

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

2. Flüssige Brennstoffe.

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

Die Vorteile, die sie bieten, sind mannigfaltiger Art.

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

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

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

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

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

a) Untersuchungsmethoden flüssiger Brennstoffe.

a. Bestimmung der Dichte (des spezifischen Gewichtes).

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

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

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

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



Fig. 22.
Pykno-
meter.

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

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

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

β. Bestimmung des Erstarrungspunktes.

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

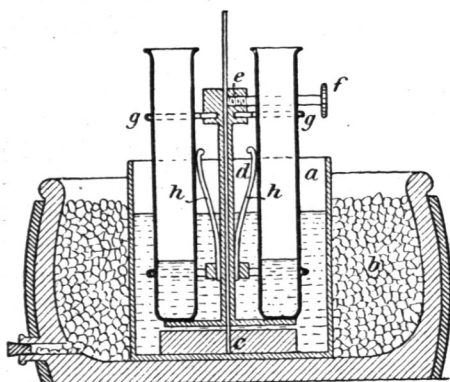


Fig. 23. Apparat zur Prüfung des Verhaltens von flüssigen Brennstoffen oder Schmiermitteln in der Kälte. a) Gefäß mit der Salzlösung. b) Kältemischung.

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

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

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

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

γ. Siedeanalyse.

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

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

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

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

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

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

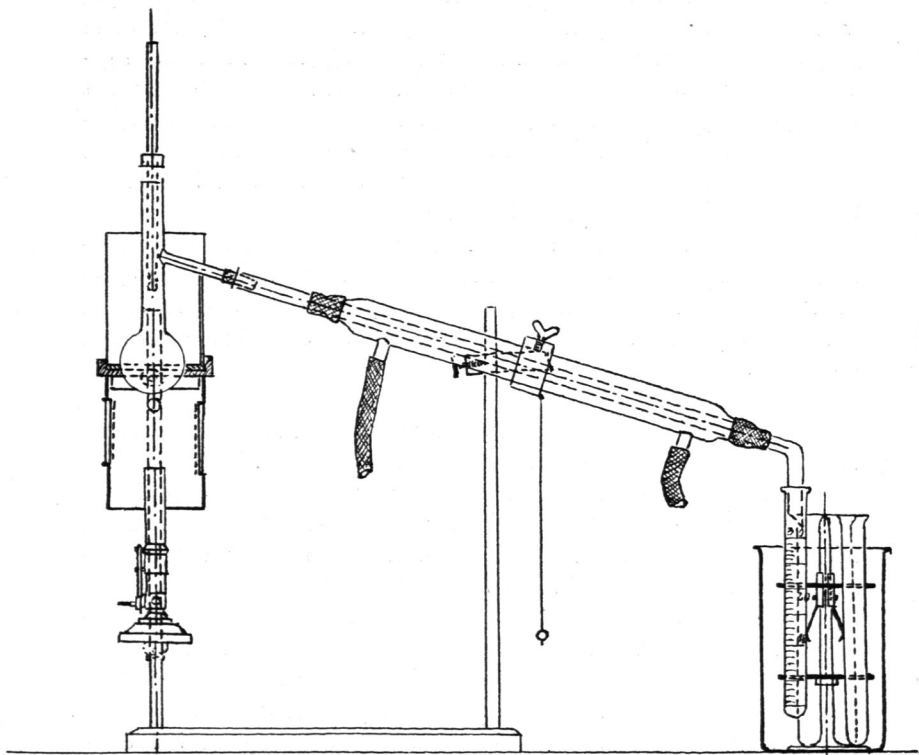


Fig. 24. Apparat zur Siedeanalyse nach Engler-Ubbelohde.

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

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

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

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

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

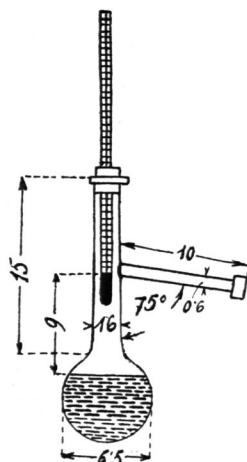


Fig. 25. Englerkolben.

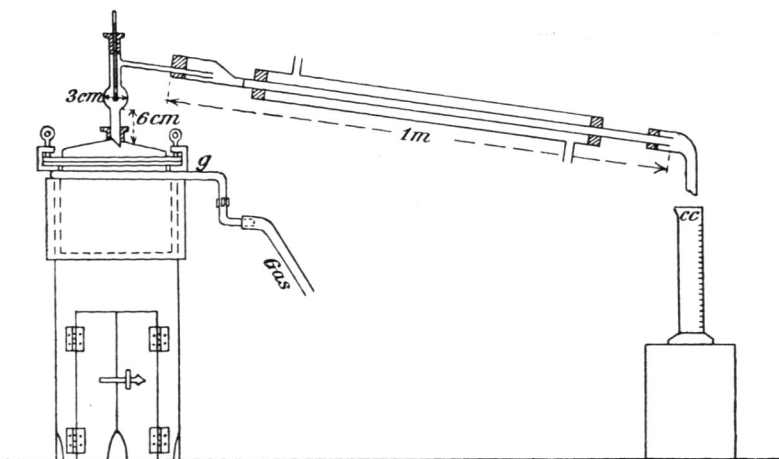


Fig. 26. Apparat von Senger zur Teerdestillation.

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

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

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

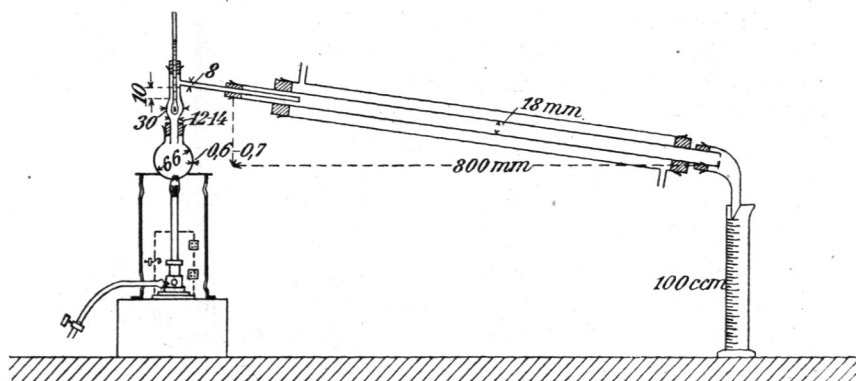


Fig. 27. Apparat zur Destillation von Benzol.

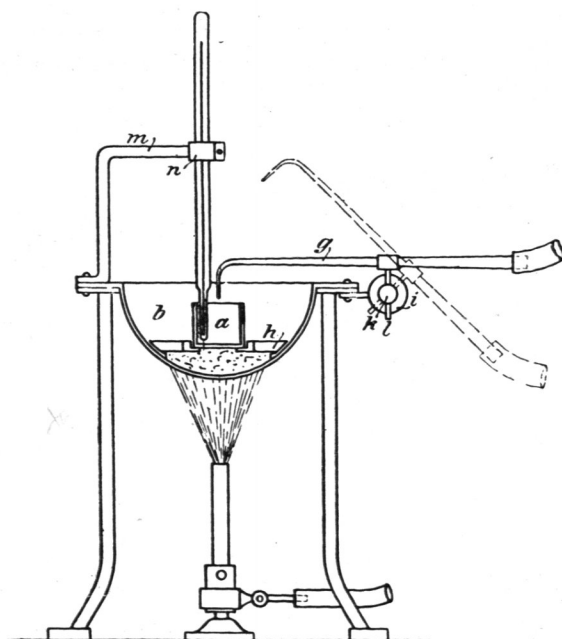


Fig. 28. Apparat von Marcusson zur Flammpunktbestimmung im offenen Tiegel. a) Tiegel. g) Zündrohr.

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

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

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

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

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

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

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

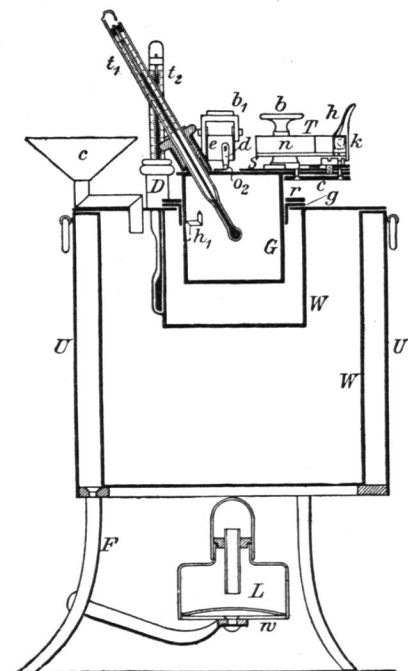


Fig. 29. Abelscher Apparat zur Flammpunktbestimmung.

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

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

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

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

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

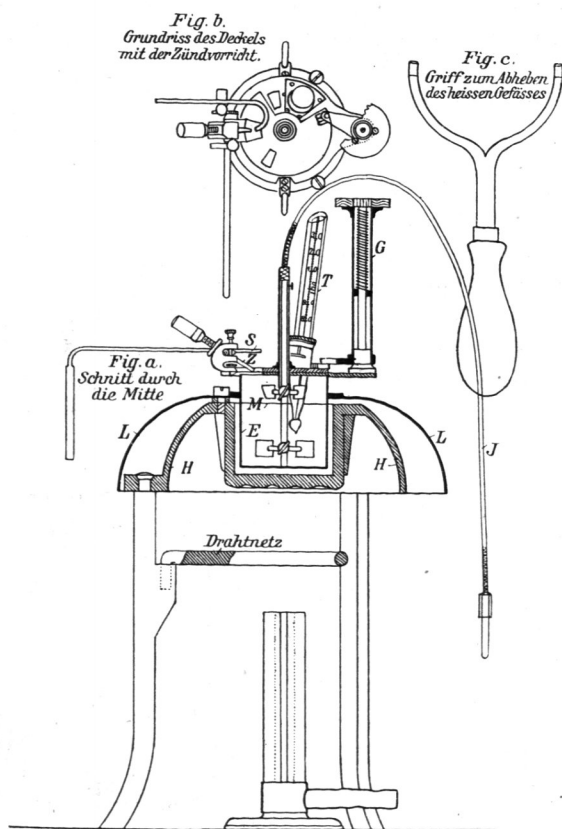


Fig. 30 a. Pensky-Martensscher Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes (Durchschnitt).

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

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

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

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

Nachdem das Gefäß E mit der zu prüfenden Flüssigkeit bis zur Marke M gefüllt ist, wird es in ein zweites Gefäß aus Gußeisen gebracht, der Deckel aufgesetzt und das Rührwerk bei gleichzeitigem Anzünden des Brenners betätigt. Die Flamme wird so reguliert, daß die Temperatur in der Minute um $4-6^{\circ}$ steigt. Jedesmal, wenn die Temperatur um 2° gestiegen ist, wird das Zündflämmchen Z mittels einer besonderen Vorrichtung (durch G angedeutet) ein-

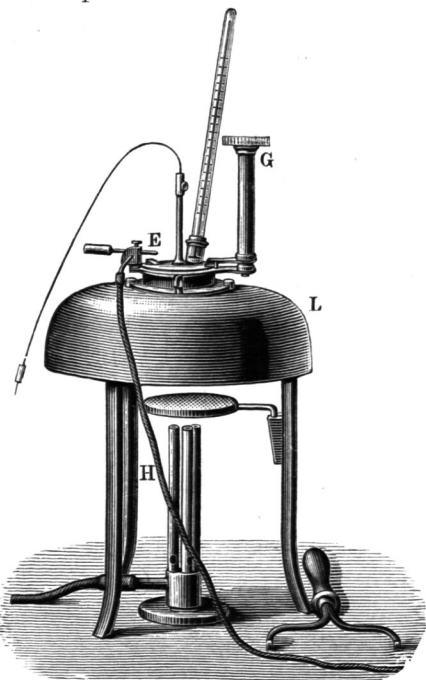


Fig. 30 b. Pensky-Martensscher Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes.

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

ε. Bestimmung der Viskosität (Zähflüssigkeit).

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

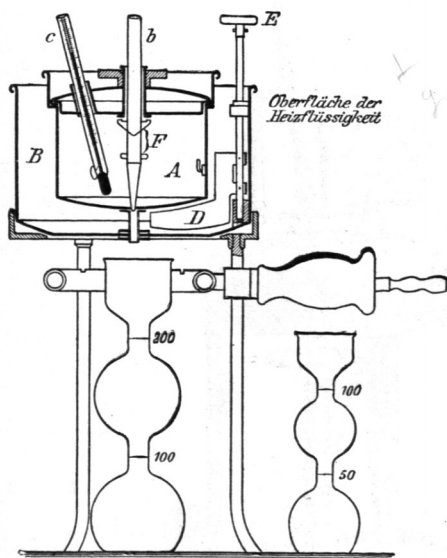


Fig. 31 I. Englersches Viskosimeter (Durchschnitt).

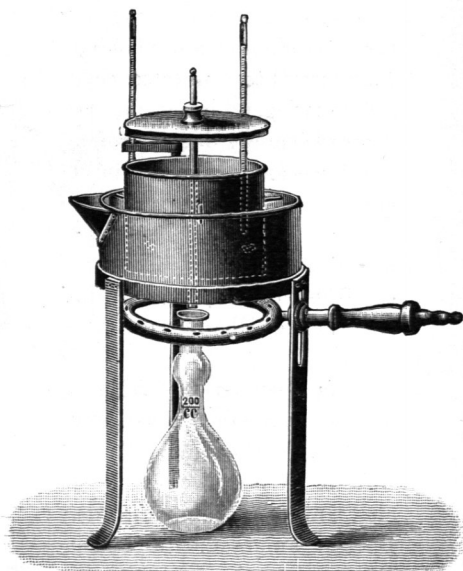


Fig. 31 II. Englersches Viskosimeter.

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

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

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

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

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

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

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

5. Bestimmung des Wassergehaltes.

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

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

η. Bestimmung des Schmutzgehaltes.

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

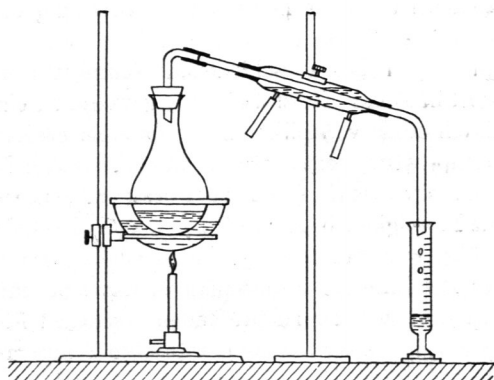


Fig. 32. Apparat von Hofmann-Marcusson zur Wasserbestimmung.

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

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

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

θ. Bestimmung des Raffinationsgrades.

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

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

κ. Bestimmung des Aschengehaltes.

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

b) Die wichtigsten flüssigen Brennstoffe.

Erdöl und daraus hergestellte Produkte.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Man kann hierbei zwei Haupttypen unterscheiden:

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

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

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

Hierher gehören insbesondere folgende²⁾:

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

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

¹⁾ Auch Paraffinkohlenwasserstoffe oder kurz Paraffine genannt.

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

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

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

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

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

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

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

Die Hauptprodukte der fraktionierten Destillation der Rohöle sind:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Benzine sind

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die aus dem Erdöl erhältlichen Schmieröle werden später besprochen werden.

Die Teere und die aus ihnen gewonnenen Produkte.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die Elementarzusammensetzung der Steinkohlenteere ist aus folgender Tabelle ersichtlich:

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

Verarbeitung des Steinkohlenteers.

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

Die zunächst erhaltenen Destillationsprodukte sind:

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

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

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

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

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

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

Heute liefern die Koksofengase mehr Benzol als die Steinkohlenteere.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die wichtigsten hierher gehörenden Handelsprodukte sind:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Daß sich das Verfahren zur Kohlenflüssigung nach Bergius be-

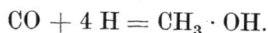
¹⁾ Katalysatoren sind Substanzen, die ohne selbst bleibend verändert zu werden, auf den Verlauf chemischer Reaktionen derart einwirken, daß die Geschwindigkeit verändert wird. Praktisch kommt nur die Beschleunigung der Reaktion in Betracht (durch positive Katalysatoren).

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

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

d) Synthetische Verfahren zur Herstellung flüssiger Brennstoffe.

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



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

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

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

Anhang. Antiklopfmittel.

In hochkomprimierenden Motoren verbrennen die Benzine manchmal explosionsartig, bevor der Zündfunke das Gasgemisch zur Entzündung gebracht hat. Der Motor zeigt dann keinen ruhigen Gang, er klopft¹⁾. Ganz geringe Mengen mancher Zusätze vermögen das Klopfen zu verhindern. So wird unter dem Namen *Motalin* Benzin mit einer kleinen Beimengung von Eisencarbonyl $\text{Fe}(\text{Co})_5$ in den Handel gebracht. In Amerika wird auch das höchst giftige Bleitetraäthyl $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ zu dem gleichen Zwecke benützt (1 Teil auf 1000 Teile Benzin).

3. Gasförmige Brennstoffe.

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

Die Hauptvorteile der Gasfeuerung sind folgende:

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

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

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

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

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

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

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