzunehmen.

Zur *Entleerung* der Kammern der Koksöfen werden verschiedene Vorkehrungen angewendet. So baut man z. B. die Koksöfen so, daß sie eine stark geneigte Sohle besitzen. Ist die Verkokung einer Charge beendet, so genügt das Öffnen der vorderen Ofenwand, um den glühenden Kokskuchen herausgleiten zu lassen. Bei anderen Konstruktionen wieder stehen eigene „*Koksausstoßmaschinen*" in Verwendung, die nach Beendigung der Charge den Kokskuchen aus dem Ofen herausdrücken, wobei als Antriebskraft Dampf oder Elektrizität dient.

Der ausgestoßene weißglühende Koksblock würde sich an der Luft alsbald entzünden und verbrennen. Um dies zu verhüten, gelangt er sofort in den vor den Koksöfen meist fahrbar angeordneten *Löschraum*, worin er mit Wasser überbraust wird.

Es läßt sich natürlich nicht vermeiden, daß nicht aller den Ofen verlassende Koks ganz gleichmäßig beschaffen und bei der gleichen Temperatur entgast ist, auch ist der Druck nicht an allen Stellen gleich. Die fest und dicht zusammengesinteten Stücke bezeichnet man als *Großkoks*, die kleineren, weniger festen Stücke als *Kleinkoks*, den Abfall als *Lösche*. Meist werden die Stückkoks in Quetschwerken zerkleinert, dann in Separationsvorrichtungen nach der Korngröße getrennt und als Brechkoks, Körnerkoks usf. abgegeben. Die Lösche ist ein ausgezeichneter Zusatz zum Mörtel, sie wird aber auch zur Bereitung leichter

Bausteine verwendet, ferner zur Herstellung von Wegen, die durch Überstreuen mit Kokslösche ebenso fest wie trocken werden.

Zum Zwecke der Erzielung eines dichteren und festeren Kokskuchens wird vielfach das *Kohlenstampfverfahren* angewendet, wobei durch Stampfmaschinen die Kohle vor der Destillation dichter gelagert und in der Folge die Beschaffenheit des Koks verbessert wird.

Die *Stampfmaschine* von *Kuhn & Co.* (D. R.-P. 99.565) stellt einen Kohlenkuchen von 1000 *mm* Breite, 800 *mm* Höhe und 8 *m* Länge durchschnittlich in 20 Minuten her und schiebt ihn in den Ofen, die Kohle wird durch einen Trichter in 5 bis 6 Lagen von 25 bis 30 *cm* Höhe in den Stampfkasten eingelassen. Dieser Stampfkasten ist fest mit der Koksausstoßmaschine verbunden und aus Eisenblech in den Dimensionen hergestellt, die dem Inneren des Koksofens entsprechen. Um nach Beendigung des Feststampfens den Kohlekuchen freilegen und samt der Bodenplatte des Formkastens in den Ofen einschieben zu können, sind die Seitenwände beweglich. Die Bodenplatte läuft auf Rollen und ist an einer Zahnstange befestigt, die von der Koksausstoßmaschine bewegt wird. Der Stampfer ist auf einen Wagen montiert und kann auf einer Fahrbahn über die ganze, 8 *m* betragende Länge des Stampfkastens hin- und herbewegt werden; er wird von einem Elektromotor aus angetrieben.

Durch das Stampfen erhält der Koks eine dichtere und festere Beschaffenheit, die ihn besonders für metallurgische Zwecke besser geeignet macht. Auch ermöglicht dieses Verfahren, ihm größere Zusätze ganz magerer Kohlen zu geben, ohne seine Beschaffenheit, besonders die Festigkeit wesentlich zu verringern. Ein weiterer Vorteil dieses Stampfverfahrens liegt auch darin, daß man eine trockenere Kohle verkoken kann. Um nämlich guten, dichten Koks zu gewinnen, mußte man früher Kohlen mit verhältnismäßig bedeutendem Wassergehalte, oft 14% und darüber, verwenden, während das Stampfverfahren es ermöglicht, mit dem Wassergehalte um einige Prozente herabzugehen. Das bedeutet aber eine Vermehrung der in den Ofen gebrachten Kohlenmenge und damit auch eine Vermehrung der täglichen Produktion, ganz abgesehen davon, daß die Bedienung der Koksöfen dadurch wesentlich vereinfacht wurde.

Simmersbach stellt an guten Koks folgende Anforderungen: Der Gehalt an Koksstaub soll nicht mehr als 6%, der Aschengehalt für Gießereikoks nicht mehr als höchstens 7% betragen.

Für Hochofenkoks sind 9% Asche noch zulässig, bei schlechter Aufbereitung der Kohle kann sich die Aschenmenge jedoch auch auf 12 bis 14% erhöhen. Wesentlich ist ferner der Feuchtigkeitsgehalt, er soll in gutem Koks zwischen 2 und 4% betragen, steigt mitunter aber auf 10, selbst 12% an. Für metallurgische Zwecke ist auch der Schwefelgehalt des Koks von großer Bedeutung. Hochofenkoks soll nicht mehr als 3 bis 3·5% enthalten, Gießereikoks nach Möglichkeit schwefelfrei sein. Auch der Phosphorgehalt ist oft wichtig, zum Erblasen phosphorarmer Roheisensorten ist Koks mit 0·02 bis 0·03% Phosphor nicht mehr geeignet.

Gut bereiteter, ordentlich durchgeglühter Koks besitzt metallischen Glanz und ist silbergrau gefärbt. In erster Linie wird er für hüttenmännische Zwecke verwendet; in größeren Städten dient er vielfach auch für den Hausbrand, da er im Vergleiche mit Kohle gegenüber dieser viele und wertvolle Vorteile bringt. Natürlich darf Koks nur in hierzu geeigneten Öfen mit besonderer Rosteinrichtung verfeuert werden. Er verbrennt ohne Entwickelung eines unangenehmen Geruches und liefert mehr Wärme, als Steinkohle, weil er kohlenstoffreicher ist. Guter Koks enthält im Durchschnitte:

Kohlenstoff	83·0	bis	93·0%
Wasserstoff	0·3	„	2·0%
Sauerstoff.	1·0	„	7·0%
Hygroskopisches Wasser	1·0	„	3·0%
Asche	3·0	„	10·0%

Wie wiederholt erwähnt, sind die Nebenprodukte der Kokerei einerseits Gas, das zur Heizung der Koksöfen dient, andererseits Teer und drittens Ammoniakwasser. Das Ammoniakwasser wird zur Darstellung von Ammoniak und von schwefelsaurem Ammon benützt, der Teer wird an die Teerscheidereien abgegeben, die seine zahlreichen wertvollen Bestandteile gewinnen, wovon noch ausführlich im zweiten Bande die Rede sein wird. Als Rückstand der Destillation hinterbleibt bei der Teerverarbeitung etwa 30 bis 40% „Pech", das einerseits als Bindemittel bei der Brikettierung der Steinkohle eine Rolle spielt, andererseits zur Imprägnierung von Holz für Pflasterungszwecke und für Schiffsplanken, zur Herstellung von Dachpappe usf. verwendet wird.

3. Die Leuchtgasfabrikation.

Das durch trockene Destillation des Holzes, Torfes, der Braun- und Steinkohle erhaltene Gas läßt sich natürlich nicht

nur zur Heizung, sondern auch zur Beleuchtung verwenden. Allerdings ist nicht jedes brennbare Gas auch als Leuchtgas brauchbar. Einerseits darf es keine die Gesundheit schädigenden Verbrennungsprodukte liefern, andererseits muß es, wenn es direkt als Leuchtgas dienen soll, eine Flamme mit genügender Leuchtkraft geben. Würde ein Gas beispielsweise größere Mengen Schwefelwasserstoffgas enthalten, so würde unter den Verbrennungsprodukten auch schwefelige Säure in größeren Mengen auftreten

$$H_2S + 3O = H_2O + SO_2$$

Schwefelwasserstoff + Sauerstoff = Wasser + schwefelige Säure

und sich höchst unangenehm bemerkbar machen.

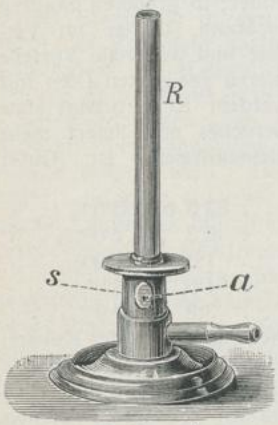


Abb. 7. Bunsenbrenner.

Das *Leuchten* der *Gasflamme* rührt davon her, daß im Inneren der Flamme eine teilweise Zerlegung des brennenden Gases unter Ausscheidung von Kohlenstoff stattfindet. Im äußeren, heißesten Teile der Flamme gelangen diese Kohlenstoffteilchen dann zum Glühen und endlich zur Verbrennung, wodurch die Flamme weiß und leuchtend erscheint. Dies hängt jedoch in hohem Grade von der Konstruktion des Brenners ab, dem das Gas entströmt, er muß so gebaut sein, daß eben genügend Luft zutritt, um das Gas vollständig zu verbrennen, ohne seine Leuchtkraft zu beeinträchtigen; dies ist bei den bekannten Schnitt-Schmetterlings- und Argandschen Rundbrennern der Fall.

Leitet man dagegen in das Innere des Gases, das aus einem Rohre ausströmt, Luft, so findet die erwähnte Ausscheidung von Kohlenstoff nicht statt und wir erhalten eine zwar sehr heiße, jedoch nicht leuchtende, blaubrennende Flamme. Von dieser Erscheinung macht der nach seinem Erfinder, dem Chemiker *Bunsen* benannte Brenner (Abb. 7) Gebrauch. Über die enge Gasausströmungsöffnung ist ein weites Rohr *R* geschoben, das bei *a* zwei einander gegenüberstehende Luftlöcher besitzt, die durch einen ringförmigen Schieber ganz oder teilweise geschlossen werden können. Sind diese Luftlöcher geschlossen, so steigt das

Gas in dem Brennerrohre auf, ohne sich mit Luft zu mischen, und brennt an der oberen Mündung mit leuchtender, rußender Flamme. Der Grund, weshalb sich im Inneren der Flamme Kohlenstoff abscheidet, ist der örtliche Mangel an Sauerstoff. Öffnet man aber durch Drehung des Ringes die Seitenlöcher und ermöglicht dadurch den Zutritt der Luft, die sich im Brennerrohre nun mit dem Leuchtgase mengt, so verbrennt es schon im Inneren des Flammenkegels zu Wasser und Kohlenoxyd, das dann im äußeren Saume der Flamme vollständig zu Kohlensäure verbrennt. Unter diesen Umständen verbreitet die Flamme nur ein schwach bläuliches Licht, sie ist auch viel kleiner, als bei geschlossenen Seitenöffnungen, und weil die Verbrennung des Gases eine vollständigere ist und die gleiche Menge Gas auch in einem kleineren Raume zur Verbrennung gelangt, heißer als die leuchtende Flamme.

Der *Bunsenbrenner*, dessen alte, ursprüngliche Form wir eben schilderten, ist wiederholt schon Gegenstand von Verbesserungen geworden, die sich aber ausnahmslos nur auf die Verfeinerung der Regulierung der Luftzufuhr, die innigere Mischung von Gas und Luft und auf die Möglichkeit, die Flamme stark verkleinern zu können, ohne das Zurückschlagen befürchten zu müssen, bezogen. Er ist und bleibt für den Chemiker ein unentbehrliches Gerät, hat jedoch auch für die gesamte Beleuchtungstechnik die größte Bedeutung erlangt, weil er ein wesentlicher Bestandteil des bekannten *Auerbrenners* ist.

Wie erwähnt, leuchtet die Flamme des Schmetterlingsbrenners, aber auch der Petroleumlampe und der Kerze deshalb, weil ein Teil des Gases — das auch aus dem Petroleum und dem Material der Kerze am Orte des Verbrauches durch trockene Destillation entsteht — unter Abscheidung von Kohlenstoff zerlegt wird. Führt man umgekehrt in die nicht leuchtende Flamme des Bunsenbrenners fein verteilten Kohlenstoff oder irgend ein anorganisches, staubförmiges Material ein, so leuchtet die Flamme auf, weil diese Teilchen erglühen.

Die Beleuchtung mit den alten Schmetterlingsbrennern und Gasrundbrennern war höchst unökonomisch, weil bei hohem Gasverbrauche nur wenig Licht, dafür aber sehr viel Wärme produziert wurde. Durch die *Auer*sche Erfindung, wobei die nicht leuchtende Flamme des Bunsenbrenners fein verteilte Oxyde seltener Metalle, die ein sehr hohes Lichtemissionsvermögen besitzen, zum Glühen bringen, ist jedoch ein großer Umschwung auf dem Gebiete der Beleuchtungstechnik einge-

treten — und die Erzeugung eines Gases mit hoher Leuchtkraft ist daher heute viel weniger wichtig als die, ein Gas mit hoher Heizkraft zu erhalten. Über die Herstellung der Auerschen Glühkörper werden wir in einem später folgenden Abschnitte noch ausführlich zu sprechen haben, wir wenden uns daher gleich der Leuchtgaserzeugung selbst zu, die sich natürlich in mancher Hinsicht von der Kokerei unterscheidet, wenn der Vorgang auch der gleiche ist und auf der trockenen Destillation der Kohle beruht.

a) Steinkohlengas.

Die Gaserzeugung zu Leuchtzwecken hat sich erst nach und nach aus kleinen Anfängen herausgebildet. Der *Earl* von *Dundonald* soll 1786 der erste gewesen sein, der Koksofengase zur Beleuchtung seines Landhauses verwendete, im gleichen Jahre beleuchtete Professor *Pickel* in Würzburg sein Laboratorium mit selbst bereitetem Gas, das er durch trockene Destillation von Knochen gewann.

Doch erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts trat die Sache in ein entscheidendes Stadium, besonders durch die Versuche von *W. Murdoch* und *P. Lebon*, worauf dann zu Beginn des 19. Jahrhunderts schon mit der Beleuchtung von Städten begonnen wurde, die allerdings zunächst nur langsam fortschritt. In neuerer und neuester Zeit ist das Steinkohlengas ein unentbehrlicher Behelf geworden — trotzdem ihm durch das elektrische Licht eine schwere Konkurrenz entstand. Dank der Erfindung *Auers*, die besonders durch das hängende Gasglühlicht an allgemeiner Anwendbarkeit gewann und dann durch die immer mehr sich einführende Verwendung des Leuchtgases zu Heizzwecken ist jedoch durchaus kein Rückgang, sondern im Gegenteile allerorts ein starkes Ansteigen des Gaskonsumes zu verzeichnen — unbeschadet der bedeutenden Mengen elektrischer Energie, die gleichzeitig konsumiert werden.

Da — im Gegensatz zur Kokerei — die Leuchtgasfabrikation auf die Erzeugung einer nach Möglichkeit großen Gasmenge hinarbeitet, werden auch an die Beschaffenheit der Kohle andere Anforderungen gestellt. Man benützt vornehmlich backende Sinterkohlen, die sich durch großen Reichtum an flüchtigen Bestandteilen auszeichnen, im allgemeinen verlangt man bei der im Tiegel durchgeführten Verkokungsprobe eine Ausbeute von 60 bis 70% Koks. Der Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff wird — auf vollkommen trockene und aschenfreie Kohle bezogen —

mit 80 bis 87% Kohlenstoff und 5·1 bis 6·1% Wasserstoff bemessen. Früher, als man großes Gewicht auf die Leuchtkraft des Gases legen mußte, pflegte man häufig jeder Charge, die zur Vergasung kam, Zusätze anderer Kohlen zu machen, die zwar die Güte und Menge des erhaltenen Koks etwas beeinträchtigten, dafür aber die Leuchtkraft des Gases erhöhten. Heute ist man davon ganz abgekommen, weil der Wert eines Leuchtgases in erster Linie von seinem Heizwerte abhängt. Wo es sich darum handelt, ein schwachleuchtendes Gas leuchtend zu machen, wendet man die sogenannte „*Karburation*" an, die in der Beimengung leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe besteht.

Die *Fabrikation des Leuchtgases* zerfällt in die folgenden Operationen:

1. Die Darstellung des rohen Gases durch Destillation der Steinkohlen in den Retorten.

2. Die Verdichtung oder Kondensation der dampfförmigen Produkte der trockenen Destillation im Kondensor und Skrubber.

3. Die Reinigung des Gases von schädlichen oder seinen Wert vermindernden Bestandteilen.

Wir wollen nun zunächst die allgemeine Einrichtung einer Gasfabrik kennen lernen, und zwar an der Hand der schematischen Zeichnung Abb. 8. Im Anschlusse daran werden wir ferner alle jene Verbesserungen erörtern, die heute in modern eingerichteten, für große Produktion berechneten Gaswerken angewendet werden.

In unserer schematischen Abbildung bedeutet *A* die Feuerung des Retortenofens, in den die tönernen *Retorten C* eingesetzt sind. Diese Retorten sind einseitig geschlossene Zylinder, die von 100 *kg* Kohle bloß zur Hälfte angefüllt sind. Die Feuerung steht mit der Schlote *N* in Verbindung. An das vordere Ende der Retorten ist gasdicht und aus dem Ofen hervorragend ein gußeisernes Mundstück befestigt, welches nach oben zu einen röhrenförmigen Ansatz trägt, in den eine eiserne Röhre zur Fortleitung der gasförmigen Destillationsprodukte eingesetzt wird. Vorne kann dieses Mundstück durch eine eiserne Platte verschlossen werden, welche zum Zwecke der Füllung (Laden, Chargieren) und Entleerung der Retorte abgehoben wird. Soll die Retorte entleert werden, so öffnet man diesen Deckel und entzündet sofort, um Explosionen zu vermeiden, das noch in der Retorte verbliebene Gas. Die Koks werden nun herausgezogen und entweder noch glühend zur Heizung verwendet oder mit Wasser abgelöscht.

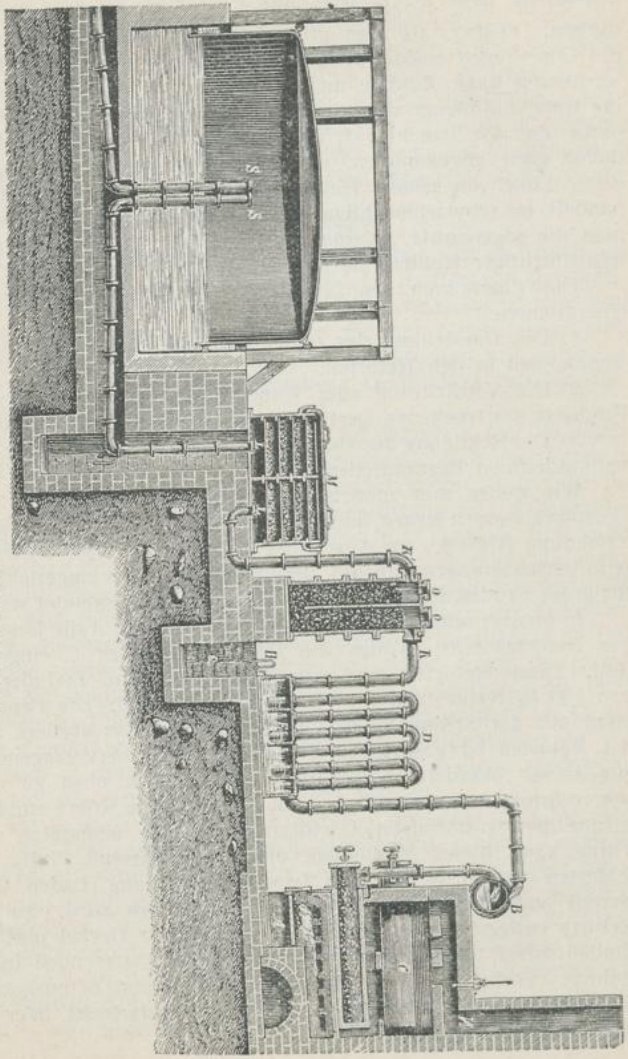


Abb. 8. Gasfabrik, schematisch dargestellt.

Unmittelbar nach dem Chargieren und Verschließen der Retorte findet eine massenhafte Gasentwickelung statt, die sich allmählich verlangsamt und nach 3 bis 4 Stunden ihr Ende erreicht. Durch die vertikal stehenden Aufsteigerohre, die an das vordere Ende der Retorten angefügt sind, gelangen die Destillationsprodukte in eine horizontalliegende, röhrenförmige, gewöhnlich eine ganze Ofenreihe verbindende Vorlage, die *Hydraulik*, welche bei *B* im Querschnitte dargestellt ist. Hier verdichtet sich der schwerer flüchtige Teil der Dämpfe und fließt in kondensiertem Zustande durch heberförmige Röhren in die dazu gehörigen Behälter ab. Die Aufsteigeröhren münden innerhalb der kondensierten Flüssigkeit der Vorlage, um zu verhüten, daß ihr Gasraum mit dem der Retorten unmittelbar in Verbindung tritt.

Das Gas gelangt aus der Hydraulik durch ein oben in diese mündendes Rohr in den *Kondenser* oder Verdichtungsapparat, wo es gezwungen wird, ein weitläufiges System von Röhren (*D*) zu passieren. Diese Rohre bestehen der besseren Wärmeleitungsfähigkeit wegen aus Gußeisen, sie nehmen die Wärme der hindurchgehenden Gase auf und geben sie an die Luft ab. Die Dämpfe kühlen sich dabei soweit ab, daß sie sich zum größten Teile verdichten und sich im flüssigen Zustande im Behälter *E* ansammeln. Dieser ist durch senkrechte, nicht bis an den Boden reichende Scheidewände in mehrere Kammern geteilt.

Das Gas, in die erste dieser Kammern eintretend, kann nur durch den kürzeren Schenkel der *n*-förmigen Röhre entweichen und durch den längeren Schenkel, der unter der Flüssigkeit in *E* mündet, in die zweite Kammer gelangen. Von dieser nimmt es seinen Weg in die dritte bis letzte Kammer und gelangt dann, um noch gründlicher von den kondensierbaren Anteilen befreit zu werden, in den *Waschapparat* oder *Skrubber*. Die sich in *E* ansammelnden Bestandteile gelangen durch das Heberrohr *H* nach der Grube *Q*.

Der in unserer Abbildung mit *KK'* bezeichnete *Skrubber* besteht aus einem Zylinder, der durch eine senkrechte, nicht bis auf den Boden reichende Scheidewand in zwei Teile geteilt ist, die man mit Koksstücken füllt. Über diese rieselt fortwährend Wasser und nimmt noch einen Teil der im Gase vorhandenen, verflüssigbaren Bestandteile auf. Von *K* ab nimmt das Gas seinen Weg von oben nach unten, steigt in der zweiten Kammer des Skrubbers nach aufwärts und tritt bei *K'* in den Reiniger *LL'M* ein. Auf dieser Strecke ist auch ein Exhaustor eingeschaltet,

dessen Zweck darin besteht, das Gas so rasch als möglich aus den Retorten zu saugen, so daß in diesen kein Überdruck herrscht, und es nach dem Reiniger und dem Gasbehälter zu pressen. Die rasche Fortschaffung des Gases aus den Retorten ist deshalb nötig, weil es in Berührung mit der glühenden Retortenwandung eine Veränderung erfährt. Der die Leuchtkraft bedingende Bestandteil des Gases ist nämlich das Azetylen, das in nicht leuchtendes Methan und Kohlenstoff zerfällt. Die Zersetzung ist um so vollständiger, je länger das Gas in den Retorten verweilt und mit den glühenden Retortenwandungen in Berührung ist; die im Inneren der Retorten herrschende Temperatur liegt zwischen 1100 und 1200°.

Das die Retorte verlassende Gas ist natürlich — auch nach der Abscheidung des Teeres und der Wäsche im Skrubber — noch nicht genügend rein, um zu Leuchtzwecken angewendet zu werden. Es enthält Schwefelwasserstoff, ferner Ammonium- und Zyanverbindungen, die entfernt werden müssen. Dies kann nur auf chemischem Wege geschehen, die Reinigung wird im Reiniger *M* durchgeführt.

Hier wird das Gas über Schichten, aus feuchtem Eisenhydroxyd im Gemenge mit Sägespänen bestehend, geleitet, die Sägespäne haben nur den Zweck, die Oberfläche zu vergrößern. Vom Eisenhydroxyd werden der Schwefelwasserstoff, dann aber auch die Ammonium- und Zyanverbindungen zurückgehalten. Die Gasreinigungsmasse reichert sich mithin an diesen wertvollen Bestandteilen an, die, wenn sie ausgebraucht ist, auch daraus gewonnen werden.

Endlich gelangt das gereinigte Gas durch das Rohr *L'* nach dem *Gasbehälter*, dies ist eine aus Eisenblech verfertigte Glocke, welche in Wasser taucht. Ist die Glocke leer, so sinkt sie soweit herab, daß sie auf dem Boden des Wasserbehälters aufruht, sie ist dann vollständig mit Wasser gefüllt. Tritt dagegen bei *S* Gas aus, so wird die Glocke gehoben, die zwischen vertikalen Schienen auf Rollen läuft. Durch das zweite mit *S* bezeichnete Rohr wird endlich das Gas den Konsumenten zugeführt, nachdem vorher die die Gasfabrik verlassende Gesamtmenge gemessen wurde.

Diese verhältnismäßig einfache Art der Darstellung des Leuchtgases wurde im Laufe der Jahre nach vielen Richtungen verbessert. Das Prinzip ist allerdings das gleiche geblieben, wie es unsere Abbildung veranschaulicht, doch die Apparatur hat mannigfache Ausgestaltungen erfahren, und damit Hand in Hand

gehend wurde die Ausbeute und Leuchtkraft des Gases erhöht. Ebenso hat man sich auch mit dem Studium der sich in der Retorte abspielenden Vorgänge beschäftigt, und erst als man diese genau erkannt, war es möglich, an Stelle der alten, horizontalliegenden Retorten mit geringem Fassungsraume andere Vorrichtungen zu setzen.

Über die *Entgasungsvorgänge*, die sich in einer von außen beheizten und mit Steinkohlen beschickten Kammer abspielen, wie sie in neuerer Zeit auch für die Leuchtgasfabrikation benützt werden, hat *Hilgenstock* Versuche angestellt. Er fand folgendes: Wenn in die heiße Ofenkammer eine frische Kohlenfüllung gebracht wird, so tritt alsbald in der Außenschicht durch Berührung mit den heißen Wänden nach der Verdampfung der Feuchtigkeit die Entgasung der Kohle ein. Die entstehenden Kohlenwasserstoffe, namentlich die Teerbildner, werden in den noch kühlen, inneren Partien zu Teer verdichtet und es entsteht eine *Verkokungsnaht*, eine teerige Masse, die auf der Wandseite erhitzt wird, auf der Innenseite aber infolge der gewaltigen Wärmeabsorption durch die Verdampfung kühl, d. h. nicht über 100° heiß ist. Auf der Innenseite in die Kohlenfüllung eindringende Wasserdämpfe verdichten sich darin, und so konnte *Hilgenstock* nachweisen, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Kohle in den ersten Stunden sogar um mehrere Prozente zunimmt, und daß ganz trocken eingebrachte Kohle eine Zeitlang aus dem chemisch gebundenem Wasser der Kohle eine gewisse Feuchtigkeitsmenge aufnimmt. Bestände die „Verkokungsnaht" nicht, die 30 bis 40 *mm* stark ist und auf der Wandseite durch eine Wärmequelle von mehr als 1000 bis 1300° beheizt, auf der Innenseite aber durch Wärmeabsorption der Dämpfe kühl gehalten wird, so würde die Temperatur allmählich gleichmäßig abnehmend in das Innere der Füllung dringen, und eine Verkokung wäre nicht möglich. Denn es ist ja bekannt, daß die Entgasung der Kohle schon bei niederer Temperatur vor sich geht und sich, ohne daß es zur Koksbildung kommt, vollständig schon bei Temperaturen zwischen 300 und 500° bewirken läßt.

Die alten horizontalliegenden Tonretorten mit ovalem oder halbovalem Querschnitte standen lange Zeit ausschließlich im Gebrauche, erwiesen sich aber um so unzweckmäßiger, je mehr die Gasproduktion und der Gasverbrauch stieg und je mehr man auf nach Möglichkeit ökonomisches Arbeiten Bedacht nehmen mußte. Es ist klar, daß sowohl die Beschickung, als auch die

Entleerung solcher Horizontalretorten Schwierigkeiten verursachte, abgesehen davon, daß auch die alte Art der Feuerung, mit einer unmittelbar unter den Retorten liegenden Heizungsanlage, unökonomisch ist.

Man ging daher zunächst zur Verwendung beiderseits offener, schrägliegender Retorten über, die im Ofen so angeordnet wurden, daß die Beschickungs- und die Entleerungsseite vollständig voneinander getrennt sind. Zur Beschickung bleibt der untere Deckel geschlossen, der obere wird geöffnet und nun wird, meist unter Verwendung eines fahrbaren, hängenden Füllrumpfes, die Charge eingefüllt. Zur Entleerung wird die untere Verschlußplatte entfernt, worauf der glühende Kokskuchen dank der schrägen Stellung der Retorte herausgleitet. Ein Teil wird sofort zur Heizung der Retorten benützt und zu diesem Zwecke der unter den Retorten angeordneten Generatoranlage übergeben, der andere Teil gelangt bei größeren Anlagen auf ein Transportband, das ihn einer Brause zuführt, wo er abgelöscht wird.

Diese Retortenanordnung hat sich sehr bewährt, war aber doch noch verbesserungsfähig. Man baute vertikal stehende Retorten, die mit Generatorgas geheizt und ihrer ganzen Oberfläche nach vom Generatorgase umspült werden, wodurch die Erwärmung und Entgasung sehr gleichmäßig vonstatten geht. Die unteren Verschlüsse dieser Vertikalretorten lassen sich, für je einen Ofen, in dem eine Anzahl solcher Retorten untergebracht ist, von einer Stelle aus öffnen und wieder schließen. Das Füllen der Retorten erfolgt durch einen über den Öfen verschiebbaren Hängewagen. Jede dieser stehenden Retorten vermag 500 bis 550 *kg* Kohle aufzunehmen, die Ausstehzeit beträgt, je nach der Kohlensorte, 8 bis 10 Stunden. Aus 100 *kg* Kohle werden, je nach der Kohlensorte 31 bis 33 m^3 Leuchtgas, auch mehr, gewonnen. Da die Vorgänge im Inneren der Retorte hier günstiger verlaufen als in den Horizontalretorten, ist auch die Leuchtkraft des Gases und sein Heizwert höher. Er beträgt 5100 bis 5400 Wärmeeinheiten.

Das Anwachsen der Gaswerke der großen Städte machte eine noch weitere Vereinfachung der Bedienung und Erhöhung der Ökonomik wünschenswert. Dem wurde durch Einführung von *Kammeröfen*, ähnlich denen, die wir bei Besprechung der Kokerei kennen lernten, Rechnung getragen. *Börnstein* beschreibt solch einen *Schrägkammerofen*, wie er in den Gaswerken zu München und Wien verwendet wird, folgendermaßen:

Auf einer Regenerationsvorrichtung bauen sich die Vergasungskammern auf, von denen je drei in einem Ofen vereinigt sind. Zwischen den Kammersohlen, die sehr fest hergestellt sind, befinden sich die Brenner, über diesen und zwischen den Kammern die Feuerzüge, die in ihrem oberen Verlaufe teils über die Kammerdecken, teils zu den Rückwänden der Kammer führen, um auf der anderen Kammerseite zur Regeneration abzustürzen. Die Kammern besitzen jene Neigung, welche zur selbsttätigen Lagerung der Kohle und zum Herausgleiten des Koks erforderlich ist. Die kleineren Verschlüsse an der Ladeseite werden von Hand geöffnet und geschlossen, die Türe an der Auslaßseite wird von einem kleinen, vor der Ofenfront vorfahrendem Wagen aus bedient. Die Tür ist gegen das Kammerinnere mit einem Schild versehen, um ein Vordringen der Kohlen in den Verschlußkopf zu vermeiden. Der Druck der Kohlen auf die Kammertüre wird durch eine zweckentsprechende Konstruktion auf die Ofenverankerung übertragen. In den meisten Fällen beginnt der Kokskuchen nach Öffnung der Auslaßtüre sich sofort nach abwärts in Bewegung zu setzen. Sollte es indessen hierzu eines Anstoßes bedürfen, so ist dafür eine an der Rückwand vorfahrbare und leicht zu bedienende Ausstoßvorrichtung vorgesehen, deren Stempel an der Rückseite des Kokskuchens ansetzt.

Zur Füllung der Kammern mit Kohlen ist hinter und oberhalb der Füllöffnungen je ein Bunker von dem Fassungsraume der Kammern angebracht. Die Kohlen werden in bekannter Weise durch Elevatoren und Verteilungsvorrichtungen in die Bunker gefördert, nachdem die großen Stücke vorher auf ein Korn von zirka 100 *mm* gebrochen worden sind. Der Einlauf der Kohlen aus dem Bunker in die Kammer wird durch eine fahrbare Kippmulde vermittelt, deren eines Ende sich in das Füllmundstück der Kammer, das andere an die mit einer Klappe versehene Auslaßöffnung des Bunkers anlegt. Der aus der Kammer herausgleitende Kokskuchen gleitet über eine an dem Bedienungswagen angehängte Schurre ins Freie.

Eine besondere Einrichtung für die Abförderung und das Löschen des Koks ist an den Öfen nicht vorgesehen, sondern zunächst nur eine sehr einfache und billige Anordnung getroffen worden, die sich aber gut bewährt hat. Vor dem Ofenhause erstreckt sich auf die Länge des Ofenblockes eine etwa 4 *m* breite, 1·3 *m* tiefe Grube, deren Sohle, im Querschnitte gesehen, sich an die Schurre im gleichen Gefälle anschließt und allmählich

in eine Horizontale übergeht. Der aus der Kammer in geschlossener Form heraustretende Kokskuchen fällt dort, wo die Sohlenlinie eine andere Richtung annimmt, in sich zusammen, vielfach in der Weise, daß er sich in seiner Mittelebene der Länge nach teilt, so daß die eine Hälfte nach rechts, die andere nach links fällt; in der Grube wird der Koks gelöscht und vorläufig mit Karren abgefördert. Jeder Ofen besitzt seine eigene Vorlage, in welche drei Steigrohre münden. (Abb. 9.)

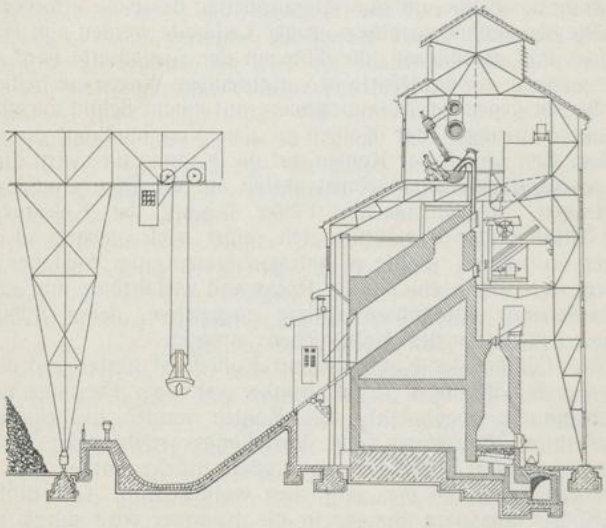


Abb. 9. Schrägkammerofen der Münchner Gaswerke.

Die Generatoren befinden sich auf der Ladeseite; sie besitzen einen genügend großen Fassungsraum, um die Nachfüllung in größeren Zwischenpausen zu ermöglichen. Das Entleeren und Beschicken einer Kammer spielt sich folgendermaßen ab: Es wird die Einfüll- und Ausstoßöffnung an der Ladeseite und dann die Auslaßtüre, diese vom Bedienungswagen aus, geöffnet. Bedarf der Kokskuchen eines Anstoßes, um in Bewegung zu geraten, so wird sie ihm mittels der vor die Ausstoßöffnung gefahrenen Ausstoßvorrichtung durch einige Kurbelumdrehungen, die den Stempel an den Kokskuchen anpressen, erteilt; der Kokskuchen

gleitet dann innerhalb weniger Sekunden in die Löschgrube. Die Auslaßtür und die Ausstoßöffnung werden nun geschlossen und es beginnt die Füllung der Kammer. Hierzu wird die Kippmulde eingeschaltet und die Bunkerklappe gezogen. Die Füllung vollzieht sich bei richtigem Neigungswinkel des Bunkers in 20 bis 30 Sekunden und fast ohne Rauch und Flammenentwickelung; die Kohle lagert sich in der Kammer in gleicher Höhe bis nahezu unter die Decke. Sodann wird die Füllöffnung geschlossen und die Charge ist beendet. Die Entleerung und Füllung der Kammer beansprucht unter normalen Verhältnissen nur etwa 3 Minuten. Zur Besorgung der Lade- und Ausstoßarbeiten sind auf der Vorder- und Rückseite der Öfen nur je zwei Mann erforderlich, die in 8stündiger Schicht 10 bis 12 Öfen mit 30 bis 36 Kammern bedienen können.

Die Vergasungszeit beträgt 24 Stunden, mithin ist für die übrige Zeit nach der Entleerung und Beschickung nur mehr für die Beaufsichtigung der Öfen und Unterhaltung der Heizung zu sorgen, wofür ein Mann genügt. Die äußerst gleichmäßige Temperatur der Wände und der Sohlen der Kammern wird durch zweckmäßige Anordnung der Brenner erreicht, sowie durch eine zweckmäßige Teilung und Führung der Feuerzüge. Die mittlere Temperatur in den Feuerzügen zwischen den Kammerwänden beträgt 1250 bis 1300°, die Temperatur der Rauchgase beim Verlassen der Öfen zirka 350°.

Die von den Kammerwänden ausgehende Hitze greift zunächst die äußere Schichte des Kohlenprismas von allen Seiten an und dringt allmählich nach innen. Im gleichen Schritt erfolgt die Vergasung und Verkokung der Kohle. Mit dem Fortschreiten der Wärmeeinwirkung nimmt die Dichte des Koks nach innen und nach oben etwas ab, wodurch der Abzug der Gase innerhalb der weniger heißen Mittelschicht erleichtert wird. Bei allen bisher vergasten Kohlensorten ließ sich beobachten, daß sich der Kokskuchen von den Kammerwänden ablöst, wodurch zwischen ihm und den Wänden ein Abstand von 10 bis 15 *mm* entsteht. Der Graphitabfall aus den Kammern, entstehend durch Zerlegung des Azetylens in Berührung mit den heißen Wandungen, die, wie erwähnt, unter Kohlenstoffabscheidung erfolgt, ist geringer wie in den Retorten, und die Beseitigung des Graphits ist nur alle 6 bis 7 Wochen erforderlich. Der Graphit löst sich von den Wänden sehr leicht ab, von den Decken muß er durch Ausbrennen entfernt werden.

Der Verlauf der Gasentwicklung in den einzelnen Abschnitten der Destillation ist sehr gleichmäßig. Die Gasproduktion steigt in der ersten halben Stunde nach der Kammerbeschickung rasch an, geht in den folgenden drei Stunden etwas zurück und bleibt von da ab bis zur 18. Stunde nahezu auf gleicher Höhe, um dann stetig bis zur 24. Stunde auf das Minimum zurückzusinken. Jede Kammer dieser Öfen faßt, je nach der Beschaffenheit der Kohle, 2500 bis 3000 *kg*.

Außer diesen Öfen mit schräge liegenden Kammern werden in großen Gaswerken auch Öfen mit *horizontalen Kammern* zu 300 m^3 Tagesleistung, von *A. Klönne* in Dortmund konstruiert, angewendet. *Sissingh* beschreibt eine solche Ofenanlage mit vier Kammern, je 4·50 *m* lang, 2 *m* hoch und im Durchmesser 0·40 *m* breit, folgendermaßen:

Die Ladung jeder Kammer findet einmal in 24 Stunden statt; sie erfolgt durch zwei verschließbare, in der Decke angebrachte Öffnungen. Die Entladung geschieht mit Hilfe einer horizontal arbeitenden Ausstoßmaschine, die vor jede Kammer gefahren werden kann und mittelst einer Ramme den Kokskuchen herausdrückt. Um dies zu ermöglichen, ist jede Kammer an beiden Seiten mit abnehmbaren Türen versehen. Die Koksbildung bewirkt anfänglich eine geringe Ausdehnung der Kohlenmasse, die sich aber am Schlusse wieder soweit zusammenzieht, daß am Ende der Vergasungszeit zwischen Kokskuchen und Kammerwänden weite Fugen vorhanden sind, wodurch der Kokskuchen beinahe ohne besondere Kraftanwendung ausgestoßen werden kann. Er kommt wie ein großes gebackenes Brot aus dem Ofen und hat in der vertikalen Mittellängsfläche einen Riß, wodurch er außerhalb des Ofens genau in zwei Hälften auseinanderfällt. Der Koks ist dichter und härter als gewöhnlicher Gaskoks, aber leichter zu zerbrechen und zu zerkleinern. Er ist im Feuer etwas schwieriger anzuheizen, hält dafür aber länger an und gibt mehr Hitze.

Mit der Einführung dieser von den alten Retortenöfen ganz abweichenden Bauart der Entgasungsvorrichtungen hat sich natürlich auch der Betrieb der Gasfabrikation wesentlich geändert. Dazu kommt noch der Umstand, daß man gegenwärtig bestrebt ist, die Gasversorgung großer Gebiete von einer einzigen Stelle aus zu besorgen, sie mithin zu zentralisieren, wie dies z. B. in Wien in der glücklichsten Weise gelöst ist.

Solch gewaltige Anlagen setzten naturgemäß auch besondere Vorkehrungen zur Bewältigung des Betriebes voraus, die Handarbeit wird nach Möglichkeit vermieden oder doch auf das unvermeidliche Mindestmaß eingeschränkt und die Versorgung der Öfen mit Kohle, die Abfuhr des Koks etc. nach Tunlichkeit automatisch besorgt.

Schon der *Kohlenhof* solch eines modernen Riesengaswerkes bietet ein eigenartiges Bild, lagern doch hier unausgesetzt 1000 und mehr Waggons Kohle, um stets eine genügende Reserve für alle erdenklichen Zwischenfälle, wie Streiks, Unterbrechung der Bahnzufuhr und ähnliche Ereignisse, zur Verfügung zu haben. Die Ausschaltung der Handarbeit beginnt naturgemäß schon mit dem Einlangen der mit Kohle beladenen Waggons im Kohlenhofe. Früher wurde die Entladung durch Handarbeit besorgt, wozu in größeren Gaswerken ein Stab von einigen hundert Arbeitern erforderlich war. Jetzt gelangt jeder Waggon auf eine elektrisch angetriebene Kippvorrichtung, die ihn soweit neigt, daß sein Inhalt selbst herausgleitet. Dadurch wird die Handarbeit auf ein Minimum beschränkt.

Die Aufnahme der Kohle besorgen große Greifbagger, die an einer auf Schienen laufenden Brücke montiert sind und mit dieser an jeden Punkt der Kohlenmasse gebracht werden können. Sie entleeren ihren Inhalt in eine elektrisch angetriebene Rollbahn, die nach den Kohlebunkern führt, von wo, wie angedeutet, die Versorgung der Retorten bzw. Kammeröfen erfolgt.

Wir wenden uns nun der Besprechung der weiteren *Reinigung* des Leuchtgases zu, die wir bei Erörterung des allgemeinen Schemas einer Gaserzeugungsstätte nur ganz allgemein angedeutet haben.

Das die Retorten verlassende, zunächst gasförmige Produkt der trockenen Destillation der Steinkohle scheidet sich bei der Abkühlung in einen wässerigen Anteil, das Ammoniakwasser, in einen gasförmig bleibenden, das noch weiter zu reinigende Leuchtgas und in den schwarzen, dickflüssigen Teer. Im Leuchtgase konnte eine große Anzahl verschiedenartiger Bestandteile nachgewiesen werden, die man als *Lichtträger*, *Wärmeträger* und *Verunreinigungen* bezeichnet. Die wichtigsten sind:

Lichtgebende Bestandteile.

a) Gasförmig bleibend:

Name	Formel	Name	Formel
Äthan	C_2H_6	Inden	C_9H_8
Äthylen	C_2H_4	Naphthalin	$C_{10}H_8$

Name	Formel	Name	Formel
Propylen	$C_3 H_6$	Methylnaphthalin . .	$C_{11} H_{10}$
Butylen	$C_4 H_8$	Azenaphthen	$C_{12} H_{10}$
Azetylen	$C_2 H_2$	Fluoren	$C_{13} H_{10}$
Allylen	$C_3 H_4$	Fluoranthen	$C_{15} H_{10}$
Crotonylen	$C_4 H_6$	Propan	$C_3 H_8$
Pentylen	$C_5 H_8$	Butan	$C_4 H_{10}$
b) Dämpfe:		Pyridin	$C_5 H_5 N$
Benzol	$C_6 H_6$	Picolin	$C_6 H_7 N$
Toluol	$C_7 H_8$	Phenolartige Körper.	
Xylol	$C_8 H_{10}$		
Thiophen	$C_4 H_4 S$		
Styrol	$C_8 H_8$		
Wärmeträger:			
Wasserstoff . . .	H		
Methan (Sumpfgas)	$C H_4$		
Kohlenoxyd . . .	$C O$		
Verunreinigungen:		*Schwefelhaltige Kohlenwasserstoffe:*	
Kohlensäure . . .	$C O_2$	Schwefelkohlenstoff	$C S_2$
Ammoniak	$N H_3$	Kohlenstoffoxysulfid	$C O S$
Zyanwasserstoffsäure	$CH N$	Phenylsenföl . . .	$C_6 H_7 NCS$
Zyanmethyl. . . .	$CH_3.CN$	Stickstoff	N
Schwefelwasserstoff	$H_2 S$		

Das Wesentlichste über die Reinigung des Gases haben wir schon gesagt. Sie zerfällt in eine mechanische Reinigung durch Abkühlen und Waschen des Gases, der dann noch die chemische Reinigung folgt, um das Gas, ehe es in den Konsum gelangt, wenigstens von den schädlichen oder direkt giftigen Bestandteilen, wie der Blausäure (Zyanwasserstoffsäure) etc. zu befreien.

An Stelle der alten Skrubber, wie sie die schematische Abbildung veranschaulicht, traten vielfach komplizierte Apparate, die einen weit besseren Effekt gewährleisten, auch Wasserkühler werden häufig an Stelle der einfachen Luftkühlung angewendet. Den Transport des Gases aus der Retorte nach den Teerscheidern und den übrigen Apparaten besorgen *Exhaustoren*, deren Aufgabe es, wie erwähnt, auch ist, das Gas nicht zu lange in den Retorten verweilen zu lassen, um die unvermeidliche Zersetzung unter Abspaltung von Kohlenstoff auf das unvermeidliche Minimum herabzudrücken. Man verwendet dazu entweder Glocken- oder Kolbenexhaustoren, nach Art der Flügelpumpen gebaute rotierende

Gasabsauger oder auch Dampfstrahlexhaustoren, wobei aus einer Düse unter hoher Spannung austretender Dampf den Gasstrom mit sich reißt.

Zur *Reinigung* des *Gases* auf chemischem Wege, die wir ebenfalls schon kurz angedeutet haben, werden oder wurden verschiedene Verfahren benützt. Es handelt sich um die Entfernung des Schwefelwasserstoffes, der Kohlensäure, der Blausäure und der Rhodanverbindungen, endlich des Schwefelkohlenstoffes und anderer schwefelhaltiger Verbindungen. Diese würden bei der Verbrennung schwefelige Säure liefern, die Kohlensäure setzt die Leucht- und Heizkraft des Gases herab und die Blausäure ist im höchsten Grade giftig. Sie verbrennt zwar glatt zu Kohlensäure und Wasser, darf jedoch nicht im Gase verbleiben, weil sonst schon geringe Gasausströmungen sehr gesundheitsschädlich wirken könnten.

Ursprünglich verwendete man zur chemischen Reinigung des Gases Kalkmilch oder Ätzkalk, ging aber bald zur Eisenreinigung über, wobei fast ausschließlich die *Laming*sche *Masse* verwendet wurde. Sie wurde aus gleichen Teilen Eisenvitriol, gelöschtem Kalk und Sägespänen bereitet, indem man den Kalk zunächst mit den Sägespänen mengte und dann mit der Lösung des Eisenvitriols begoß. Dann wurde die Masse an der Luft liegen gelassen und wiederholt umgeschaufelt, um den Übergang des zunächst durch die Einwirkung des Kalkes auf den Eisenvitriol ausgeschiedenen Eisenoxydulhydrats in Eisenoxydhydrat zu bewirken, wodurch sich die Masse gleichzeitig braun färbt.

Die fertige *Laming*sche Masse besteht mithin aus einem Gemenge von Kalziumsulfat (Gips) und Eisenoxydhydrat. Der Gips setzt sich mit dem im Gase enthaltenen kohlensauren Ammon in schwefelsaures Ammon und kohlensauren Kalk um, Schwefelwasserstoff wird vom Eisenoxydhydrat unter Bildung von Eisensulfid gebunden. Auch die Zyanide und Sulfozyanide werden gebunden. Durch die Aufnahme dieser Gase nimmt die Wirksamkeit der *Laming*schen Masse allmählich ab; um sie zu regenerieren, wird sie aus den Reinigern genommen und wieder der Luft ausgesetzt. Das Eisensulfid geht dann unter Abscheidung von Schwefel wieder in Eisenoxydhydrat über. Der Prozeß verläuft nach der folgenden Gleichung:

Eisensulfid		Sauerstoff		Wasser		Eisenoxydhydrat		Schwefel
Fe_2S_3	+	$3O$	+	$3H_2O$	=	$2Fe(OH)_3$	+	$3S$

Daraus ergab sich auch, daß die Verwendung von Ätzkalk ganz unnötig ist, und man ging daher zu Reinigungsmassen über, die nur aus Eisenhydroxyd bestehen. Das wichtigste Rohmaterial zu ihrer Herstellung bildet der in der Natur mitunter in großen Anhäufungen vorkommende Raseneisenstein oder Quellenocker. Es wird in verschiedener Weise präpariert, um zur Gasreinigung tauglich zu werden. So wird z. B. die *Lux*sche Gasreinigungsmasse dadurch erhalten, daß man fein gemahlenen Raseneisenstein mit kohlensaurem Natron in einem Flammofen schmilzt und die Schmelze mit Wasser behandelt. Dadurch wird Eisenoxydhydrat in ungemein feiner Verteilung niedergeschlagen und vermag dank seiner sehr bedeutenden Oberfläche sehr starke Wirkungen auszuüben. Ein Kubikmeter dieser Masse kann zur Reinigung von 10.000 m^3 Gas verwendet werden.

Die Reinigungsmassen beladen sich während ihrer Verwendung einerseits mit Schwefel, andererseits mit Zyanverbindungen und mit Ammoniumsalzen. Der Schwefelgehalt ist meist groß genug, um seine Gewinnung, meist durch Abrösten, zu lohnen, ferner werden die Reinigungsmassen auch ihres Zyangehaltes wegen zur Blutlaugensalzfabrikation herangezogen.

Die *Zusammensetzung* einiger *gebrauchter Gasreinigungsmassen* erhellt aus den folgenden Untersuchungen von *Leybold*:

	Lux-Masse	Mattoni-Masse	Raseneisenerz
Wasser	26·52	26·36	26·00
Schwefel	29·95	28·26	25·04
Berlinerblau	2·27	5·40	10·32
Rhodanammonium	3·78	2·41	2·24
Ammoniak	1·66	0·41	0·38

Einen regelmäßigen Bestandteil des Leuchtgases bildet auch das *Naphthalin*, das sich durch Zersetzung der schweren Kohlenwasserstoffe in den Retorten bildet. Da es die Eigenschaft besitzt, sich in den Rohrleitungen zu verdichten und hier zu Verstopfungen Anlaß geben kann, muß sich die Reinigung auch auf die Entfernung dieses Bestandteiles erstrecken. Allerdings ist die Menge des entstehenden Naphthalins bei Verwendung stehender Retorten oder von Kammeröfen geringer, wie wenn die Gaserzeugung in liegenden oder schrägen Retorten durchgeführt wird, doch muß stets auf die Entfernung Rücksicht genommen werden. Seiner großen Flüchtigkeit wegen versagt hier die Abkühlung allein, man muß daher zu dem Auskunftmittel greifen, das Naphthalin von einer geeigneten Flüssigkeit absorbieren zu lassen. Als solche

hat sich schweres Teeröl am geeignetsten erwiesen, dessen Siedepunkt zwischen 350 und 400° liegt. Es vermag bis zu 25% seines Gewichtes an Naphthalin zu absorbieren; da es aber nicht nur das Naphthalin, sondern überhaupt die schweren Kohlenwasserstoffe zurückhält, würde dadurch die Leuchtkraft des Gases herabgesetzt. Um dies auszugleichen, fügt man dem Waschöle eine geringe Menge Benzol, etwa 4%, zu, dessen Dämpfe sich dem gewaschenen Gase beimengen. Das schwere Teeröl kann leicht regeneriert werden, dadurch sind die Kosten der Entfernung des Naphthalins verhältnismäßig gering.

Ein Übelstand der Leuchtgasfabrikation liegt darin, daß — wie schon des öfteren erwähnt — gewisse Bestandteile der Gase, und zwar besonders das Äthylen und das Benzol, in Berührung mit den glühenden Wandungen der Retorten unter Abscheidung von Kohlenstoff zerlegt werden. Dadurch sinkt die Leuchtkraft des Gases, und um diesen Verlust nach Möglichkeit zu verringern, trachtet man durch Einschaltung von Exhaustoren, das Gas so rasch als möglich aus den Retorten zu entfernen.

Doch läßt sich dieser Nachteil der Zerlegung auch durch das Verfahren der *Autokarburation* wenigstens teilweise und bei gewissen Kohlensorten beheben. Die Autokarburation besteht darin, daß man in die im Betriebe stehenden Retorten Wassergas, dessen Darstellung wir später besprechen werden, einleitet. Das Wassergas bedingt eine Verdünnung der Gase in der Retorte, die sich dadurch der Zersetzung entziehen. Das Endergebnis ist ein Gas mit höherem Heizwerte, auch die Leuchtkraft nimmt meist, wenn auch in geringerem Grade, zu.

Das Steinkohlengas besitzt das spezifische Gewicht 0·4 und den bekannten durchdringenden Geruch, der wahrscheinlich durch geringe Mengen schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen hervorgerufen wird. Er bewirkt, daß sich schon ganz geringe Gasmengen verraten und ist daher als Warnungsmittel sehr hoch einzuschätzen. Allerdings werden diese riechenden Stoffe absorbiert, wenn das Gas dickere Erdschichten durchströmt, und darauf sind wohl zahlreiche Unglücksfälle zurückzuführen, die sich ergaben, wenn Leuchtgas aus undichten, in der Erde liegenden Rohrsträngen in Parterrewohnungen eindrang. Denn das Leuchtgas ist nicht nur irrespirabel, d. h. es vermag den Atmungsvorgang nicht zu unterhalten, sondern es ist, besonders dann, wenn es, wie es mitunter der Fall ist, größere Mengen Kohlen-

oxyd enthält, direkt giftig, weil das Kohlenoxydgas sich mit dem Farbstoffe der roten Blutkörperchen verbindet.

Die *Zusammensetzung* aus verschiedenen Kohlensorten hergestellter *Leuchtgase* zeigt die folgende Tabelle nach *Schaar*:

Bestandteile des Gases	Kohlensorte: Boghead	Cannel	Englische Kohlen	Saarkohlen	Westfäl. Kohlen
Schwere Kohlenwasserstoffe	24·50	13·06	3·87	7·27	4·38
Grubengas . .	58·38	51·20	32·87	38·40	35·06
Wasserstoff .	10·54	25·82	50·05	44·00	51·10
Kohlenoxyd .	6·58	7·85	19·89	5·37	5·73
Kohlensäure .	—	0·13	0·32	0·37	—
Stickstoff . .	—	1·94	Spur	4·23	2·91
Sauerstoff . .	—	—	—	—	0·63

Über die Verwertung der *Nebenprodukte* der Steinkohlengas-Fabrikation ist noch zu erwähnen, daß auch der *Retortengraphit*, der sich an den Retortenwandungen absetzt, verwertet wird. Er dient zur Anfertigung feuerfester Tiegel, dann besonders zur Fabrikation der Kohlenelektroden für Bogenlampen, elektrische Öfen usf.

Die *Zusammensetzung* des *Gaswassers*, das zur Gewinnung des darin enthaltenen Ammoniaks dient, erhellt aus den folgenden, von *Kay* und *Appleyard* herrührenden Zahlen. Ein Kubikmeter Gaswasser enthielt in Gramm

Gesamt-Ammoniak	2·91	bis	2·98
Flüchtiges Ammoniak	2·64	„	2·72
Schwefelzyanammon	0·16	„	0·17
Kohlensaures Ammon	5·72	„	5·74
darin Kohlensäure	3·21	„	3·22
Gesamt-Schwefel	0·63	„	0·64
Schwefelammon	0·90	„	0·94
darin Schwefel	0·56	„	0·59
Ammonium-Sulfit	0·15	„	0·16
darin Schwefel	0·04	„	0·04
Ammonium-Chlorid	1·03	„	1·05
Ammonium-Sulfat	0·01	„	0·01
darin Schwefel	0·003	„	0·003
Ammonium-Thiosulfat	Spur		Spur
Ammonium-Ferrozyanid	0·95	„	0·99

b) Ölgas.

Zu Leucht- und Heizzwecken geeignete Gase lassen sich auch durch Zersetzung bei gewöhnlicher Temperatur flüssiger kohlenstoffhaltiger Verbindungen herstellen. Die wichtigsten Rohstoffe sind die hochsiedenden Anteile des Erdöles, die sich weder für Beleuchtungszwecke, noch als Schmiermaterialien eignen und die schweren Rückstände der Destillation, dann die als „Gasöle" bezeichneten Fraktionen der Braunkohlenschwelerei, endlich gewisse, bei der Schieferdestillation abfallende Öle. In manchen Fällen werden auch andere Materialien zur Gaserzeugung verwendet, so z. B. Rüböl oder die fetthaltigen Produkte aus den Waschwässern der Kammgarnfabrikation („Suintergas").

Der Vorgang ist bei der Ölgasfabrikation der gleiche wie bei der Darstellung von Gas aus Steinkohlen: unter dem Einflusse höherer Temperaturen werden die kompliziert zusammengesetzten kohlenstoff- und wasserstoffhaltigen Bestandteile der Rohstoffe zersetzt, wobei ein an Methan und Kohlenoxyd reiches Gasgemenge entsteht, dem durch beigemengte schwere Kohlenwasserstoffe die Fähigkeit, mit leuchtender Flamme zu verbrennen, erteilt wird.

Man benützt zur *Ölgasfabrikation* liegende oder stehende Retorten, die durch eine Feuerung erhitzt werden, während das Öl langsam zufließt, oder wendet den Generatoren ähnliche Vorrichtungen an. Das Gas wird, ehe es zum Verbrauche gelangt, gewaschen und gereinigt, in größerem Umfange wird es gegenwärtig zur Beleuchtung der Eisenbahnwaggons verwendet. Sein spezifisches Gewicht ist wesentlich höher als das des Steinkohlengases, es beträgt etwa 0·87 bis 0·88; als Beispiel der typischen Zusammensetzung eines Ölgases gibt *Börnstein* die folgenden Zahlen an:

Wasserstoff	32·0%
Methan	48·0%
Äthylen	16·5%
Stickstoff	3·0%
Sauerstoff	0·5%

Der *Heizwert* des *Ölgases* ist, bedingt durch den hohen Gehalt an Wasserstoff, sehr bedeutend, er bewegt sich zwischen 10.000 bis 13.500 Wärmeeinheiten.

Unter der Bezeichnung „*Blaugas*" kommt seit einigen Jahren ein Ölgas in den Verkehr, das zum Zwecke der leichten Verwendung

in Stahlzylindern komprimiert und verflüssigt ist. Diese Stahlflaschen brauchen nur unter Zwischenschaltung eines Druckregulators an eine bestehende Gasleitung angeschlossen zu werden, um die Verwendung ihres Inhaltes zu ermöglichen, das Blaugas eignet sich daher vortrefflich zur Beleuchtung einzelnstehender Gebäude, kleiner Fabriksanlagen usf., wird aber auch als Heizgas zum Schweißen und Löten und zu ähnlichen Zwecken benützt.

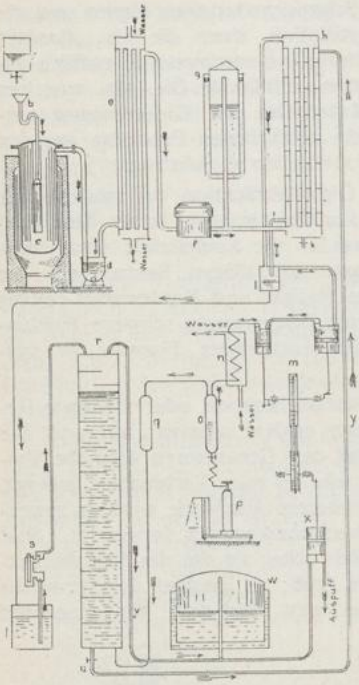


Abb. 10. Anlage zur Darstellung von Blaugas.

Dieses *Blaugas* wird nach seinem Erfinder, Ingenieur *H. Blau*, folgendermaßen bereitet: Durch die Öleinlauftrompete *b* (Abb. 10) wird aus dem Gefäße *a* der auf Dunkelrotglut erhitzten Retorte *c* das Vergasungsmaterial zugeführt. Dieses verdampft in *c* und erleidet Zersetzung unter Bildung von flüssigen und gasförmigen Körpern. Die Gasungsprodukte treten in die Vorlage *d* und dann in den Wasserkühler *e* über, wo sich die höher siedenden flüssigen Anteile der Hauptmenge nach ausscheiden. Im Reiniger *f* streicht das Gas dann durch die aus alkalischem Eisenhydroxyd bestehende Reinigungsmasse, wo Schwefelwasserstoff und eventuell vorhandene Kohlensäure entfernt wird. Zum Ausgleiche der Produktion dient die Gasglocke *g*. Hierauf werden die gereinigten Gase im Dephlegmator *h* künstlich gekühlt, um die sie karburierenden, schwerer flüchtigen, flüssigen Kohlenwasserstoffe auszuscheiden. Die so vorbereiteten Gase erhalten dann nach dem Übergange von *h* nach *l* noch eine größere Menge verflüssigbarer

gasförmiger Kohlenwasserstoffe aus der Leitung *i* beigemischt, wonach sie von dem zweistufigen Kompressor *m* angesaugt und auf zirka 80 bis 100 Atmosphären komprimiert werden. Infolge der nach der Kompression in *n* vorgenommenen Wasserkühlung findet die Kondensation des flüssigen Leuchtgases statt, welches sich in *o* ansammelt und von dort in die Versandgefäße *p* abgezogen wird. Das über dem Kondensat stehende Gasgemisch enthält nun noch eine wesentliche Menge der wertvollen koerziblen Kohlenwasserstoffe beigemischt und wird durch die Vorlage *q* hindurch dem Absorber *t* zugeführt, um dem Gastrennungsprozeß unterworfen zu werden. Es strömt zu diesem Zwecke unter dem gleichen Druck von 80 bis 100 Atmosphären durch eine geeignete Absorptionsflüssigkeit, als welche hier besonders Petroleum, Benzin u. dgl. in Frage kommen, hindurch, wobei eine Trennung des Gasgemisches insoferne stattfindet, als die leicht löslichen Kohlenwasserstoffe mit einer nur ganz geringen Menge permanenter Gase in Lösung gehen, während sich das restliche, größere Volumen der permanenten Gase über der Flüssigkeit ausscheidet und durch *v* in den Gasbehälter *w* abgelassen wird, um schließlich zum Betriebe des Gasmotors *x* zu dienen.

Die mit Gasen unter dem Druck von zirka 80 bis 100 Atmosphären gesättigte Absorptionsflüssigkeit strömt dann durch das Drosselventil *u* auf den Saugleitungsdruck des Kompressors aus, wobei die Desabsorption oder Entgasung stattfindet, welche, wie erwähnt, unter Wärmebindung vor sich geht. Somit wird hierdurch gleichzeitig auch Kälte erzeugt, die zur Kühlung frischer Destillationsgase dient, indem man die entgaste Absorptionsflüssigkeit mit den entbundenen Gasen durch den Dephlegmator *h* von oben nach unten durchleitet. Die aus der Absorptionsflüssigkeit durch die Druckentlastung ausgetriebenen koerziblen Kohlenwasserstoffe werden durch die Leitung *i* in *l* den von dem Kompressor neu anzusaugenden Destillationsgasen beigemischt, während die entgaste Absorptionsflüssigkeit ebenfalls von *i* nach *l* überströmt und von hier in das Sammelbassin *t* gelangt, worauf sie durch die Pumpe *s* dem Absorber wieder unter Druck zugeführt wird, um ihren Kreislauf fortzusetzen.

Das Blaugas besitzt ein spezifisches Gewicht von 0·51, der obere Heizwert beträgt 12318 Wärmeeinheiten für 1 *kg* oder 15349 Wärmeeinheiten für 1 m^3. Sein Siedepunkt liegt bei — 50° bis — 60°, es besteht aus gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff und Methan und enthält kein Kohlen-

oxyd, ist mithin nicht giftig. Dies und vor allem die leichte Versendbarkeit haben dem Blaugas rasch die Wege geebnet.

4. Das Generatorgas.

Wird ein geeignetes Brennmaterial in einem hohen schachtförmigen, unten durch einen schrägliegenden Rost abgeschlossenen Ofen verbrannt, so vermag die zur Verbrennung erforderliche Luft nur von unten durch die Roststäbe zuzutreten. Wird nun die Entfernung der Roststäbe so gewählt, daß die hinzutretende Luft nur hinreicht, die unterste Lage des Brennmateriales vollständig zu verbrennen, so werden die Verbrennungsprodukte gezwungen, das hoch aufgeschichtete Brennmaterial zu durchstreichen. Sie geben daran einen Teil ihrer Wärme ab und bewirken eine teilweise trockene Destillation, bei der sich brennbare Gase bilden.

Neben diesem Vorgange spielt sich jedoch noch ein zweiter ab. Im untersten Teile des Generators entsteht durch vollständige Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanz Kohlensäure, die nach aufwärts zieht und mit glühender Kohle in Berührung kommt. Sie gibt nun die Hälfte ihres Sauerstoffgehaltes an die Kohle ab und es entsteht Kohlenoxyd, ein brennbares Gas, das im Generator jedoch nicht verbrennen kann, weil es am Ort seiner Entstehung an freiem Sauerstoff mangelt. Man kann sich diesen Vorgang auch so vorstellen, daß die Kohlensäure, die aus einem Atom Kohlenstoff und zwei Atomen Sauerstoff besteht, noch ein Atom Kohlenstoff aufnimmt und dann zwei Moleküle Kohlenoxyd bildet:

$$CO_2 + C = 2\,CO$$

Kohlensäure Kohlenstoff Kohlenoxyd.

Außerdem wirkt auch noch Wasserdampf auf die glühende Kohle ein, wobei sich, wie wir bei Besprechung der Darstellung des Wassergases erörtern werden, Wasserstoff und Kohlenoxydgas bildet, der Wasserdampf stammt aus den Brennstoffen selbst her. Es entstehen mithin durch diese Vorgänge brennbare Gase, die nur durch den in der einströmenden Luft enthaltenen Stickstoff verdünnt sind, man bezeichnet diese Gasgemenge als „*Generatorgas*“; die Vorrichtung selbst, in der sich dieser Prozeß abspielt, als „*Generator*“.

Für die Industrie besitzt die Erzeugung solchen Generatorgases sehr große Bedeutung, weil die „Gasfeuerung“ besondere Vorteile bietet, sehr reinlich ist, die denkbar beste Wärmeaus-

nützung und endlich die Erzeugung sehr hoher Temperaturen gestattet. Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, daß im Generator selbst minderwertiges Brennmaterial, das sehr wasser- oder aschenreich ist, oder sehr fein verteilt ist, verwertet werden kann. Mindere Braunkohle, Sägespäne, Torf, ausgelaugte Farbhölzer u. dgl. lassen sich oft und mit großem Nutzeffekt im Generator vergasen, während ihre Verbrennung auf dem Roste häufig aus verschiedenen Gründen nicht durchführbar ist. Allerdings darf nicht übersehen werden, daß die verschiedenen Heizmaterialien, die zur Generatorgaserzeugung dienen sollen, auch eine bestimmte Einrichtung des Generators voraussetzen. Der Generator muß den zu vergasenden Heizstoffen angepaßt sein, wenn auch das Prinzip der Generatoren stets das gleiche ist.

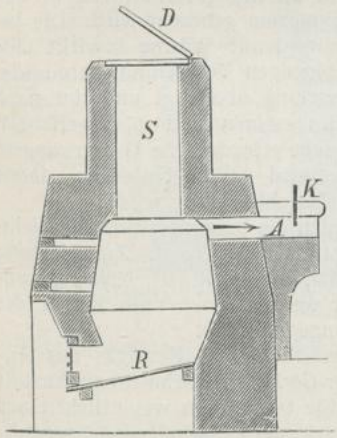


Abb. 11. Generator.

Einen Generator einfachster Form, der sich besonders für leichtes Material eignet, veranschaulicht Abb. 11. Das Brennmaterial wird durch den Schacht *S* eingetragen. Nach unten wird der Generator durch den Rost *R* abgeschlossen, auf dem das Heizmaterial aufliegt. Hier findet die Verbrennung statt, während die heißen Verbrennungsprodukte emporsteigen und nun im oberen Teile der Brennstoffsäule die Vergasung nach den eben besprochenem Vorgange bewirken. Die Gase ziehen durch den Kanal *A* ab. Er kann durch den Schieber *K* geschlossen werden, dies ist der Fall, wenn der den Schacht *S* verschließende Deckel *D* zum Zwecke der Zuführung neuen Materiales geöffnet wird.

Meist werden die Generatoren gemeinsam mit Regeneratoren angewendet, um die in den Verbrennungsprodukten sonst verloren gehende Energie wenigstens zum Teile wieder nutzbar zu machen. Ihr Prinzip haben wir schon bei Besprechung der Einrichtung der Koksöfen kennen gelernt. Dieses Prinzip der Gas-

feuerung mit Wiedergewinnung der Wärme wurde besonders von *Siemens* ausgebildet und je nach dem Zwecke, dem es zu dienen hat, in verschiedener Weise modifiziert. So werden beispielsweise, wenn es sich nicht um die Erzielung besonders hoher Temperaturen handelt, nur zwei Regeneratoren aufgestellt, in denen man nur die Verbrennungsluft vorwärmt und die Generatorgase aus dem so nahe als möglich von der Verbrauchsstelle aufgestellten Generator unmittelbar in den Verbrennungsraum treten läßt.

Außer zur direkten Heizung wird das Generatorgas auch zum Betriebe von Gasmaschinen als Kraftgas verwendet. Das Prinzip der *Gaskraftmaschinen* beruht darauf, daß ein Gemenge von Gas und Luft in passendem Mischungsverhältnisse in den Zylinder geleitet und dort zur Explosion gebracht wird. Die bei der plötzlichen Verbrennung freiwerdende Wärme bewirkt eine sehr starke Ausdehnung der gasförmigen Verbrennungsprodukte, die sich auf den Kolben der Maschine überträgt und ihn nach vorwärts bewegt. Diese Gaskraftmaschinen sind so eingerichtet, daß sie gleichzeitig das zum Betriebe erforderliche Gas ansaugen. Natürlich muß das Gas entsprechend gereinigt werden, damit nicht allzuoft die Reinigung der Maschine nötig wird.

Nach diesem Prinzipe sind auch die besonders für das Kleingewerbe höchst wichtigen *Sauggasmotoren* gebaut. Zur Heizung kann höchst verschiedenes Material, wie Anthrazit, Koks, Braunkohle, ja selbst Torf verwendet werden, doch muß immer die Konstruktion dem Brennstoffe angepaßt sein.

Eine *Sauggasanlage* zur Darstellung von Kraftgas aus Anthrazit und Koks, gebaut von der *Görlitzer* Maschinenbau-Anstalt A. G., veranschaulicht Abb. 12. Sie besteht im wesentlichen aus dem Generator *G*, dem Verdampfer *V*, der Umschaltvorrichtung *K*, dem Staubabscheider *St*, dem Skrubber *S*, dem Wasserabscheider *W*, dem Sägespänreiniger *T* und dem Gassammler. Die Apparate sind durch Rohrleitungen *R* untereinander verbunden. Wie erwähnt, wird bei diesen Vorrichtungen die Saugwirkung des Kolbens der Gasmaschine während der Ansaugeperiode zur Beschaffung des zur Gaserzeugung erforderlichen Luft- und Dampfgemisches benützt. Bei Verwendung des Gases zu anderen als zu motorischen Zwecken besorgt die Luftbeschaffung ein Exhaustor, der außerdem auch zur Anfeuerung des Generators nötig ist.

Der Generator ist ein aus Stahlblech hergestellter, mit feuerfester Schamotte ausgekleideter, zylinderförmiger Schachtofen.

Den Abschluß des Schachtes nach unten bildet ein Rost aus möglichst feuerbeständigem Eisen, der darunter liegende Aschenfall ist durch einen Wasserverschluß gegen die Außenluft abgedichtet. Das Abschlacken und Ausziehen der Asche geschieht nach Öffnung der in der Höhe des Rostes vorgesehenen, luftdicht verschließenden Türen. Der Deckel des Generators besteht aus einer ringförmigen Wasserschale, dem Verdampfer, in dessen

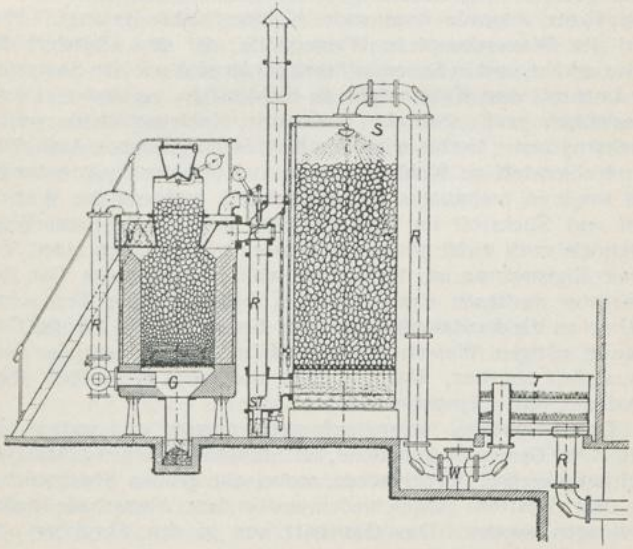


Abb. 12. Sauggasanlage der Görlitzer Maschinenbau-Anstalt A.-G.

Mitte befindet sich ein mittelst eines Hebels zu öffnender, mit einem Doppelverschlusse versehener Fülltrichter. Außerdem ist am Deckel noch eine Umschaltvorrichtung, ebenfalls durch einen ausbalanzierten Hebel bedienbar, angebracht, sie ermöglicht es, die Gase des Generators in den Betriebspausen ins Freie und während des Betriebes nach den Reinigungsapparaten zu führen. Diese Vorrichtung ist nur in den zwei äußersten Lagen zur Ruhe zu bringen, sie schließt also entweder die Luft oder das Gas gänzlich ab. Der Generator arbeitet nun folgendermaßen:

Der durch die Saugwirkung des Kolbens der Gasmaschine oder des Exhaustors in der Leitung hervorgerufene Unterdruck bewirkt, daß die atmosphärische Luft in den Generator eintritt, dies erfolgt über der Verdampferschale. In dieser befindet sich Wasser von nahezu 100° C. Die darüber streichende Luft erwärmt sich und sättigt sich zugleich mit Wasserdampf. Aus der Verdampferschale wird das Luft-Dampfgemisch durch ein Rohr unter den Rost des Generators geführt, durch den sie in die auf dem Roste liegende brennende Kohlenschichte gelangt. Hier wird der Wasserdampf in Wasserstoffe, der den Heizwert des Gases erhöht, und in Sauerstoff zerlegt, der sich wie der Sauerstoff der Luft mit dem Kohlenstoffe zu Kohlensäure verbindet. Dieses Gasgemisch muß aber die glühenden Kohlenschichten weiter durchstreichen; hierbei wird das Kohlendioxyd durch Aufnahme von Kohlenstoff zu Kohlenstoffmonoxyd (Kohlenoxyd) reduziert und somit in brennbares Gas verwandelt, während der Wasserstoff und Stickstoff im Gase erhalten bleibt. Auf dem Wege durch die noch nicht glühenden Kohlen gibt das Gas einen Teil seiner Eigenwärme an die Kohlen ab. Ehe aber das Gas den Generator verlassen kann, muß es abermals einen Teil seiner Wärme an die Verdampferschale zur Erzeugung des für die Gasbildung nötigen Wasserdampfes und zur Erwärmung der Vergasungsluft abgeben. Das Gas tritt also schon wesentlich abgekühlt aus dem Generator aus.

Das brennbare, wenngleich noch unreine und warme Gas muß, vom Generator kommend, im Staubfänger einen plötzlichen Richtungswechsel durchmachen, wobei alle groben Staubteilchen aus dem Gasstrom ausgeschieden und in dem Wasserbade niedergeschlagen werden. Das Gas tritt nun in den Skrubber oder Gaswäscher ein.

Der Skrubber ist ein hoher, luftdicht geschlossener Blechzylinder, der unten einen Hordenrost trägt, auf dem sich, nach oben an Korngröße abnehmend, sauber gewaschener, poröser Koks befindet. Am Deckel ist eine Berieselungsbrause, über dem Boden ein Wasserablauf angebracht. Das noch warme, verunreinigte Gas tritt unten im Skrubber ein, passiert nach aufwärts streichend die Koksfüllung, wobei es sich dem herabrieselnden Wasser entgegengesetzt bewegt. Hierbei läßt es Teerteilchen, feinen Staub und andere Verunreinigungen an dem schwammigen Koks hängen, gleichzeitig wird es bis auf die Wassereintrittstemperatur abgekühlt.

Nach dem Verlassen des Skrubbers durchstreicht das Gas, ebenfalls unter plötzlichem Richtungswechsel, einen Wasserabscheider, wo es mitgerissene Wassertröpfchen an den Wänden niederschlägt; das Wasser wird aufgefangen und abgeleitet.

Um das immerhin noch feuchte Gas, das in diesem Zustande leicht zur Zerstörung des Eisens in den Leitungen oder in der Maschine Veranlassung geben könnte, vollständig zu trocknen, wird in die Anlage noch ein Sägemehlreiniger eingefügt. Er besteht aus einem flachen eisernen Kasten mit leicht abhebbarem Deckel. In diesem Kasten stehen mehrere niedrige mit Sägemehl oder Spänen gefüllte Horden übereinander. Das Gas tritt oben ein und verläßt den Reiniger am Boden wieder, nachdem es dank der Eigenschaft des Holzmehles, begierig Wasser aufzunehmen, nahezu vollständig getrocknet und gereinigt worden ist. Von hier aus geht nun das Gas in den Gassammler, von wo es zum Betriebe der Maschine oder zu anderen Zwecken entnommen wird.

Der Gassammler ist ein einfacher Behälter aus Stahlblech und nur mit dem Gas-Ein- und Austrittsstutzen versehen. Er befindet sich in der Regel direkt unter der Maschine, je größer der Gasbehälter ist, ein um so größerer Gasvorrat steht der Maschine zur Verfügung und um so leichter kann sie plötzliche Belastungsstöße aufnehmen.

Wie aus dieser Beschreibung hervorgeht, herrscht während des Betriebes in sämtlichen Apparaten und Leitungen der Sauggasanlage ein gewisser Unterdruck, es ist daher auch nicht möglich, daß während des Betriebes, falls Undichtheiten entstehen, giftige Gase nach außen treten können.

Bei der Vergasung stickstoffhaltiger Brennstoffe, wie Steinkohle, Braunkohle oder Torf in der geschlossenen Retorte, wird ein großer Teil des Stickstoffes in Form von Ammoniak abgespalten und kann gewonnen werden. Verbrennt man dagegen diese Stoffe auf dem Roste bei ungehindertem Luftzutritte oder werden sie im Generator vergast, so dissoziiert das Ammoniak wieder in Stickstoff und Wasserstoff und die Gewinnung dieses wertvollen Nebenproduktes ist ausgeschlossen. Wird aber dafür gesorgt, daß der Prozeß im Generator bei einer nach Möglichkeit niederen Temperatur vonstatten geht und gleichzeitig die entstehenden Gase so rasch als möglich aus der Zone hoher Temperatur fortgeschafft werden, so bleibt ein großer Teil des Ammoniaks unzerlegt und kann gewonnen werden. Dies bedeutet

eine wichtige Ausgestaltung dieses Generatorprozesses, der in der glücklichsten Weise von *Mond* für Braunkohlen und von *Frank* und *Caro* für Torf gelöst wurde.

Wendet man dieses Verfahren zur Verarbeitung stickstoff- und stark sauerstoffhaltiger organischer Substanzen, wie z. B. Torf, dessen Stickstoffgehalt in der Trockensubstanz bis zu 4% betragen kann, städtische Abfälle (Müll) usw. an, so wird nur dann der Stickstoff in Form von Ammoniak erhalten, wenn eine Trennung der Entgasung und Vergasung nicht vor sich geht, vielmehr während der ganzen Verarbeitung sowohl Luft wie auch Wasserdampf im Überschusse mit dem Material in Berührung kommen, und zwar zweckmäßig unter Druck.

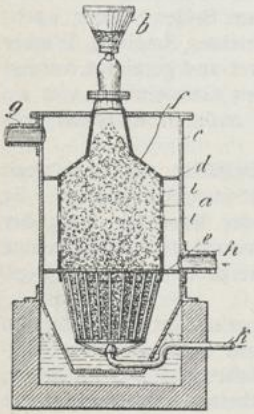


Abb. 13. Torfgasgenerator nach Caro.

Das Verfahren wird in Generatoren ausgeführt, denen das Gemenge von Luft mit einem Überschusse von Wasserdampf in allen Teilen zugeführt wird. Die Menge des angewendeten Wasserdampfes soll nicht weniger wie eine halbe Tonne pro Tonne (1000 *kg*) des zu verarbeitenden Materiales betragen, der Druck soll zweckmäßig nicht unter 250 *mm* Wassersäule sein. Dieser von *Caro* konstruieter Generator zur Gewinnung von Ammoniak und Kraftgas aus Torf (Abb. 13), D. R.-P. 238.829, arbeitet folgendermaßen:

In den Generator *a* führt man das zu behandelnde Material durch die Beschickungsöffnung *b* ein, die mit dem Generator so verbunden ist, daß bei der Beschickung Luft nicht mit hineintreten kann, was durch einen doppelten Verschluß leicht ausführbar ist. Dieser Generator ist mit einer Ummantelung *c* versehen, derart, daß der mittlere Teil des Generators gegen den oberen und gegen den unteren Teil des Ummantelungsraumes durch Querwände *d* und *e* abgeschlossen werden kann. Der obere Teil des Generators ist mit Öffnungen *f* zur Ableitung der entweichenden Gase versehen, die dann durch den Auslaß *g* abgeführt werden können. Doch kann auch der Auslaß direkt mit dem Generator in Verbindung stehen. Durch die Zuleitung *h* wird in den mittleren Mantelraum das Gemenge aus Luft mit einem

Überschusse von Dampf eingeleitet, das durch die Öffnungen *i* an vielen Stellen in das im Inneren befindliche Torfmaterial eindringen kann, während durch die untere Leitung *k* ein ebensolches Dampfluftgemenge in den unteren Teil des Generators, dessen Wandung hier rostartig gestaltet ist, in das Material eingeführt wird, nachdem es zu Beginn des Prozesses in diesem unteren Teile entzündet wurde. Nach unten wird der Körper des ganzen Generators durch Wasser abgeschlossen.

Sobald der Prozeß im Gange ist, wird in dem unteren Teile das entgaste, im wesentlichen aus Kohlenstoff bestehende Material mit Hilfe von heißem Wasserdampf zur Vergasung gebracht. Die beigemengte Luft veranlaßt die Verbrennung und mithin Erhitzung eines Teiles des Torfes, die sich auf die oberen Schichten überträgt. Das erwähnte Dampfluftgemenge tritt auch durch zahlreiche Öffnungen *i* in den oberen Teil der Beschickungsmasse ein und bewirkt die Vergasung derart, daß der Stickstoff in seiner Hauptmasse in Ammoniak umgewandelt wird, das mit den dabei entstehenden brennbaren Gasen durch die Öffnungen *f* und den Abzug *g* entweicht und dann zu den Ammoniakabsorptionsvorrichtungen geführt wird, während die nicht absorbierten brennbaren Gase der Verwendung als Leucht-, Heiz- oder Motorgase zugeführt werden können.

Dieses Verfahren, das schon praktisch erprobt wurde und sich ebensogut für stickstoffreiche Braunkohle und Schiefer, wie für stickstoffreichen Torf eignet, gestattet mithin in glücklicher Weise, die Vorteile der trockenen Destillation in der Retorte mit dem Generatorprozeß zu vereinigen, wobei allerdings kein Koks erhalten wird, weil — wie in jedem Generator — schließlich das gesamte aufgegebene Material verbrennt. Besonders wertvoll ist aber das *Frank-Caro-Mond*sche Verfahren für die Torfvergasung, weil es nicht nur die Gewinnung eines guten Kraftgases neben einer beträchtlichen Ausbeute an Ammoniak, sondern auch die Vergasung von relativ noch sehr nassem Torf ermöglicht. Von dem im Torfe in den Generator eingeführtem Stickstoff werden 70 bis 80% in Form von Ammoniak gewonnen, außerdem ist es möglich, selbst Torf mit 50 bis 55% Wasser zu vergasen, allerdings wenigstens teilweise auf Kosten der Heizkraft des Gases. Da nun die Schwierigkeit jeder Verwendung des Torfes in größerem Umfange zu Heizzwecken nur in der Beschaffung der genügend großen Mengen trockenen Torfes mit 20 bis 25% Wasser liegt, bedeutet dieses Verfahren einen wesentlichen Fortschritt, weil

es eben möglich ist, auch nassen Torf zu vergasen und die Lufttrocknung des Torfes bis auf 50% selbst in sehr ungünstigen Jahren immer möglich sein wird.

5. Das Wassergas.

Die Darstellung des unter dem Namen „Wassergas" bekannten Gasgemenges beruht auf der folgenden Tatsache: Wirkt Wasserdampf auf glühende Kohle ein, so entzieht der Kohlenstoff dem Wasser Sauerstoff, mit dem er sich zu Kohlenoxyd vereinigt, und Wasserstoff wird frei:

$$C + H_2O = CO + H_2$$

Kohlenstoff Wasser Kohlenoxyd Wasserstoff.

Man erhält mithin ein Gemenge von Kohlenoxyd und Wasserstoff, das weiter geleitet, am Orte des Verbrauches mit Sauerstoff bezw. Luft gemengt und verbrannt wird. Da besonders der Wasserstoff unter bedeutender Wärmeentwickelung verbrennt, so liefert das Wassergas eine sehr heiße Flamme, doch leuchtet diese nicht, sondern wird nur durch das verbrennende Kohlenoxyd bläulich gefärbt. Durch Karburation oder unter Verwendung der *Auer*schen Glühkörper kann jedoch auch das Wassergas zur Beleuchtung verwendet werden. Übrigens ist das Wassergas niemals ein reines Gemenge von Wasserstoff und Kohlenoxyd, sondern es enthält immer auch noch andere Gase, besonders Äthan, Methan, Stickstoff und Kohlensäure beigemengt.

Die Darstellung des Wassergases kann nach zwei Verfahren erfolgen, die sich hauptsächlich durch die dabei verwendeten Apparate unterscheiden, während das Prinzip das gleiche bleibt. Bei dem älteren und heute kaum mehr angewendeten Verfahren wird in geschlossenen Retorten zuerst durch Feuerung von außen Kohle erhitzt, worauf Wasserdampf eingeleitet wird, der sich dann in der oben angeführten Weise zerlegt.

Bei dem zweiten, allgemein üblichem Verfahren wird zunächst in einem Generator besonderer Konstruktion durch Verbrennen eines Teiles des eingetragenen Brennstoffes (Anthrazit oder Koks) der übrige Teil des Brennmateriales auf 1000 bis 1200° erhitzt, dann die Luft abgesperrt und nun Wasserdampf eingeleitet. Den ersten Teil des Prozesses bezeichnet man als „*Heißblasen*", den zweiten als „*Gasmachen*". Hat sich die glühende Kohle soweit abgekühlt, daß die vorhandene Temperatur nicht mehr zur Zersetzung des Wasserdampfes ausreicht, so wird wieder mit dem

Heißblasen begonnen, denn die Reaktion zwischen Kohle und Wasser ist ein Vorgang, der unter Wärmebindung verläuft.

Der zur Erzeugung von Wassergas häufig benützte Apparat der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft, der unter anderen auch in Essen und Witkowitz verwendet wird, besitzt nach *v. Langer* und *Börnstein* die folgende Einrichtung:

Der durch das Schieberventil *V* (Abb. 14) regulierbare Dampf tritt bei *D* in den mit Koks gefüllten Generator, das entstehende Wassergas wird unten aus dem Generator abgeleitet, wo ihm auch die Verbrennungsluft zugeführt wird. Hierbei könnte die Gefahr eintreten, daß mit dem Wassergase auch Luft in den Skrubber und Generator geblasen wird, die, sobald der Windschieber nicht gut schließt, mit dem Wassergase nach *A* gelangen könnte, solange das Wassergas dort nicht eine höhere Pressung besitzt, als die Luft in der Windleitung, was zu Beginn und am Ende des Gasmachens der Fall ist. Während der übrigen Zeit der Gas-Erzeugung würde das Wassergas vermöge des Überdruckes in die Windleitung treten und dort ein explosibles Gemenge bilden, das, in den anderen Generator geblasen, dort die schlimmsten Explosionen hervorrufen müßte. Zur Verhütung beider Fälle ist der wassergekühlte Schieber *S* vorhanden, welcher den Windkanal stets absperrt, sobald der Gaskanal offen ist und umgekehrt. Unterhalb der Windeinströmung *W* ist in die Windleitung eine Drosselklappe *d* eingebaut, welche geschlossen wird, sobald der Schieber den Gaskanal öffnet. Dadurch ist der Wind doppelt abgesperrt und genügende Sicherheit vorhanden, um mit hoher Windpressung arbeiten zu können. Werden die Schieberflächen undicht, so kann während des Umsteuerns eine Mischung von Gas und Luft eintreten, welche dann sofort bei den Öffnungen austritt und explodiert.

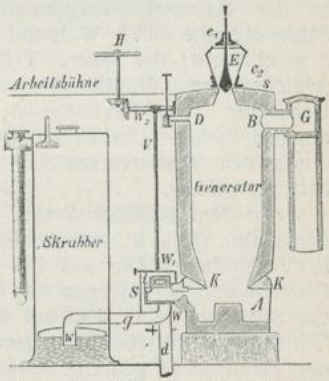


Abb. 14. Wassergas-Apparat der Europ. Wassergas-A.-G.

Um die Schlacke leicht entfernen zu können, ist ein Kühlring *K* am Generator vorhanden, an welchen sie sich ansetzt. Da die Flächen des Kühlringes durch frisches, zufließendes Wasser kalt gehalten werden, ist die Schlacke hier leicht abzulösen. Die Brennstoffsäule bildet unterhalb des Kühlringes einen Kegel und läßt den ringförmigen Raum *A* frei, wodurch während des Warmblasens eine gleichmäßige Windverteilung eintritt. Wird Wassergas erzeugt, so tritt es in den Raum *A* ebenfalls gleichmäßig ein und erhält den Druck konstant. Während des Warmblasens ist der Oberteil des wassergekühlten Schiebers so gestellt, daß der Windkanal mit dem Generator verbunden ist, die Drosselklappe *d* ist offen, ebenso das Generatorgasventil *G*; geschlossen ist der Gasausströmungskanal *g* in den Skrubber und das Schieberventil *V*. Während des Gasmachens ist *G* und *d* geschlossen; der obere Teil des wassergekühlten Schiebers schließt den Windkanal und stellt die Verbindung vom Generator zum Skrubber *h*; *V* ist geöffnet. Die Verbindung zwischen Gasbehälter und Generator ist sodann nur durch den Wasserverschluß im Skrubber *w*, welcher 100 *mm* beträgt, gestört.

Auf dem Schieber *S* sind zwei Ständer *t* aufgeschraubt, in denen eine Welle *W'* gelagert ist, sie steht mit der Steuerwelle W_2 in Verbindung. Die auf *W'* befindlichen Hebel bewegen den Oberteil von *S*, besorgen das Öffnen und Schließen von *d* und des Schiebers in *V*. Ein auf W_2 aufgekeilter Hebel besorgt das Öffnen und Schließen des Generatorgasventiles. W_2 wird durch das Handrad *H* gedreht. Die Anordnung ist so getroffen, daß durch die Drehung von *H* nach einer Seite der Oberteil von *S* den Windkanal schließt und den Gaskanal öffnet. Gleichzeitig wird *d* und *G* geschlossen und der Schieber von *V* geöffnet. Durch eine Drehung nach der anderen Seite wird der obere Teil von *S* den Gaskanal schließen, den Windkanal öffnen, gleichzeitig wird *d* und *G* geöffnet und der Schieber von *V* geschlossen. Der Arbeiter hat somit nur *H* entsprechend zu drehen, um den Apparat entweder auf Warmblasen oder auf „Gasmachen" zu stellen. Durch Unvorsichtigkeit des Arbeiters kann mithin kein Unfall geschehen. Der Fülltrichter *E* ist so eingerichtet, daß, wenn e_1 geöffnet ist, e_2 geschlossen bleibt; wird e_1 geschlossen, so kann e_2 geöffnet werden. Es tritt also bei jeder Entleerung des Fülltrichters immer nur eine solche Menge Generatorgas aus, als der Fülltrichter zu fassen vermag.

Um den Generator in Betrieb zu setzen, werden darin zunächst auf ein Holzfeuer etwa 700 *kg* Koks gefüllt, worauf sofort mit etwa 500 *mm* Pressung, im Raume *A* gemessen, geblasen wird. Nun wird mit der Beschickung rasch fortgefahren, wobei im gleichen Maße, wie die Brennstoffsäule höher rückt, auch der Winddruck gesteigert wird. Sind die Generatoren gefüllt, was etwa 1½ Stunden erfordert, so muß die Windpressung schon 400 *mm* Wassersäule betragen.

Die sich zuerst bildenden Gase sind mit Luft gemengt. Sobald sie die nötige Beschaffenheit erlangten, entzünden sie sich an dem Kohlenfeuer auf den Rosten der Kessel, wohin man sie leitet, um sie zur Heizung zu verwenden. Sobald nach der Füllung der Generatoren die Schieber, welche die Leitung zum Gasometer absperren, geöffnet sind, kann mit der Erzeugung von Wassergas begonnen werden. Dann wird abwechselnd fünf Minuten Gas gemacht, d. h. Dampf eingeblasen und zehn Minuten warm geblasen. Zwei solcher Generatoren von je 10 m^3 Inhalt lieferten in Witkowitz an einem Tage aus 24.160 *kg* Koks 17.760 m^3 Wassergas.

Wie erwähnt, währt das Warmblasen bei dieser Konstruktion immer 10 Minuten, während nur fünf Minuten lang Gas gemacht werden kann. Innerhalb 24 Stunden dient der Generator daher nur durch 8 Stunden zum Gasmachen, was als verhältnismäßig wenig zu bezeichnen ist. *Dellwik* und *Fleischer* empfahlen daher, das Warmblasen so zu gestalten, daß durch Einblasen einer größeren Luftmenge bezw. Anwendung von Druck die Verbrennung befördert und die Periode des Warmblasens abgekürzt wird. Das Warmblasen dauert hier (D. R.-P. 105.511) auch nur 1 bis 2 Minuten, worauf 5 bis 7 Minuten lang Wassergas erzeugt werden kann. Innerhalb 24 Stunden kann daher der Generator etwa 20 Stunden zur Gaserzeugung benützt werden und es entfallen nur 4 Stunden auf das Warmblasen und Umsteuern, wodurch natürlich die Ökonomik des Verfahrens bedeutend erhöht wird.

Das im *Dellwik-Fleischer*schen Generator erzeugte Wassergas besitzt nach *Lunge* die folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	4·65%
Kohlenoxyd	39·65%
Schwere Kohlenwasserstoffe	0·05%
Methan	0·82%
Wasserstoff	50·80%
Sauerstoff	0·20%
Stickstoff	3·83%

Eine Mittelstellung zwischen Wassergas und dem Generatorgase, dessen Darstellung und Eigenschaften wir schon besprochen haben, nimmt das sogenannte *Halbwassergas*, auch *Mischgas*, *Dawsongas* oder *Generatorwassergas* ein. Es wird erhalten, indem man auf die im Generator befindliche, glühende Brennstoffmasse ein Gemenge von Wasserdampf und Luft einwirken läßt, ist also nahezu mit dem Mondgas identisch. Das Halbwassergas enthält weniger Wasserstoff als Wassergas und entwickelt deshalb auch weniger Hitze. Doch liegt ein sehr wesentlicher Vorteil darin, daß es in sehr einfacher Weise und vollständig kontinuierlich hergestellt werden kann. Denn indem neben Wasserdampf gleichzeitig Luft zugeführt wird, verbrennt stets ein Teil der Kohle und liefert jene Wärmemenge, die erforderlich ist, die Kohle unausgesetzt glühend zu erhalten, während sie durch die Einwirkung des Wasserdampfes, bezw. durch die Bildung von Wassergas abgekühlt wird.

Das Wassergas besitzt zahlreiche gute Eigenschaften, unter denen die sehr heiße Flamme, die geringen Kosten und die Einfachheit der Herstellung besonders hervorzuheben sind. Als Nachteil ist dagegen die durch den Gehalt an Kohlenoxyd bedingte enorme Giftigkeit des Gases anzusehen. Das Gas selbst ist geruchlos, bei Ausströmungen verrät es sich daher nicht sofort, wie das Steinkohlengas. Um daher Rohrgebrechen bemerkbar zu machen, pflegt man es dort, wo es an Konsumenten abgegeben wird, durch Beimengung stark riechender Verbindungen zu „parfumieren". Zu diesem Zweck wurde früher allgemein eine 10%ige alkoholische Lösung von Äthylmerkaptan, eine quecksilberhaltige organische Verbindung, die einen ungemein widerlichen, äußerst starken und anhaltenden Geruch besitzt, verwendet. 0·5 *l* einer solchen Lösung reichen zur Parfumierung von 35.000 m^3 Wassergas hin. In neurer Zeit verwendet man zu diesem Zwecke die leichten Kohlenwasserstoffe, die sich beim Komprimieren von Ölgas abscheiden.

Für Glühlichtbeleuchtung ist das Wassergas, wie dies in zahlreichen Städten Amerikas der Fall ist, sofort verwendbar. Soll es jedoch direkt mit leuchtender Flamme brennen, so muß es „karburiert" werden, man versteht darunter die Einführung kohlenstoffreicher Kohlenwasserstoffe, die in der Flamme zunächst unter Ausscheidung von Kohlenstoff zerfallen. Meist benützt man für diesen Zweck Produkte der Erdöldestillation, die genügend flüchtig sind.

6. Erdgas, Erdöl und Erdwachs.

An zahlreichen Punkten der Erde treten gasförmige, flüssige und feste Verbindungen auf, die nahezu ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen und schon dadurch auf einen gemeinschaftlichen Ursprung hinweisen. Besondere technische Bedeutung besitzt unter diesen Vorkommen vor allem das Erdöl, Naphtha oder Petroleum genannt, weil bei seiner technischen Verarbeitung eine Reihe hochwichtiger Stoffe gewonnen wird, die zu Beleuchtungszwecken, als Betriebsmittel für Motoren und als Schmiermaterialien dienen. Auch das Erdwachs oder Ozokerit spielt heute eine wichtige Rolle in der Technik und das Erdgas wird dort, wo es in größeren und konstanten Mengen der Erde entströmt, ebenfalls genutzt.

a) Erdgas.

Gemenge gasförmiger Kohlenwasserstoffe treten überall dort auf, wo Erdöl vorkommt. Sie entströmen teils natürlichen Spalten, teils wurden sie erbohrt und zeichnen sich häufig dadurch aus, daß sie unter sehr großem Druck stehen. Die „heiligen Feuer" der Parsen in der Nähe Bakus sind solche natürliche Erdgasvorkommen; ähnliche, jedoch schwächere Gasquellen wurden in Galizien, Rumänien, Italien, im Elsaß, in England usw. beobachtet. Die großartigsten Erdgasquellen besitzt jedoch Nordamerika in Ohio, West-Pennsylvanien, besonders in der Umgebung von Pittsburg, im Alleghanydistrikte im Staate New-York, bei Indianapolis und Cincinnati.

Das Gas wird dort ähnlich wie das Erdöl gewonnen. Man treibt ein Bohrloch in den Boden bis in die gasführende, meist aus porösem Gesteine bestehende Schicht, versieht das Bohrloch, das in der Regel mit einem Stahlrohre ausgekleidet wird, mit einem Verschlusse und setzt an diesem die Ableitungsrohre an. Einzelne dieser Brunnen lieferten bis zu 320.000 m^3 Gas pro Tag, doch ist die Ergiebigkeit durchaus nicht immer gleich. Sie schwankt mit den Barometerständen derart, daß bei sinkendem Luftdrucke eine größere Gasmenge entweicht. Selbstverständlich sinkt in vielen Fällen die Ergiebigkeit der Gasquellen mit der Dauer der Benützung und vielfach sind auch schon Fälle gänzlicher Erschöpfung vorgekommen.

Die Erdgase bestehen zum allergrößten Teile aus Sumpfgas (Methan), dessen Menge meist mehr als 90% beträgt. Daneben

ist meist auch Wasserstoff, dann Äthylen, Kohlenoxyd, Kohlensäure usw. vorhanden, doch ist, wie erwähnt, die Hauptmenge stets das Methan. Die Zusammensetzung einiger Erdölvorkommen veranschaulichen die folgenden Zahlen.

	Ohio	Indiana	Pennsylvanien
Wasserstoff	1·64	1·20	22·50
Methan	93·35	93·58	60·27
Äthylen	0·35	0·15	6·80
Kohlenoxyd	0·41	0·60	Spur
Kohlensäure	0·25	0·30	2·28
Sauerstoff	0·39	0·55	0·83
Stickstoff.	3·41	3·42	7·32
Schwefelwasserstoff . .	0·20	0·20	—

Der Heizwert dieser Gase ist sehr bedeutend und ihr hoher technischer Wert bedingte ihre steigende Verwendung. Wie sehr die Erdgasproduktion zugenommen hat, geht am besten aus den folgenden Zahlen hervor, die den Wert der Erdgasförderung in den Vereinigten Staaten angeben. Er betrug:

im Jahre	1900	über	32	Millionen	Dollars,
„ „	1901	„	27	„	„
„ „	1902	„	30	„	„
„ „	1903	„	35	„	„
„ „	1904	„	38	„	„
„ „	1905	„	41	„	„
„ „	1906	„	46	„	„

Die Leuchtkraft der Erdgase ist etwa halb so groß, wie die des Steinkohlengases, der Heizwert dagegen etwa um ein Drittel größer. Um das Gas direkt zu Beleuchtungszwecken geeignet zu machen, wird es karburiert, indem man ihm die Dämpfe leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe, meist Gasolin oder Benzin beimengt. Ursprünglich machte der oft gewaltige Druck, unter dem diese Gase ausströmen, Schwierigkeiten, doch wendete man später Gasdruckregulatoren an, welche nicht nur den Gasdruck auf das zweckentsprechende Maß herabsetzen, sondern auch die unvermeidlichen Verluste wesentlich verringern. Diese Verluste waren früher, bald nach der Erschließung dieser Erdgasquellen, oft sehr bedeutend, wohl auch deshalb, weil man zunächst an die Möglichkeit der Erschöpfung dieser Gasquellen überhaupt nicht dachte und daher oft geradezu verschwenderisch damit umging. Man hat berechnet, daß in der kurzen Zeit von

nur vier Jahren nach Erschließung der pennsylvanischen Gasquellen Erdgas im Werte von mehr als 82 Millionen Mark ungenutzt verloren ging.

Das den Bohrlöchern entströmende Gas steht häufig unter sehr hohem Drucke, der bis zu 20 Atmosphären beträgt. Auch diesen Umstand machte man sich zunutze, indem man diese natürlichen Gasvorkommen nicht nur zu Heizzwecken, sondern auch zur Erzeugung von Eis verwendete. Bekanntlich erwärmt sich ein Gas, wenn man es stark zusammendrückt. Läßt man es dann, nachdem es abgekühlt ist, expandieren, so benötigt es, um wieder einen größeren Raum einzunehmen, Energie, die es der Umgebung in Form von Wärme entzieht. Je stärker nun ein Gas zusammengepreßt war, desto mehr Wärme wird es binden, wenn es sich ausdehnt, und die Wärmebindung kann soweit gehen, daß überhaupt die tiefsten, gegenwärtig erreichbaren Temperaturen dadurch erzielt werden. Auf diesem Prinzipe, das wir später, bei Erörterung der Industrie der Gase noch eingehender besprechen werden, beruht beispielsweise die Erzeugung der flüssigen Luft und auch die Eismaschinen, einerlei, ob sie Kohlensäure, Ammoniak oder schwefelige Säure verwenden, arbeiten danach. Es ist daher auch leicht erklärlich, wieso man die natürlichen, unter bedeutendem Drucke stehenden Gasvorkommen zur Erzeugung künstlicher Kälte heranziehen kann, um dann erst das brennbare Gas in die Rohrleitungen nach den Heizanlagen zu führen.

b) Erdöl.

Die wichtigsten Fundstätten des Erdöles liegen in Europa in den Karpathen, und zwar an ihren nördlichen Ausläufern in Galizien, in Kaukasien, Rumänien und in Deutschland im Gebiete von Wietze in Hannover. Nordamerika hat ausgedehnte Erdölvorkommen in Pennsylvanien und Ohio, Südamerika in Mexiko, Brasilien, Argentinien usf. In Asien wurde Erdöl in Sibirien, Persien, Belutschistan usw., in Afrika in Ägypten, Transvaal und im Inneren des Kontinents, in Australien auf der Yorke-Halbinsel und auf Neuseeland gefunden. Wir sehen also schon aus dieser flüchtigen Aufzählung, daß das Erdöl eigentlich sehr verbreitet ist, allerdings ist nur ein Teil dieser Vorkommen so beschaffen, daß er die dauernde Nutzung ermöglicht. Als Hauptproduzenten stehen seit 1860, in welchem Jahre die Gewinnung und Verarbeitung des Erdöles in größerem Umfange begann,

die Ölfelder von Pennsylvanien und Baku an der Spitze, neben ihnen haben auch Rumänien, Galizien, Britisch-Indien, Deutschland und Japan als Erdölproduzenten Bedeutung gewonnen.

Das Erdöl besitzt im ursprünglichen, nicht raffiniertem Zustande eine dunkle, schwarzbraune oder rotbraune Färbung, meist mit eigentümlicher, grünlicher Fluoreszenz. Es ist leichter als Wasser, das spezifische Gewicht schwankt zwischen 0·78 und 0·97. Frisch gewonnenes Erdöl sendet schon bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige und die am leichtesten siedenden Bestandteile aus, manche Sorten erstarren bei längerem Stehen durch Ausscheidung der bei gewöhnlicher Temperatur festen Anteile zu einer butterartigen Masse.

Wird Erdöl der Destillation unterworfen, so beginnt es meist schon bei niederer Temperatur, zwischen 40 und 60°, zu sieden und es destilliert eine farblose, leicht bewegliche und eigentümlich riechende Flüssigkeit über. Der Siedepunkt bleibt aber nicht konstant, sondern er steigt langsam an und die letzten flüchtigen Anteile gehen erst bei einer Temperatur von etwa 400° über, im Destilliergefäße hinterbleibt dann ein Rückstand, der eine pechähnliche oder kohlige Beschaffenheit besitzt.

Schon daraus ergibt sich, daß das Erdöl durchaus keine homogene Flüssigkeit ist, sondern daß wir es als ein Gemisch verschiedener Verbindungen ansehen müssen. Nähere Untersuchungen haben dann gelehrt, daß das Erdöl fast ausschließlich aus den beiden Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff besteht; Sauerstoff ist, im Gegensatze zur Zusammensetzung der meisten fossilen Brennstoffe, nicht oder nur ausnahmsweise vorhanden.

Die Chemie kennt eine sehr große Zahl von Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, eine haben wir schon wiederholt erwähnt, es ist dies das Grubengas, Sumpfgas oder Methan. Man bezeichnet diese Verbindungen als *Kohlenwasserstoffe* und auch das Erdöl besteht fast ausschließlich aus solchen Körpern, die sich vom Methan nur durch einen Mehrgehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff unterscheiden, womit allerdings auch andere Eigenschaften verknüpft sind. Alle im Erdöle vorkommenden Kohlenwasserstoffe bilden in ihrer Aufeinanderfolge, wenn wir sie dem Kohlenstoffgehalte nach ordnen, eine Reihe, in der sich jedes höhere Glied von dem nächst niederen durch einen Mehrgehalt von einem Atom Kohlenstoff und zwei Atomen Wasserstoff unterscheidet.

Das Methan besitzt die Formel CH_4, d. h. es besteht aus einem Atom Kohlenstoff und vier Atomen Wasserstoff. Das nächste Glied dieser Reihe, die man auch als jene der *gesättigten* oder *Grenzkohlenwasserstoffe* bezeichnet, enthält, wie erwähnt, um ein Kohlenstoffatom und zwei Wasserstoffatome mehr, seine Formel lautet mithin C_2H_6. Diese gleiche, gesetzmäßige Zunahme zeigen alle folgenden Glieder, weshalb man auch alle Angehörigen dieser Reihe durch die allgemeine Formel $Cn\,H_2n + 2$ ausdrücken kann.

Die Anfangsglieder dieser Reihe, bis zu jenen, die vier Atome Kohlenstoff enthalten, sind Gase, welche sich um so leichter verdichten lassen, je kohlenstoffreicher sie sind. Diesen folgen Verbindungen, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig sind, ihr Siedepunkt liegt um so höher, je mehr Atome Kohlenstoff sie enthalten. Die höheren Glieder endlich, etwa vom Hexadekan $C_{16}H_{34}$ aufwärts, sind bei gewöhnlicher Temperatur fest.

An der Zusammensetzung des Erdöles nehmen zahlreiche Glieder dieser Reihe teil. Die entzündlichen Gase bestehen aus Äthan und Propan; Methan, das Anfangsglied, konnte nicht in allen Erdölen nachgewiesen werden. Ferner sind vorhanden Butan, Pentan, Hexan, Heptan und Oktan, außerdem aber auch noch einzelne höher molekulare Glieder. Doch nicht jedes Erdöl enthält alle diese Verbindungen und in der Regel herrschen einzelne derselben, so besonders Pentan und Hexan, bedeutend vor.

Doch sind auch Erdöle bekannt, wie die in Kaukasien und Galizien gewonnenen, welche nicht aus Verbindungen der Reihe $Cn\,H_2n + 2$, sondern aus Gliedern einer anderen Reihe, die nach der allgemeinen Formel $Cn\,H_2n$ zusammengesetzt ist, bestehen. Die Glieder dieser Reihe heißen *Olefine*, die Reihe selbst wird nach ihrem Anfangsgliede als *Äthylenreihe* bezeichnet. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß stets doppelt soviele Wasserstoffatome als Kohlenstoffatome vorhanden sind. Die Unterschiede beider Reihen gehen am besten aus der folgenden Gegenüberstellung ihrer Anfangsglieder usw. hervor.

Sumpfgasreihe $Cn\,H_2n + 2$.		*Äthylenreihe* $Cn\,H_2n$.	
Methan	CH_4	Äthylen	C_2H_4
Äthan	C_2H_6	Propylen	C_3H_6
Propan	C_3H_8	Butylen	C_4H_8
Butan	C_4H_{10}	Amylen	C_5H_{10}
Pentan	C_5H_{12}	Hexylen	C_6H_{12}

Sumpfgasreihe $Cn\,H_2n + 2$.		*Äthylenreihe* $Cn\,H_2n$.	
Hexan	$C_6\,H_{14}$	Heptylen	$C_7\,H_{14}$
Heptan	$C_7\,H_{16}$	Oktylen	$C_8\,H_{16}$
Oktan	$C_8\,H_{18}$	Nonylen	$C_9\,H_{18}$
Nonan	$C_9\,H_{20}$	Dekatylen	$C_{10}\,H_{20}$
usw.		usw.	
Myricyl (Paraffin)	$C_{27}\,H_{56}$	Ceroten	$C_{27}\,H_{54}$
Ceryl „	$C_{30}\,H_{62}$	Melen	$C_{30}\,H_{60}$

Ferner wurden in manchen Erdölen Glieder der *Naphthenreihe* $Cn\,H_2n$ nachgewiesen, z. B.:

Hexanaphten	$C_6\,H_{12}$
Heptanaphten	$C_7\,H_{14}$
Oktanaphten	$C_8\,H_{16}$
Pentadekanaphten	$C_{15}\,H_{30}$
usw.	

Auch Glieder der *Benzolkohlenwasserstoffreihe* $Cn\,H_2n - 6$ kommen vor, z. B.:

Benzol	$C_6\,H_6$
Toluol	$C_7\,H_8$
Xylol	$C_8\,H_{10}$
Durol	$C_{10}\,H_{14}$
Diäthyltoluol	$C_{11}\,H_{16}$

ferner Naphthalin, Anthrazen, Phenanthren usw. Auch sauerstoffhaltige Verbindungen sind als Bestandteile mancher Erdöle bekannt. Stickstoff ist meist in Mengen von rund 1%, Schwefel in sehr wechselnden Mengen vorhanden, es wurden Schwefelgehalte bis fast 2% beobachtet.

Gewöhnlich kommt das Erdöl in Hohlräumen eingeschlossen vor, und zwar gemeinsam mit gasförmigen Kohlenwasserstoffen, die dann sehr stark zusammengepreßt sind. In der Regel führen solche Hohlräume auch Wasser, und dann nimmt naturgemäß das Wasser die tiefste, das Gas die höchste Stelle ein, während das Erdöl auf dem Wasser schwimmt. Liegt nun ein solcher Hohlraum in der Richtung seiner größten Ausdehnung schräg zur Erdoberfläche und wird ein Bohrloch niedergetrieben, so ist,

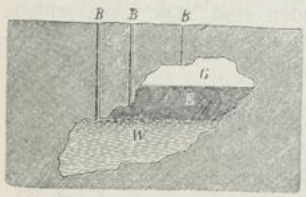


Abb. 15. Erdöllager im Durchschnitte.

wie Abb. 15 veranschaulicht, sowohl der Fall denkbar, daß die Erdölschicht oder aber die Gas- oder die Wasserschichte getroffen wird. Im ersten Falle wird durch den Druck der Gasmassen das Erdöl, im letzten zunächst das Wasser und dann erst das Erdöl emporgetrieben. Trifft das Bohrloch aber nur das Gas, so entweicht dieses mit großer Gewalt und diesem Umstande verdanken die Gasbrunnen in den Petroleumgebieten ihre Entstehung. Ein Teil dieser Gase bleibt auch im Erdöle gelöst und entweicht langsam bei gewöhnlicher, rascher bei höherer Temperatur, und dadurch ist die gewöhnlich sehr niedere Entflammbarkeit des Rohöles bedingt.

Hinsichtlich seines Vorkommens ist das Erdöl an keine bestimmte geologische Formation gebunden, doch ist es sehr verbreitet und wird deshalb auch an zahlreichen Punkten in größerer oder geringerer Menge gewonnen. Man findet es in sehr alten Formationen, wie in Amerika, im nördlichen Deutschland tritt es dagegen in jungen Formationen auf. Darin zeigt es also ein ganz verschiedenes Verhalten gegenüber der Steinkohle, und dieser Unterschied ist um so größer, da sich auch nirgends eine eigentliche Petroleumschichte erkennen läßt. Vielmehr erfüllt das Erdöl die vorhandenen Höhlen und Klüfte des Erdinneren, füllt die Poren von Sandlagen aus und durchsetzt auch lockere Gesteine. Damit hängt auch die Erscheinung zusammen, daß selbst auf Gebieten von relativ sehr kleinem Umkreise das Erdöl durchaus nicht stets in der gleichen Tiefe erbohrt wird.

Über die *Entstehung* des Erdöles sind die verschiedensten Hypothesen aufgestellt worden. Während einzelne Forscher seine Abstammung mit der Bildung der Kohlenflöze in Einklang zu bringen suchten, nahmen andere wieder einen animalischen Ursprung an, und dritte endlich führten die Bildung des Erdöles, überhaupt der Kohlenwasserstoffe, auf die unorganische Materie zurück.

So sollte nach *Mendelejeffs* Ansicht zu einer Periode, als sich die Erde noch in einem weniger vorgeschrittenen Stadium der Abkühlung befand, Wasser von der Oberfläche durch Risse und Spalten in das Erdinnere bis zum feurig-flüssigen Erdkerne eingedrungen sein, wo aus der Wechselwirkung zwischen Wasser und Kohlenstoffeisen Kohlenwasserstoffe entstanden, denen das Erdöl seinen Ursprung verdankt. Diese Hypothese ist jedoch veraltet und hatte vom Anfange an viele Gegner, die, ganz abgesehen von triftigen Gründen rein chemischer Natur, auch den

wichtigen Vernunftsgrund zu ungunsten der *Mendelejeff*schen Ansicht ins Treffen führten, daß es schwer erklärlich sei, wie das Wasser überhaupt bis zu dem glühenden Magma des Erdinneren vordringen konnte und nicht früher schon infolge der zunehmenden Temperatur in Dampf verwandelt wurde und wieder durch Erdrisse entwich.

E. Berthelot nahm an, daß sich im Erdinneren Alkalimetalle befinden, welche, wenn sie mit Kohlensäureverbindungen zusammentreffen, die Entstehung von Azetylüren veranlassen. Diese spalten sich wieder beim Zusammentreffen mit Wasser, wobei Azetylen entsteht, welches sich unter bedeutendem Drucke und bei höherer Temperatur zu Benzol zu kondensieren vermag. Andererseits zerlegen die Alkalimetalle aber auch das Wasser, wobei Wasserstoff austritt, und dieser soll dann mit dem Azetylen die Kohlenwasserstoffe bilden. Der Umstand, daß sowohl in Meteoriten, als auch in Kometen in der Tat Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden konnten, schien eine Zeitlang eine wichtige Stütze dieser Hypothese zu werden, doch sind es andere Momente, welche ihr die Wahrscheinlichkeit und Lebensfähigkeit nehmen. Übrigens sei erwähnt, daß die Anschauung einer Entstehung des Erdöles aus anorganischen Stoffen auch in neuerer Zeit wieder Verfechter fand. So wies *H. Moissan* auf die Kohlenwasserstoffe hin, die bei der Einwirkung von Wasser auf Metallkarbide entstehen, und *K. Charitschkow* stellte eine Theorie auf, nach welcher sich Kohlenwasserstoffe durch Wechselwirkung von kohlensaurem Kalk, schwefeliger Säure und Schwefelwasserstoff in der folgenden Weise bilden können:

$$\underset{\text{kohlensaurer Kalk}}{Ca\,CO_3} + \underset{\text{schwefelige Säure}}{SO_2} + \underset{\text{Schwefelwasserstoff}}{3\,H_2\,S} =$$

$$\underset{\text{schwefelsaurer Kalk}}{Ca\,SO_4} + \underset{\text{Wasser}}{H_2\,O} + \underset{\text{Schwefel}}{3\,S} + \underset{\text{Methan.}}{CH_4}$$

Propylen könnte sich folgendermaßen bilden:

$$\underset{\text{kohlensaurer Kalk}}{3\,Ca\,CO_3} + \underset{\text{Schwefelwasserstoff}}{3\,H_2\,S} + \underset{\text{Wasser}}{3\,H_2\,O} =$$

$$\underset{\text{Gips}}{3\,(Ca\,SO_4\,.\,H_2\,O)} + \underset{\text{Propylen}}{C_3H_6}$$

doch ist auch diese Anschauung aus verschiedenen Gründen, die wir noch erörtern werden, nicht als zutreffend anzusehen.

Wie erwähnt, suchte man die Entstehung des Erdöles auch mit den Kohlenablagerungen in Zusammenhang zu bringen und führte einerseits zur Stütze dieser Anschauung den Umstand an,

daß das durch trockene Destillation gewonnene Produkt der Kohle, der Teer, mit dem Erdöle eine gewisse Ähnlichkeit besitzt, andrerseits aber, daß das erste Glied jener Reihe von Kohlenwasserstoffen, aus denen die meisten Erdöle bestehen, das Methan, in den Kohlengruben ganz allgemein auftritt. Man stellte daher den Satz auf, das Erdöl sei durch trockene Destillation, etwa durch Erdbrände, aus Kohlenflözen entstanden, aber nicht wie der Teer, bei hoher Temperatur und niederem Druck, sondern umgekehrt, bei niederer Temperatur und hohem Druck. Diese Hypothese wird durch das Vorkommen des Erdöles in geologischer Hinsicht nicht nur nicht unterstützt, sondern geradezu widerlegt. Wäre nämlich diese Anschauung zutreffend, so müßte sich das Erdöl entweder gemeinsam mit der Kohlenformation vorfinden, oder es müßte doch nachweisbar sein, daß diese früher an Ort und Stelle vorhanden war und erst nachträglich zerstört wurde. Dagegen tritt das Erdöl, so besonders in Amerika, hauptsächlich in jenen Schichten auf, welche unter der Kohlenformation liegen, also älter sind als diese, und an vielen Orten wird es angetroffen, wo das frühere Vorhandensein von Kohle durchaus unwahrscheinlich ist.

Da sich nun sowohl die Ableitung des Erdöles von anorganischen Substanzen und von der Kohle, somit von Stoffen, die aus Pflanzen hervorgegangen sind, nicht als haltbar erwies, blieb nur der eine Ausweg, das Erdöl als Abkömmling animalischer Stoffe zu betrachten. In der Tat hat diese Anschauung sehr viel für sich. Sie wird nicht nur durch das Vorkommen des Erdöles in der Natur bekräftigt, sondern sie erfuhr auch durch das Experiment eine Bestätigung, und in jüngster Zeit haben sich auch andere Beziehungen ergeben, die diese Anschauung noch mehr zu festigen vermochten.

Eine feste Stütze für diese Hypothese bildet zunächst das Vorkommen und die Entstehung des Erdöles an der Küste des Roten Meeres. Diese besteht zum großen Teile aus mächtigen Korallenriffen, die auf der Landseite abgestorben sind, an denen die Korallenpolypen aber auf der vom Meere bespülten Seite unausgesetzt weiter bauen. Wie jeder abgestorbene Korallenfels bildet auch dieser hier ein sehr löcheriges Material und in diesen Löchern scheidet sich fortwährend Erdöl ab. Die Eingeborenen machen sich dieses Vorkommen zunutze, indem sie Brunnen graben und das sich darin ansammelnde Erdöl durch Ausschöpfen gewinnen. Dieses Auftreten von Erdöl macht es im höchsten

Grade wahrscheinlich, daß es fortwährend aus den abgestorbenen Korallentieren, natürlich nur beim Zusammentreffen günstiger Umstände, unter denen die höhere Temperatur jener Gegenden eine wesentliche Rolle spielen dürfte, sich bildet, und es liegt der Schluß nahe, daß auch andere Meeresbewohner, wie Muscheln, Krebstiere usf., durch Zersetzung Erdöl liefern können.

Diese Anschauung mußte natürlich solange Hypothese bleiben, bis es gelang, den experimentellen Nachweis für ihre Richtigkeit zu erbringen, und dies ist *Engler* tatsächlich geglückt. Als *Engler* eine größere Menge von Fischen und Muscheln bei einem Drucke von 16 Atmosphären der trockenen Destillation unterwarf, erhielt er zwar ein Produkt, welches durch seine Eigenschaften mit dem Erdöle nichts gemeinsam hatte, durch trockene Destillation von Fetten, besonders von Tran unter dem gleichen hohen Drucke erhielt er aber ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen, das in seiner Zusammensetzung große Ähnlichkeit mit dem Erdöle aufweist. Aus diesem Experimente zog nun *Engler* den Schluß, daß die Entstehung des Erdöles aus den Seetieren in der Weise erfolgt, daß zunächst die stickstoffhaltige Substanz vollständig zerstört wird, während das viel widerstandsfähigere Fett zurückbleibt und unter dem enormen Drucke der darauf lastenden Schichten und unter dem Einflusse der Wärme verseift, das heißt in Glyzerin und freie Fettsäuren gespalten wird. Das Glyzerin wird schließlich vom Wasser fortgespült, die freien Fettsäuren aber zerfallen durch Druck und Wärme in Wasser und Kohlenwasserstoffe. Die Natur dieser Kohlenwasserstoffe, ihre Zugehörigkeit zu der einen oder anderen Reihe wird durch das niemals konstante Verhältnis zwischen Druck und Temperatur beeinflußt.

Der Einwand, der ursprünglich gegen diese Theorie erhoben wurde, es sei schwer vorstellbar, wie sich so gewaltige Mengen von Seetieren an einem Orte ansammeln können, um die kolossalen Mengen Erdöl zu erzeugen, die oft ein einziges Bohrloch liefert, ist wohl nicht stichhältig. Man denke doch an den Ursprung der Kreidefelsen und der Korallenriffe. Es ist leicht begreiflich, daß ganze Meere mit ihrer gewaltigen Seefauna durch irgend einen äußeren Umstand austrockneten, wobei der Salzgehalt des Wassers fortwährend stieg, bis die gesamte Fauna endlich in der konzentrierten Mutterlauge zugrunde gehen mußte. Dieses Meeresgrab wurde mit Schlamm überdeckt und aus dem Fette der Kadaver bildete sich bei entsprechendem Drucke und der dann auch naturgemäß entstehenden höheren Temperatur das Erdöl.

In den letzten Jahren hat diese Anschauung eine bedeutungsvolle Stütze durch theoretische Betrachtungen *P. Waldens* gefunden. Erdöl ist nämlich optisch aktiv, d. h. es vermag die Ebene des polarisierten Lichtes abzulenken, und zwar nach links. Diese Fähigkeit, die zahlreiche organische Stoffe besitzen, hängt mit dem Vorhandensein eines sogenannten „asymetrischen Kohlenstoffatomes" zusammen, tritt jedoch nur bei natürlichen, nicht aber bei künstlich hergestellten organischen Stoffen oder bei Mineralien auf. Daraus ist zu folgern, daß das Erdöl nur aus Pflanzen oder Tieren entstanden sein kann. Das optische Drehungsvermögen kann durch gewisse äußere Einflüsse, so z. B. durch hohe Temperatur oder Einwirkung energischer Reagentien verloren gehen, wobei natürlich auch eine teilweise Zersetzung der ursprünglichen Verbindungen stattfindet. Das weist nun wieder darauf hin, daß sich das Erdöl nur durch Reaktionen bilden konnte, die bei verhältnismäßig niederer Temperatur, vielleicht aber unter sehr hohem Druck, unter allen Umständen jedoch mit sehr geringer Geschwindigkeit verlaufen.

Engler und *Höfer* faßten ihre Anschauungen über die Entstehung und Ansammlung des Erdöles in folgende Sätze zusammen:

1. Das Erdöl kann sowohl animalischen als auch vegetabilen Ursprunges sein; es können sowohl gerüstlose Tiere, ferner Sapropelite, als auch solche mit Gerüst (Schalen, Skeletten) das Urmaterial geliefert haben; in den meisten Fällen war das tierische Material maßgebend.

2. Die organischen Reste mußten bald nach ihrer Anhäufung von der Luft abgeschlossen werden, damit keine gewöhnliche Verwesung eintrat, bei welcher sich nur Gase bilden.

3. Die Gerüste der Tierleichen, soweit sie aus Kalziumkarbonat bestanden, wurden durch die Kohlensäure zerstört, welche sich bei dem Umwandlungsprozesse entwickelte.

4. Das Erdöl bildete sich in allen Zeitaltern der Erdgeschichte, in welchen organisches Leben vorhanden war. Die archäischen, versteinerungsleeren Schichten sind ölfrei.

5. Das Erdöl konnte sich nur dort ansammeln, wo ein Entweichen nicht möglich war, es bildete sich eine primäre Lagerstätte. Ihre Bedeckung mit gas- und öldichtem Gesteine — meist der Tonfamilie angehörend — war deshalb eine Notwendigkeit.

6. Bei der Erdölbildung hat keine ungewöhnlich hohe Temperatur mitgewirkt und

7. sie erfolgte unter höherem Drucke.

8. Die Gärung hat bei der Bildung des Erdöles mitgewirkt.

9. Die Erdöllagerstätten sind teils ursprüngliche (primäre), teils sekundäre, durch Wanderung des primären Öls gebildet.

10. Die primären Lagerstätten sind Sedimentbildungen und den Nachbarschichten konkordant eingelagert.

11. Sollen sie ergiebig sein, so müssen sie einem porösen Gesteine angehören; die Poren nehmen das Öl auf, müssen jedoch so groß sein, um es leicht wieder abgeben zu können.

12. Die primäre Lagerstätte nimmt deshalb die Form des porösen Sediments an und bildet Flöze, Lager und Lagerschläuche.

13. Die sekundären Lagerstätten sind entweder Gänge (ausgefüllte Spalten), in welchem Falle der Bergbau ein erhöhtes Risiko hat, oder, falls sich das Öl bei der Wanderung in ein porenreiches Sedimentgestein ergoß, bezüglich der Form den primären Lagerstätten gleich. Auch Oberflächenlagerstätten sind fast immer sekundär.

14. Die Wanderung des Öles aus der ursprünglichen Lagerstätte konnte innerhalb der Spalten erfolgen; eine regionale Migration ist ausgeschlossen.

15. Die bewegende Kraft des Öles ist teilweise die Schwere, vorwiegend jedoch das eingeschlossene Gas; dieses bedingt auch die Ölspringer.

16. Die Erdöllagerstätten sind fast durchwegs marinen Ursprunges; sie sind Seichtwasser- oder Küstenbildungen und markieren ein allmähliches Sinken der Küste, bzw. eine positive Strandverschiebung.

17. Das Erdöl findet sich vorwiegend in Antiklinalen und besonders reich in deren kuppelartigen Erhöhungen. Der Antiklinalrücken wird häufig von Erdgas eingenommen, während sich in den Synklinalen Wasser, das gewöhnlich salzig ist, ansammelte; fehlt dieses, so können auch Synklinalen ölführend sein.

18. Die Ölergiebigkeit eines Brunnens hängt im geringen Maße vom Luftdrucke ab; steigt dieser, fällt jene.

19. Erdwachs, Asphalt (Erdpech) und Asphaltit sind durch teilweises Verdunsten, durch Oxydation und Polymerisation aus dem Erdöl entstanden.

20. Erdwachs und Asphaltit pflegen in den Gängen vorzukommen. Asphalt tritt lager- und gangförmig auf.

Wie schon bei der Besprechung der Zusammensetzung des rohen Erdöles gezeigt wurde, besteht es zwar aus Körpern und Körpergruppen, die im Hinblicke auf die chemische Zusammensetzung sehr nahe miteinander verwandt sind, sich hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften jedoch wesentlich unterscheiden. Die Verarbeitung beruht nun in der Zerlegung des Rohöles in Anteile, die ähnliche Bestandteile vereinen.

Die *Verarbeitung* geschieht nach dem Prinzipe der fraktionierten Destillation. Diese besteht darin, daß zwischen bestimmten Siedepunkten überdestillierende Anteile für sich aufgefangen und weiter veredelt werden. Man erhält auf diese Weise zunächst Anteile mit relativ niederem Siedepunkte und hoher Flüchtigkeit (Benzine), dann solche mit höherem Siedepunkte (Petroleum usw.), endlich dicke, viskose Massen (Schmieröle, Vaselin). Aus manchen Erdölsorten kann durch Abkühlung auch Paraffin abgeschieden werden. Häufig wird auch der Rückstand von der Destillation, der über 300° siedet, der „Masut", nicht weiter zu Schmierölen usf. verarbeitet, sondern als Heizmaterial verwendet.

Einen Überblick über die bei der fabriksmäßigen Destillation des Rohöles erhaltenen Produkte, ihre Siedepunkte und handelsüblichen Bezeichnungen gibt die folgende Zusammenstellung nach *Höfer*:

Bezeichnung	Siedetemperatur	Dichte
I. Leichtflüchtige Öle:		
1. Petroleum-Äther (Keroselen, Rhygolen, Sherwood-Öl) . . .	40 bis 70°	0·65 bis 0·66
2. Gasolin (Gasolen, Kanadol) . .	70 „ 80°	0·64 „ 0·667
3. *C*-Petroleum-Naphtha (Petroleum-Benzin, Fleckwasser, Safety oil).	80 „ 100°	0·667 „ 0·707
4. *B*-Petroleum-Naphtha (Ligroin)	80 „ 120°	0·707 „ 0·722
5. *A*-Petroleum-Naphtha (Putzöl)	120 „ 150°	0·722 „ 0·737

Bezeichnung	Siede-temperatur	Dichte
II. Leuchtöl (Petroleum, Kerosin, Kerosen):		
Leuchtöl I	150 „ 200°	0·753 „ 0·864
Leuchtöl II	200 „ 250°	
Leuchtöl III	250 „ 300°	
III. Rückstände:		
Daraus: 1. Schwere Öle.	über 300°	über 0·83
und zwar: *a*) Schmieröl.	—	0·745 bis 0·859
b) Paraffinöl	—	0·8588 „ 0·959
2. Koks.		

Unter diesen Produkten haben besonders die *Benzine* in der letzten Zeit hohe Bedeutung als Betriebsmittel für Motoren erlangt. Der Siedepunkt der Rohbenzine soll nicht über 150°, der rektifizierter Benzine nicht über 120° liegen. Die Ausbeute, die die verschiedenen Erdöle an Benzin, Petroleum und Rückständen liefern, sind jedoch durchaus nicht gleich, wie ja auch nach ihrer verschiedenen Zusammensetzung nicht anders zu erwarten ist. Faßt man einerseits Benzin und Petroleum, andererseits die Rückstände zusammen, so ergeben die verschiedenen Ölprovenienzen nach *Michels* die folgenden Ausbeuten:

Leichtes deutsches Rohöl	23%	Benzin u.	Petroleum,	77%	Rückstände
Ölheimer Rohöl . . .	14%	„	„	„	84%	„
Schweres Wietzer Rohöl	6%	„	„	„	94%	„
Pennsylvanisches Rohöl	70%	„	„	„	30%	„
Russisches Rohöl . .	36%	„	„	„	64%	„
Galizisches Rohöl . .	55%	„	„	„	45%	„
Rumänisches Rohöl .	50%	„	„	„	50%	„

Die *Verarbeitung des Rohöles* zerfällt in die folgenden Stadien:

1. *Rohöldestillation.* Sie bezweckt die Zerlegung der rohen Naphtha in leichte Öle, Leuchtöle und Rückstände und kann, je nach den angewendeten Apparaten, periodisch oder kontinuierlich betrieben werden.

2. *Rektifikation der Benzine.* Es findet hier eine weitere Trennung der Destillate nach den Siedepunkten, bzw. spezifischen Gewichten statt, um für verschiedene Zwecke taugliche Produkte zu erhalten.

3. *Reinigung der Leuchtöle.* Das für Beleuchtungszwecke bestimmte Petroleum muß ganz bestimmten Anforderungen entsprechen, der Entflammungspunkt darf nicht unterhalb einer gewissen Temperatur liegen, sie dürfen keine verharzenden Bestandteile enthalten usf. Dies wird durch die weitere Reinigung erreicht.

4. *Verarbeitung der Rückstände.* Der „Masut" enthält noch zahlreiche technisch hochwichtige Bestandteile, wie Schmieröle, Paraffin usw., auch können aus den schweren Ölen durch den „Cracking-Prozeß" wieder zum Teil leichte Öle mit niederem Siedepunkte hergestellt werden.

Bei dem *periodischen Betriebe* wird das Rohöl in sehr geräumige, schmiedeeiserne Destillierblasen gefüllt und unter Verwendung direkter, den Kessel bespülender Feuerung bis auf 300° erhitzt. Die Destillate, und zwar einerseits Rohbenzine, andererseits die Leuchtöle, werden gesondert aufgefangen und weiter verarbeitet. Der im Destillationskessel hinterbleibende „*Masut*" wird entweder verfeuert oder ebenfalls weiter verarbeitet. Dies geschieht abermals durch Destillation, doch unter Anwendung verminderten Druckes, wobei nur eine Temperatur von 200 bis 300° angewendet zu werden braucht. Die überdestillierenden Fraktionen bestehen aus Solarölen, Spindelöl, Maschinenölen, Zylinderölen und schließlich aus Schwerölen. Aus den paraffinhaltigen Schwerölen kann durch Abkühlung, in gleicher Weise wie aus dem Braunkohlenteer, Paraffin abgeschieden werden. Im Kessel hinterbleiben dann, je nach dem Grade der Aufarbeitung des Masut, flüssige Rückstände („Residuen"), pechartige Massen („Goudron") oder poröser Koks.

Zur Darstellung von Handelsware müssen diese Destillate noch weiter gereinigt, raffiniert werden. Dies geschieht durch Mischen mit konzentrierter Schwefelsäure, wodurch gewisse Bestandteile verkohlt werden. Dann wird das Destillat in den Mischapparaten gründlich mit Wasser und mit Natronlauge gewaschen, um die Säure zu entfernen, worauf schließlich nochmals mit Wasser gewaschen wird.

Die *Mischapparate* bestehen aus entsprechend großen Gefäßen, in welchen entweder aus einem mit vielen Löchern versehenen Rohre Luft unter Druck ausströmt, die die Flüssigkeit durchstreicht und in lebhafter Bewegung erhält, oder es wird der gleiche Zweck durch Anwendung von Rührwerken erreicht. Ist das rohe Leuchtöl genügend lange mit der Schwefelsäure in Berührung

gewesen, wobei es sich in eine schwarze Masse verwandelt, so wird die Rührvorrichtung abgestellt. Nun lagert sich die Schwefelsäure, welche durch die aufgenommenen Verunreinigungen dunkel gefärbt ist, am Boden des Mischapparates ab und das gereinigte Petroleum kann abgezogen werden. Darauf folgt, wie angedeutet, in der gleichen Weise das Waschen mit Wasser, Natronlauge und schließlich nochmals mit Wasser.

Bei der *kontinuierlichen Verarbeitung* der Rohnaphtha sind getrennte Kesselbatterien für die Gewinnung der verschiedenen Fraktionen vorhanden, die in ununterbrochenem Strome durchflossen werden. Für die Kerosindestillation wird nach *v. Horlacher* die nach Möglichkeit von Wasser befreite Rohnaphtha durch Pumpen in die Vorwärmer gedrückt. Diese sind große, meist gegen Wärmeverluste durch eine Ummauerung mit Ziegeln geschützte Eisenzylinder, in deren Innerem sich spiralförmige Rohre befinden. Diese durchfließen die aus dem Kessel kommenden Rückstände, wodurch deren Wärme ausgenützt wird. Die Naphtha nimmt hier eine Temperatur von 70 bis 100° an und wird vollständig von der Feuchtigkeit befreit. Dann fließt sie nach der Kesselbatterie, wobei in jedem Kessel schwere Destillate abgespalten werden, und sendet die Rückstände durch die Vorwärmer oder besondere Kühler in die Masutbatteriebehälter.

Die gebräuchlichsten Kessel sind Walzenkessel mit einem Flammrohr, das den ersten Feuerzug bildet. Dann gehen die zweiten Feuerzüge an den Seiten, der dritte am Boden des Kessels, der dann in den Fuchs mündet. Zwischen den Kesseln besteht ein Niveauunterschied von etwa 50 *cm*; er beträgt, bezogen auf die ganze Batterie, bis zu 2 *m*.

In die Kerosinkessel leitet man während der Destillation auf etwa 250° erhitzten Dampf durch Rohre, die von oben eintreten, sich bis zum Flammrohre senken, sich dort in zwei Rohre teilen, die am Flammrohre bis zum Kesselboden hinabgehen und hier von einem Ende des Kessels bis zum anderen hinstreichen. Durch drei Reihen nach unten gerichteter Öffnungen strömt der Dampf aus. Als täglich verarbeitetes Naphthaquantum rechnet man den vierfachen Inhalt der Kesselbatterie. Die entweichenden Dämpfe treten durch den Kesselhelm in einen Dephlegmator, der nur bei den Kesseln, welche die leichtesten Destillate liefern, fehlt, und dann durch spiralförmige, sich verjüngende Wasserkühler in einen Empfangsraum, wo die Destillate gesammelt und nach Bedarf gemischt werden.

Börnstein gibt das folgende Beispiel für die in den Kesseln bei der kontinuierlichen Destillation abgespaltenen und zu gleicher Zeit gesammelten Produkte, wobei eine Batterie, bestehend aus 7 Kesseln, benützt wurde.

	Destillate	Spez.-Gew. bei 15°	Flammpunkt bei 760 *mm*
Kessel Nr.	1	0·7755	9°
,,	2	0·7775	11°
,,	3	0.7955	16°
,,	4	0·8116	25·5°
,,	5	0·8315	40·5°
,,	6	0·8501	62°
,,	7	0·8621	80°

Die aus den Kesseln Nr. 1 bis 3 gewonnenen Anteile bilden das *Gasolin*, während die vier anderen Kessel das *Kerosindestillat* liefern. Die aus dem siebenten Kessel austretenden Rückstände bilden den *Masut*.

Der *Masut* ist eine dickflüssige, mitunter schon bei gewöhnlicher Temperatur erstarrende Masse von dunkelgrüner bis schwarzer Farbe und eigentümlich brenzlichem, oft an Kreosotöle erinnerndem Geruche. Vielfach wird der Masut als Heizmaterial verwendet, wobei besondere Feuerungsvorrichtungen benützt werden müssen, in denen der Masut zerstäubt wird. Ein Teil wird auf Ölgas verarbeitet oder zur Darstellung minderer Schmieröle benützt.

Werden an Paraffinkohlenwasserstoffen reiche Rückstände überhitzt, so erleiden sie eine Spaltung, wobei leichtere, aber wasserstoffärmere Kohlenwasserstoffe und Gase abgespalten werden, außerdem wird ein Teil des Kohlenstoffes amorph ausgeschieden. Man benützt dieses Verhalten bei dem sogenannten „*Cracking-Prozeß*", wobei noch eine beträchtliche Menge von Leuchtölen erhalten wird, die allerdings wegen ihrer relativen Armut an gewissen Kohlenwasserstoffen weniger Leuchtkraft besitzen als direkt gewonnene Leuchtöle mit gleichem Siedepunkte.

Der Cracking-Prozeß wird in ummauerten Kesseln ausgeführt, die Kessel sind zylindrisch oder, wie der häufig verwendete *Popelka*kessel, oval. Die bei der Spaltung auftretenden Gase, die besonders reich an Methan und Äthan sind, werden als Heizgase verwendet.

Ein technisch hochwichtiges Erzeugnis der Verarbeitung der Erdöle sind die *Mineralschmieröle*. Vor den vegetabilischen Ölen haben sie vor allem den Vorteil voraus, daß sie nicht ranzig und

sauer werden und daher auch die Maschinenteile nicht angreifen können. Die Technik benötigt Schmieröle für verschiedene Zwecke, dementsprechend muß auch ihre Beschaffenheit verschieden sein, damit sie sich z. B. zum Ölen kaltlaufender Maschinenteile oder aber für Heißdampfzylinder eignen. Zur Beurteilung dient einerseits der *Flammpunkt* der Öle, d. i. jene Temperatur, bei der das Öl eben brennbare Dämpfe aussendet, anderseits die *Viskosität* oder Zähflüssigkeit. Die Viskosität wird durch Ermittlung der Zeit gemessen, die ein bestimmtes Ölquantum benötigt, um bei bestimmter Temperatur aus einer Öffnung von bestimmtem Querschnitte auszufließen. Zur Bestimmung dient das Englersche Viskosimeter.

„Der Schmiervorgang unter Verwendung von Öl" — sagt *Ubbelohde* im Abschnitte Mineralschmieröle der Dammerschen Technologie — „ist so aufzufassen, daß sich zwischen den beiden aufeinander gleitenden Metallflächen eine Ölschichte befindet und dadurch die trockene Reibung durch Flüssigkeitsreibung ersetzt. Damit aber die beiden Metallflächen sich nicht dennoch gegenseitig berühren, muß das Schmiermittel die Kraft haben, trotz des Druckes, mit dem die beiden Metallflächen einander sich zu nähern bestrebt sind, eine haltbare Schichte zwischen ihnen zu bilden. Aus diesem Grunde ist es nötig, daß die Zähigkeit des Schmiermittels eine bestimmte Größe besitzt. Würde die Zähigkeit geringer sein, so würde das Schmiermittel herausgepreßt und die Metallflächen würden einander berühren. Dadurch würde nicht nur die Reibung außerordentlich stark steigen, sondern es würden auch die Metallflächen in kurzer Zeit zerstört werden."

„Wenn deshalb die Zähigkeit eine gewisse Größe haben muß, so soll sie andererseits doch nicht so groß sein, weil sie in diesem Falle durch eigenen hydrodynamischen Widerstand die Reibung ebenfalls allzu sehr steigert. Es ist also ein Öl von ganz bestimmter Zähigkeit für eine bestimmte Maschine das beste, und zwar richtet sich die Zähigkeit nach dem Druck, welcher auf dem Lager lastet, und nach der Geschwindigkeit, mit welcher die gleitenden Flächen aneinander vorbei bewegt werden. Mit steigender Geschwindigkeit und abnehmendem Drucke ist immer dünnflüssigeres Öl, mit abnehmender Geschwindigkeit und steigendem Drucke dickflüssigeres Öl erforderlich. Es ist demnach die Zähigkeit das charakteristische Merkmal eines Öles bezüglich seiner Verwendbarkeit, und nach ihr sollte im allgemeinen die Auswahl für jeden besonderen Zweck erfolgen."

Englers Viskosimeter, verbessert von *Ubbelohde*, zeigt Abb. 16. Der Behälter *A* aus innen vergoldetem Messing ist mit einem doppelwandigen, mit einer Isoliermasse gefüllten Deckel bedeckt. Der Boden von *A* ist nach unten etwas ausgebaucht und trägt in der Mitte das 20 *mm* lange, oben 2·9 *mm* und unten 2·8 *mm* weite Auslaufrohr aus Platin *F*, welches mit dem Stift *b* verschlossen werden kann. Drei an den Seitenwänden angebrachte Spitzmarken befinden sich in gleicher Höhe vom Boden des Gefäßes und dienen zur Abmessung der Ölprobe und gleichzeitig zum Aufstellen des Apparates in genau wagrechter Lage. Das Erwärmungsbad *B* wird bis zur Höhe des Deckels mit Wasser oder Öl gefüllt. Der Rührer *E* dient zur gleichmäßigen Temperaturverteilung im Ölbade. Der Bajonettverschluß verhindert das störende Herabfallen des Stiftes *b* während des Versuches. Mittels des Meßkolbens *M* wird das ausfließende Öl aufgefangen. Über die Abmessungen des Apparates, von denen die Werte wesentlich beeinflußt werden, bestehen genaue Vorschriften, nach denen die Eichung der Apparate erfolgt.

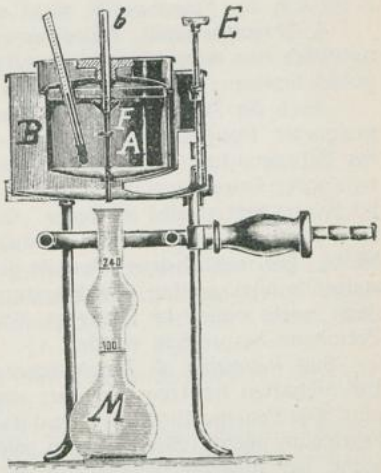


Abb. 16. Englers Viskosimeter, verbessert von Ubbelohde.

Zunächst wird das Viskosimeter durch Ausfließenlassen von Wasser, dessen Temperatur genau 20° C beträgt, geeicht, die mittlere Ausflußzeit muß zwischen 50 und 52 Sekunden liegen. Soll ein Öl geprüft werden, so wird es in das Gefäß *A* gefüllt und, nachdem die Temperatur konstant geworden, auf die drei Spitzen genau eingestellt. Man ermittelt dann abermals die Ausflußzeit. Ein Engler-Grad ist die Auslaufzeit von 200 cm^3 Öl, dividiert durch die Auslaufzeit von 200 cm^3 Wasser bei 20°.

Je nach der Beschaffenheit und dem Zwecke der Schmieröle unterscheidet man:

1. *Leichte Maschinenöle* oder *Spindelöle.* Ihre Viskosität beträgt 3 5 bis 15 bei 20° oder 1·6 bis 3·3 bei 50° im Englerschen Viskosimeter. Je nach dem Ausgangsmateriale ist der Flammpunkt dieser Öle sehr verschieden; er bewegt sich etwa zwischen 140 bis 200°.

2. *Schwere Maschinenöle* und *Transmissionsöle.* Die Viskosität dieser Öle bewegt sich zwischen 15 und 20 und mehr bei 20°, entsprechend 4 bis 8 bei 50°, der Flammpunkt liegt zwischen 180 und 220° und darüber.

3. *Zylinderöle.* Bei 100° beträgt die Viskosität dieser Öle 3 bis 4·9, der Flammpunkt nicht unter 240°.

4. *Hypothermalöle, Heizdampfzylinderöle.* Diese Öle müssen natürlich eine noch höhere Viskosität und einen höheren Flammpunkt besitzen, er liegt mindestens bei 350°.

Auch die Schmieröle werden durch fraktionierte Destillation geeigneter Rohölrückstände, die vorher entbenziniert und von der Petroleumfraktion befreit wurden, gewonnen. Man destilliert teils unter Anwendung freien Feuers, teils von überhitztem Dampf, im Kessel hinterbleibt entweder „Goudron" oder die Destillation wird noch weiter getrieben, so daß Asphalt oder Koks hinterbleibt. Die verschiedenen Anteile der Destillation, die sich durch steigende Viskositäten und Flammpunkte unterscheiden, werden dann noch weiter in ähnlicher Weise raffiniert, wie dies für Petroleum besprochen wurde.

Soll *Petroleum als Leuchtmaterial* dienen, so muß es gewisse Eigenschaften besitzen und darf vor allem nicht feuergefährlich sein. Die Feuergefährlichkeit wird dadurch bedingt, daß schlechtes Petroleum noch größere Mengen solcher Anteile enthält, die sich schon bei niederer Temperatur in Dampf verwandeln. Diese Dämpfe, die sich über dem Petroleum in der Lampe ansammeln, sind dann die Ursache von Explosionen, die leider alljährlich noch immer eine nicht unbedeutende Anzahl von Opfern fordern, von denen freilich ein großer Teil nur auf die Unachtsamkeit der Betroffenen zurückzuführen ist.

Um die Brauchbarkeit eines Petroleums rasch und sicher beurteilen zu können, wurden besondere Apparate konstruiert, welche die schnelle Ermittelung des Flammpunktes gestatten. Fast alle größeren Staaten haben Bestimmungen erlassen, mittelst welcher der Vertrieb feuergefährlichen Petroleums untersagt wurde und die die an brauchbares Petroleum zu stellenden Anforderungen genau umschreiben.

Unter dem „*Flammpunkte*“ haben wir jene Temperatur zu verstehen, bei der sich aus dem Petroleum eine solche Menge brennbarer Gase entwickelt, daß sie mit Luft ein explosibles Gemisch bilden; der Entzündungspunkt des raffinierten Petroleums, bei dem dieses selbst zu brennen beginnt, liegt stets höher. Zur Ermittelung des Flammpunktes ist in Deutschland und England die Benützung des *Abel*schen *Petroleumprobers* (Abel-test) vorgeschrieben. Die gesetzlichen Flammpunkte der wichtigsten Staaten, auf Abel-test zurückgeführt, sind nach *Lobry de Bruyn*:

England	23°	Abel-test
Deutschland	21°	„
Norwegen	22°	„
Schweden	40°	„
Dänemark	20°	„
Frankreich	35°	Flammpunkt
Belgien	35°	„
Österreich	21°	Abel-test
Japan	46°	„
Kanada	30°	„
Vereinigte Staaten . . .	40°	„

Der Entzündungspunkt guten Petroleums soll ungefähr bei 60° liegen. Petroleum mit höherem Entzündungspunkte brennt in Lampen gewöhnlicher Konstruktion nur mit trüber oder rußender Flamme.

Für die Beurteilung von Petroleumproben schreibt der *Codex alimentarius Austriacus* folgendes vor:

„Für jene Petroleumsorten, die zu Beleuchtungszwecken oder im Haushalte zur Speisung kleiner Kochapparate, Petroleumöfen und ähnlicher häuslicher Heizvorrichtungen dienen, gelten folgende Grundsätze: Das zu diesem Behufe in Verkehr gesetzte Petroleum soll frei von fremden Bestandteilen sein, bei einer Temperatur von 15° C ein spezifisches Gewicht von 0·790 bis 0·825 haben, in der Farbe mindestens der Type „merkantilweiß“ (standard white) entsprechen, bei einem Barometerstande von 760 *mm* einen über 21° C liegenden Flammpunkt besitzen, gut raffiniert sein, nicht stocken und möglichst gleichmäßig hell brennen. Der Destillationsbeginn soll nicht unter 110° C liegen. Wenn die Fraktion über 300° C mehr als 20 Volumprozente beträgt, kann die Ware nicht mehr als brauchbares Leuchtpetroleum angesehen werden. Petroleum, das den vorstehend festgelegten Bestim-

mungen nicht vollkommen entspricht, ist als anormal zu bezeichnen. Eine Unterschreitung des Flammpunktes oder der Zusatz fremder Bestandteile wird als Verfälschung und die Hinterlassung eines unverbrennlichen Rückstandes bei Verwendung im guten Zustande befindlicher, sonst als geeignet anerkannter Lampen und Dochte je nach dem Grad dieses Mangels als Kennzeichen der Minderwertigkeit oder einer falschen Bezeichnung, endlich das Vorhandensein anderer Fehler als Kennzeichen der Minderwertigkeit aufzufassen sein, es sei denn, daß besondere Umstände eine andere Beurteilung rechtfertigen. Das Inverkehrsetzen von Leuchtpetroleum, dessen Flammpunkt unter 21° C liegt, ist wegen der mit sinkendem Flammpunkte steigenden Explosionsgefahr außerdem für den Konsumenten sicherheitsgefährlich."

Abb. 17. Abels Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes.

Der *Abel*sche *Apparat* zur Bestimmung des Flammpunktes (Abb. 17) besitzt die folgende Einrichtung: In dem Messinggefäße *U*, das mit dem Deckel *W* verschlossen ist, befindet sich Wasser, in das ein Thermometer t_2 eintaucht. In einer Öffnung des Deckels hängt ein zweiter, kleinerer Behälter *B*, welcher das zu prüfende Petroleum enthält; er ist ebenfalls durch einen Deckel verschlossen, durch welchen das Thermometer t_1 führt. Außerdem trägt dieser Deckel ein kleines Uhrwerk, welches durch Drehung des Knopfes *K* aufgezogen werden kann. Drückt man dann auf den Hebel *h*, so tritt dieses Uhrwerk in Funktion, es öffnet sich im Deckel ein kleiner Schieber und automatisch wird in die Öffnung ein kleines brennendes Benzinlämpchen eingeführt, dann kehrt dieses in seine ursprüngliche Lage zurück, worauf sich der Schieber schließt. Durch eine Spirituslampe wird das im Gefäße *U* befindliche Wasser langsam erhitzt, man

beobachtet das Thermometer t_1 und läßt das Uhrwerk spielen, sobald das Thermometer um einen oder einen halben Grad gestiegen ist. Hat sich endlich eine genügende Menge brennbarer Gase angesammelt, so werden diese durch das Flämmchen entzündet; in diesem Momente vernimmt man ein eigentümliches Geräusch und die Zündflamme wird nahezu doppelt so groß, häufig erlischt sie dann auch. Die Temperatur, bei der die Entzündung eintritt, heißt der Flammpunkt, dessen zulässige Höhe, wie oben mitgeteilt, in den meisten Staaten gesetzlich festgelegt ist.

Die größte Menge des Erdöles und die daraus durch Destillation gewonnenen Produkte werden zu Leucht-, Heiz- und Schmierzwecken verwendet. Die niedersiedenden Benzine, wie Petroläther usf., dienen in der Technik häufig als Lösungsmittel, die Benzine mit höherem Siedepunkte bilden das Betriebsmittel für die modernen Explosionsmotoren.

Die bekannten und in neuerer Zeit immer mehr verwendeten *Stauböle* sind ebenfalls Produkte der Erdölverarbeitung, und zwar werden zu diesem Zweck die hochsiedenden Anteile verwendet. Man benützt sie ebenso zur Staubbindung auf Straßen, wie als Fußbodenöle. „*Westrumit*", ein zur Präparierung von Straßenoberflächen viel benütztes Mittel wird unter Verwendung geeigneter Zusatzmittel aus Rohöl und Wasser bereitet.

Eine weitere und in manchen Gegenden höchst wichtige Verwendung fand das Erdöl zur Bekämpfung der *Malaria*, indem man es zur Überdeckung von Teichen, Tümpeln usw. mit einer ganz dünnen Schichte verwendete. Diese Tümpel sind die Brutstelle der Anopheles-Mücke, in der der Parasit lebt, der durch den Stich in das Blut des Menschen gelangt. Durch die Überdeckung mit Erdöl wird den im Wasser lebenden Larven die Luft entzogen und sie müssen zugrunde gehen. Diese Bekämpfungsart der Malaria hat sich überall dort, wo sie konsequent angewendet wurde, vortrefflich bewährt.

Auch Desinfektionsmittel werden aus manchen Erdölsorten, besonders russischem, gewonnen, wie Desinfektin, Naphthiol, Sulfonaphthen usf. Das wirksame Prinzip dieser Desinfektionsmittel sind die Naphthensäuren, die auch im reinen Zustande dargestellt werden.

Um Petroleum in den festen Zustand überzuführen, benützt man die Eigenschaft der Erdalkali- und Alkaliseifen, Mineralöle zu verdicken und einzuschließen, sobald sie erstarren. Auch Kasein wurde zu dem gleichen Zwecke empfohlen.

c) Erdwachs.

Das *Erdwachs*, auch *Bergtalg*, *fossiles Wachs*, *Steintalg* oder *Ozokerit* genannt, bildet ein fossiles Gemenge von Kohlenwasserstoffen, die jedoch nicht im flüssigen Zustande, wie im Rohöle, sondern im festen, wachsähnlichen Zustande vorhanden sind. Es kommt in tertiären Schichten, meist gemeinsam mit Erdöl vor, besonders wichtig sind die Fundstätten in Galizien bei Boryslaw. Außerdem wird es auch in England, Kaukasien, Rumänien, Nordamerika, Kalifornien usf. gefördert.

Das Erdwachs wurde entdeckt, als man nach Petroleum schürfte, und anfangs als wertlos angesehen. Bald erkannte man aber seine Zusammensetzung und begann es zu Paraffin zu verarbeiten. Durch Behandlung mit Schwefelsäure und Entfärbungsmitteln, wie Knochenkohle und Blutlaugensalzschwärze läßt sich daraus ein weißer, bienenwachsähnlicher Körper darstellen, der natürlich ebenfalls aus Kohlenwasserstoffen mit etwas niederem Schmelzpunkte besteht und als „*Zeresin*“ bezeichnet wird.

Neben festen Kohlenwasserstoffen, die die Hauptmenge des Erdwachses bilden, enthält es stets auch eine gewisse Menge harzartiger, sauerstoffhaltiger Körper. Wie schon früher erwähnt, ist wohl mit Sicherheit anzunehmen, daß das Erdwachs durch langsames, teilweises Verdunsten bei gleichzeitiger Oxydation und Polymerisation von Erdöl entstand. Es kommt ähnlich, wie Petroleum, in Hohlräumen des Gebirges vor, in denen es häufig mit einer großen Menge von Gasen eingeschlossen ist. In vielen Fällen ist es jedoch auch mit Gips und Salz und mit jenen Mineralien untermengt, in die es eingelagert ist.

Das Erdwachs wird auf bergmännische Art gewonnen, indem man bis zu seiner Lagerstätte einen Schacht niedertreibt und mit Stollen den Nestern, in denen es sich vorfindet, nachgeht. Bei Eröffnung dieser Nester ereignet es sich mitunter, daß das Erdwachs infolge des mächtigen Druckes, welchen die gleichzeitig vorhandenen Gase ausüben, als eine weiche Masse mit großer Gewalt wie aus einem Rohre herausgepreßt wird, und sich die Arbeiter rasch nach höher gelegenen Stellen des Schachtes flüchten müssen. Die Kraft, mit der das Erdwachs aus solchen Hohlräumen hervorgetrieben werden kann, ist so mächtig, daß es in manchen Fällen selbst Schächte von bedeutender Tiefe ganz erfüllt, worauf man das hervordringende Erdwachs an der Oberfläche mit Spaten wegnehmen kann.

Im rohen Zustande bildet das Erdwachs eine schwarz, grün, dunkelbraun bis hellgelb gefärbte Masse mit wechselnder Konsistenz. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 60 bis 70°, das spezifische Gewicht beträgt 0·85 bis 0·95. Der chemischen Zusammensetzung nach liegt ein Gemenge von Paraffinen und Olefinen vor, in dem jedoch die Paraffine überwiegen. Das Erdwachs enthält gewöhnlich:

Kohlenstoff	85 bis 86%
Wasserstoff	14 „ 15%

Das geförderte rohe Erdwachs wird zunächst durch Handauslese angereichert und dann über freiem Feuer ausgeschmolzen, wodurch das als Ausgangsmaterial für die weitere Verarbeitung und Reinigung dienende „Schmelzwachs" gewonnen wird. Der im Schmelzkessel hinterbleibende Rückstand enthält noch einige Prozente Erdwachs; er wird mit einem geeigneten Lösungsmittel, wie Benzin, extrahiert, der Rückstand nach Abdunstung des Lösungsmittels wird als „Extraktionswachs" verkauft. Das Ausschmelzen wird bei reineren Sorten trocken, bei unreineren unter Wasser vorgenommen, schließlich wird es in Formen aus verzinntem Eisenblech zu Blöcken von etwa 40 *kg* Gewicht erstarren gelassen. Nach *Muck* werden die folgenden Handelssorten unterschieden:

1. *Hochprima spezial.* Diese Sorte besitzt eine hellgrüne Farbe, ist trocken, löst sich leicht am Finger und schmilzt bei 68°.

2. *Hochprima.* Der Schmelzpunkt liegt ebenfalls bei 68°, doch ist diese Sorte etwas dunkler, besitzt an frischen Bruchflächen einen grünen Schimmer und löst sich am Finger nicht mehr vollkommen.

3. *Normalwachs.* Es ist dunkelbraun bis schwarz gefärbt, schmilzt bei 66°, ist trocken und löst sich beim Verreiben leicht am Finger.

4. *Sekunda.* Diese Sorte ist schwarz und schmierig und schmilzt zwischen 52 und 56°.

Die *Reinigung* und *Verarbeitung* des *Erdwachses* zu Zeresin geschieht nach dem Verfahren von *Pilz* und *Ujhelyi* in der Weise, daß das Rohwachs zunächst in geräumigen Kesseln, die bis zu 3000 *kg* Erdwachs zu fassen vermögen, über freiem Feuer geschmolzen werden. Das Wachs wird dann geschmolzen erhalten, wobei das beigemengte Wasser entweicht. Dann wird in die 115 bis 120° heiße Masse 18 bis 20% einer konzentrierten Schwefelsäure einfließen gelassen und die Temperatur innerhalb 4 Stunden

auf 160 bis 165° gesteigert. Die Schwefelsäure wirkt verkohlend auf die verunreinigenden Bestandteile ein und es scheidet sich eine schwarze Masse, der „Asphalt", ab, gleichzeitig entweicht die durch Reduktion der Schwefelsäure entstehende schwefelige Säure.

Man steigert nun während mehrerer Stunden die Temperatur auf 170 bis 175°, wobei häufig umgerührt wird. Dadurch wird die Abscheidung des „Asphaltes" begünstigt; gleichzeitig verdampft jener Teil der Schwefelsäure, der sich an der Zerstörung der oxydierbaren Substanzen nicht beteiligte. Die Masse läßt man dann auf etwa 115° erkalten, worauf 5 bis 6% „Entsäuerungspulver" eingerührt werden. Diese Entsäuerungspulver bilden gewisse Rückstände der Blutlaugensalzfabrikation; es bindet die Reste der Schwefelsäure und die bei der Oxydation entstehenden organischen Säuren, wie Oxalsäure, Ameisensäure, Essigsäure, wobei die Masse sehr stark aufschäumt. Die Entsäuerung wird durch neuerliche Temperatursteigerung während etwa 3 Stunden auf 130° befördert, schließlich werden 1 bis 2% Blutkohle zum Zwecke der Entfärbung eingetragen und einige Stunden verrührt.

Die weitere Verarbeitung besteht in der Trennung des Zeresins von den Rückständen, sie erfolgt in Filterpressen, die mit Dampf geheizt sind. Da das Zeresin nach dieser ersten Behandlung meist noch nicht ganz farblos, sondern gelblich gefärbt ist, wird es abermals geschmolzen und nochmals mit Schwefelsäure, die man aber konzentrierter anwendet, mit „Entsäuerungspulver" und „Entfärbungspulver" behandelt. Schließlich wird das genügend gereinigte Zeresin in Formen gegossen und erstarren gelassen.

Das Zeresin wird vielfach als Ersatz für Bienenwachs verwendet, weil es billiger ist als dieses. Man stellt daraus Kerzen dar, ferner Kunstwaben für Bienenzucht, es dient als Ersatz für Paraffin, als Modelliermasse, als Isolationsmaterial für elektrische Leitungen usf.

Zur Zeresingewinnung ungeeignetes Rohwachs wird zu Paraffin verarbeitet, indem man es mit überhitztem Wasserdampfe destilliert. Dabei erhält man auch ein vaselinartiges Produkt, das „*Ozokerin*", und einen Destillationsrückstand, der „*Pitsch*" genannt wird und ein ausgezeichnetes Isolationsmaterial bildet.