

DIE KRAFTSTOFFE UND IHRE HERSTELLUNG

Der chemische Aufbau der Kraftstoffe

Kraftstoffe sind alle brennbaren Stoffe, die sich zum Betrieb von Wärmekraftmaschinen eignen. Sie enthalten chemisch gebundene Energie, die der Motor in einem geeigneten Betriebsverfahren in mechanische Arbeit überführen kann. Damit sind sie unterschieden von den Brennstoffen, deren Energie außerhalb einer Kraftmaschine durch Verbrennung in Wärme umgewandelt wird. (Beispiel: Dampfmaschine.) Im Sprachgebrauch werden allerdings auch vielfach Kraftstoffe als Brennstoffe bezeichnet.

Brenn- und Kraftstoffe werden in verschiedenen Formen den Vorräten der Erde entnommen, wo sie als gespeicherte Sonnenenergie, sei es als umgewandelte pflanzliche Körper, wie bei Kohle und Torf, oder als zersetzte Tierkörper, wie im Erdöl, lagern. Die Kraftstoffe stellen solche Energie in besonders konzentrierter Form dar. Sie wird durch Verbrennung im Zylinder des Motors frei und dabei in Wärme umgesetzt, von der ein Teil in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann. Die Güte und das Ausmaß der Ausnutzung, den „Wirkungsgrad“ dieser Umwandlung werden nicht nur durch das Arbeitsverfahren des Motors (Seite 62), sondern sehr wesentlich auch durch Art und chemischen Aufbau des Kraftstoffes bestimmt.

Der Kraftverkehr verwendet überwiegend flüssige Kohlenwasserstoffe, d. s. Verbindungen der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff, als Kraftstoffe. Dies hat seinen Grund darin, daß solche Stoffe die höchste Verbrennungswärme besitzen, mit anderen Worten, daß sie je kg die größte Menge chemisch gebundener Energie enthalten und sie durch Verbrennung rasch und einfach freigeben. Weitere Vorzüge liegen darin begründet, daß die flüssigen Kraftstoffe sich einfach dosieren und mit der Verbrennungsluft mischen lassen, rückstandfrei verbrennen, praktisch unbegrenzt haltbar sind, sich einfach lagern und ebenso befördern lassen, mit einfachen Mitteln am Fahrzeug mitzuführen und stets betriebsbereit sind.

Nicht jeder flüssige Kohlenwasserstoff ist jedoch für die Verbrennung im Kraftfahrzeugmotor geeignet. Gewisse Anhaltspunkte dafür, ob eine Ver-

wendung im Otto- oder im Diesel-Motor möglich ist, ergeben sich zunächst aus dem Siedeverhalten (S. 89). Die gebräuchlichen Kraftstoffe, wie Benzin, Benzol, Gasöl, sind Gemische aus verschiedenen ähnlichen Kohlenwasserstoffen. Sie besitzen daher keinen Siedepunkt, sondern einen Siedebereich (vgl. hierzu auch S. 142). Der Siedebereich des Benzins liegt etwa zwischen 40 und 200° C, niedriger als der des Gasöles, das zwischen 180 und 350° C siedet. Der Siedebereich gibt einen groben Anhalt für die Molekülgröße der Kraftstoffe; jedoch beeinflusst der chemische Aufbau des einzelnen Kohlenwasserstoffes seinen Siedepunkt (vgl. z. B. Oktan und Iso-Oktan, S. 27). Ein anderer Kennwert der Kohlenwasserstoffe ist ihre Wichte. Im allgemeinen steigt z. B. bei Benzin-Kohlenwasserstoffen die Wichte mit Siedepunkt und Molekulargewicht. Doch fallen z. B. die aromatischen Kohlenwasserstoffe infolge ihres gedrängten Molekülbaues (vgl. S. 29) nicht unter diese Regel:

Der aromatische Kohlenwasserstoff Benzol C_6H_6 hat z. B. einen Siedepunkt von 80,4° C und eine Wichte von 0,879 bei 20° C, Cyklohexan C_6H_{12} einen Siedepunkt von 80° C, aber eine Wichte von 0,778, das normale Hexan C_6H_{14} dagegen einen Siedepunkt von 69° C bei einer Wichte von 0,662.

Einen weiteren Anhalt für den Aufbau der Kraftstoffmoleküle gibt neben dem Siedepunkt und der Wichte die Elementaranalyse. Sie zeigt, daß die handelsüblichen Kraftstoffe auf 100 Gewichtsteile Kohlenstoff unterschiedliche Mengen Wasserstoff gebunden enthalten, vgl. Bild 10. Gasöl besitzt z. B. auf gleichen Kohlenstoffgehalt bezogen bedeutend weniger Wasserstoff als das gasförmige Methan. Das Verhältnis Kohlenstoff (C) zu Wasserstoff (H), das C/H-Verhältnis, wird entweder nach dem Gewicht oder nach der Zahl der Atome ausgedrückt. Bei dem Atomgewicht des Kohlenstoffes von 12 und dem des Wasserstoffes von 1 errechnet sich z. B. das C/H-Verhältnis des Benzols C_6H_6 gewichtsmäßig aus $\frac{6 \cdot 12}{6 \cdot 1} = 12$, der Atomzahl nach jedoch $\frac{6}{6} = 1$; daraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 1:12. Die Ingenieure ziehen die erstere Rechnungsart vor, in chemischen Schriften wird man die zweite Form häufiger finden.

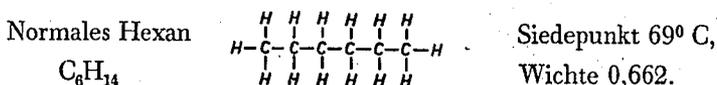
Vor allem aber ist der Aufbau des Moleküls, d. h. die Form, in der die Kohlenstoff- und Wasserstoff-Atome im Molekül aneinander gebunden sind, dafür maßgebend, ob ein Kohlenwasserstoff als Kraftstoff verwendbar und welcher Art von Motorener mit Vorteil zuzuführen ist.

Die Bindungsform der Kohlenwasserstoffe

Die Kohlenwasserstoffe der handelsüblichen Kraftstoffe werden nach der Bindungsform ihrer Moleküle in zwei große Gruppen eingeteilt:

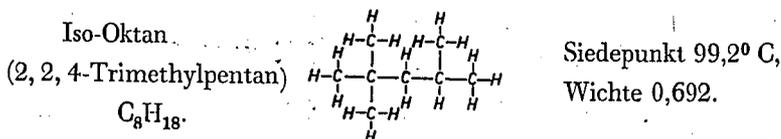
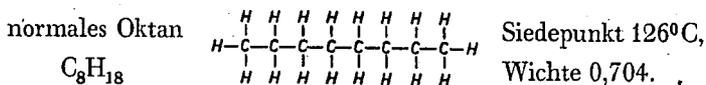
1. Kohlenwasserstoffverbindungen mit offenen Ketten (aliphatische Kohlenwasserstoffe).
2. Kohlenwasserstoffverbindungen mit geschlossenen Ketten (ringförmige oder zyklische Kohlenwasserstoffe).

Das Molekül der aliphatischen Kohlenwasserstoffe wird als eine gerade oder verzweigte Kette aus aneinander gereihten Kohlenstoffatomen angenommen, die mit Wasserstoffatomen besetzt ist. Als Beispiel für einen unverzweigten Kohlenwasserstoff dieser Art diene die Aufbauformel des normalen Hexans.



Aliphatische Kohlenwasserstoffe mit gerader Kette nennt man *Paraffine*. Die Kohlenstoffkette kann jedoch auch Abzweigungen aufweisen. Diese Kohlenwasserstoffe sind sogenannte *Isomere*¹⁾ der geradkettigen und werden als *Isoparaffine* bezeichnet.

Beispiel:



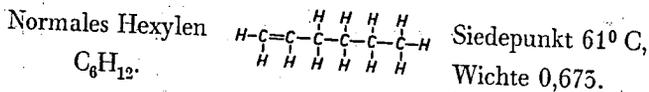
Isomere können infolge des verschiedenen Molekülaufbaues nicht nur, wie an den Beispielen des normalen und Iso-Okšanas zu sehen ist, Unterschiede im Siedepunkt und in der Wichte aufweisen, sondern auch sehr unterschiedliches Verhalten im Motor zeigen. So ist z. B. das Iso-Okтан um ein Vielfaches klopfester als das normale Okтан. Die Zahl der Isomeren, d. h. die Zahl der möglichen Verzweigungen steigt natürlich mit der Zahl der Kohlenstoffatome des Grundkohlenwasserstoffes. So hat z. B. von den

¹⁾ Isomere (von griech. isos = gleich und meros = Teil) sind alle Kohlenwasserstoffe, welche die gleiche Zahl an C- und H-Atomen enthalten und sich nur durch den Aufbau unterscheiden.

Paraffinen das Heptan C_7H_{16} 9 Isomere, für das Tridekan $C_{13}H_{28}$ sind aber bereits 802 Isomere möglich. Die große Zahl der Isomeren bei den höheren Kohlenwasserstoffen erschwert einerseits die Erforschung und die Analyse sowie auch die Herstellung und Prüfung dieser Kohlenwasserstoffe, andererseits bieten die Isomeren eine Fülle von Abwandlungen im chemischen, physikalischen und motorischen Verhalten, so daß sie für die Entwicklung von Kraftstoffen von Wichtigkeit sind.

Paraffine (und Iso-Paraffine) folgen der Summenformel $C_n H_{2n+2}$ und sind im chemischen Verhalten träge (ihr Name leitet sich ab von *parum affinis* = wenig verbindungsfreundlich). Sie finden sich vielfach im Erdöl und Braunkohlenteer und bilden den Hauptanteil der Benzine und Diesel-Kraftstoffe, und zwar sind Paraffine bis zu 4 C-Atomen im Erdgas, von etwa 5 bis 12 C-Atomen im Benzin, von 12 bis 20 in Diesel-Kraftstoffen und von 20 bis 38 im Schmieröl enthalten.

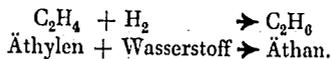
Paraffine werden als gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet, weil bei ihnen sämtliche freien Wertigkeiten (Valenzen) eines jeden Kohlenstoffatoms mit Wasserstoff- oder Kohlenstoffatomen verbunden, also abgesättigt sind. Kraftstoffe können aber auch in geringerer Menge kettenförmige Kohlenwasserstoffe in ungesättigter Form, also wasserstoffärmere, enthalten. Bei diesen sind die nicht durch Wasserstoff abgesättigten Kohlenstoffwertigkeiten durch sogenannte Doppelbindungen zwischen den C-Atomen ersetzt, wie dies z. B. aus der Aufbauformel für Hexylen zu erkennen ist.



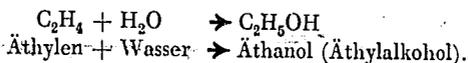
Ungesättigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe bezeichnet man als Olefine (der Name leitet sich von dem einfachsten Kohlenwasserstoff dieser Gruppe, dem „ölbildenden“ Äthylen C_2H_4 ab). Sie besitzen die Summenformel $C_n H_{2n}$ und können durch Wasserstoffanlagerung (Hydrierung) in die gesättigten Paraffine übergeführt werden. Auch Olefine mit zwei Doppelbindungen (Diolefine) kommen in Kraftstoffen vor. Olefine sind in Spalt- und Braunkohleschwelbenzinen, vor allem aber in den Spaltgasen der Krackanlagen, enthalten. Sie sind chemisch weniger beständig als die Paraffine und neigen dazu, sich durch Molekülballung (Polyanerieation) und Anlagerung anderer Elemente oder Verbindungen an die Doppelbindungen meist ins Ungünstige zu verändern (S. 112).

Diese Eigenart ist andererseits die Ursache dafür, daß die Olefine wichtige Ausgangsstoffe für verschiedene Umwandlungen, die kraftstofftechnisch wertvoll sind, bilden. Angewandt oder in großtechnischer Entwicklung sind folgende Umwandlungen:

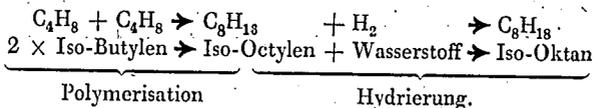
1. Anlagerung von Wasserstoff zur Bildung von Paraffinen (Hydrierung), z. B. die Hydrierung von Äthylen zu Äthan



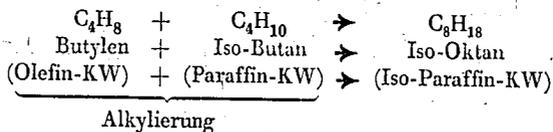
2. Anlagerung von Wasser zur Bildung von Alkoholen, z. B. die Herstellung von Äthanol aus Äthylen



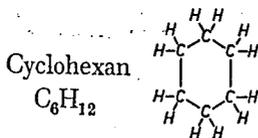
5. Anlagerung von Olefinen untereinander zu größeren Molekülen (Polymerisation), z. B. Gewinnung von Iso-Oktan aus Butylen durch Polymerisation und anschließende Hydrierung



4. Anlagerung von Olefinen an Paraffine und Aromaten (Alkylierung), z. B. Herstellung von Iso-Oktan aus Butylen und Iso-Butan



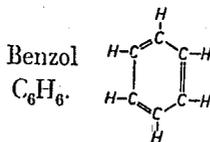
Die zyklischen Kohlenwasserstoffe besitzen im Ring angeordnete Kohlenstoffatome. Diese können als Naphthene der Kohlenstoffwertigkeit entsprechend mit Wasserstoff abgesättigt, oder als Aromaten mit Doppelbindungen ausgestattet und damit wasserstoffärmer sein. Als Beispiel für einen Naphthen-Kohlenwasserstoff diene das Cyclohexan.



Siedepunkt 80°C , Wichte 0,778.

Naphthene (der Name leitet sich von russ. Naphtha ab) finden sich in allen Benzinen und Diesel-Kraftstoffen. Sie besitzen günstige Klopfestigkeit.

Der bekannteste aromatische Kohlenwasserstoff ist das Benzol:



Siedepunkt 80°C , Schmelzpunkt $+4,5^\circ \text{C}$; Wichte 0,878.

Aromaten (der Name rührt her von aromatischen Stoffen [Harzen], aus denen die Stoffe dieser Gruppen zuerst gewonnen wurden, z. B. Benzol aus Benzoëharz) ergeben weiche, langsame Verbrennung und sind deshalb sehr gut im Otto-Motor als klopfhindernde Kraftstoffe oder Anteile, dagegen sehr ungünstig im Diesel-Motor zu verbrennen.

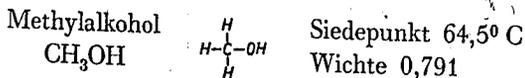
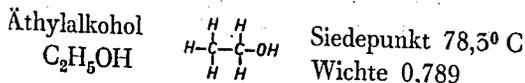
Je nach Art des Ausgangsstoffes und der Herstellung sind die Anteile der einzelnen Kohlenwasserstoffgruppen in den Kraftstoffen verschieden groß (vgl. Tafel 2). Sie bestimmen dadurch die physikalischen und chemischen Güteziiffern und das motorische Verhalten der Kraftstoffe.

Tafel 2. Beispiele für die Zusammensetzung von Auto- und Flugbenzinen nach Kohlenwasserstoffgruppen.

Kraftstoff	Paraffine	Olefine	Naphthene	Aromaten
	%	%	%	%
Autobenzine:				
Ein Handelsbenzin aus deutschem Erdöl	63	2	30	5
Ein Erstbenzin aus deutschem Erdöl...	73	0	25	2
Ein Handelsbenzin russischer Herkunft.	48	1	45	6
Ein Krackbenzin amerikanischer Herkunft	58	16	26	0
Flugbenzine:				
Borneo-Flugbenzin	37	~ 1	33	~ 29
Venezuela-Benzin	27	~ 0,5	72	~ 0,5

Sauerstoffhaltige Verbindungen (Alkohole, Äther und Ketone)

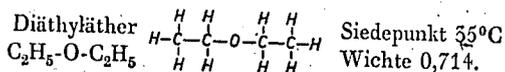
Die Kraftfahrt verwendet als klopfesten Mischungsanteil Äthylalkohol (Äthanol) und Methylalkohol (Methanol).



Die Alkohole gehören als sauerstoffhaltige Verbindungen nicht zu den Kohlenwasserstoffen. Sie enthalten eine an Kohlenstoff gebundene Hydroxylgruppe -OH, die auch im Wasser H-OH enthalten ist. Die niederen Alko-

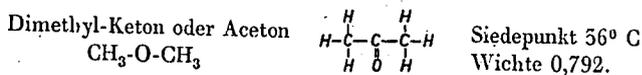
hole (mit wenig Kohlenstoffatomen) zeigen saubere Verbrennung und sind sehr klopfest. Mit wachsender Länge der Kohlenstoffkette werden sie in ihrem Verhalten den Kohlenwasserstoffen ähnlich. Da bereits ein Teil des Wasserstoffes an Sauerstoff gebunden ist und daher für die Verbrennung nicht zur Verfügung steht, besitzen sie geringere Heizwerte als die Kohlenwasserstoffe.

Andere sauerstoffhaltige Verbindungen, die als Kraft- oder Zündhilfsstoffe Verwendung finden, sind die Ä t h e r. Sie tragen beiderseits des Sauerstoffatoms organische Gruppen (Reste von Kohlenwasserstoffketten), z. B. (Di-)Äthyläther, der „Äther“ schlechthin.



Als hochklopfester Anteil für Flugkraftstoffe wurde der Isopropyläther $\text{C}_3\text{H}_7-\text{O}-\text{C}_3\text{H}_7$ vorgeschlagen (S.129).

Als klopfeste Kraftstoffanteile finden ferner noch Verwendung Stoffe aus der Reihe der K e t o n e, in denen der Sauerstoff mit beiden Wertigkeiten an ein C-Atom gebunden ist, z.-B.



Die wichtigsten Kraftstoffe

Benzin

Benzin ist der weitaus wichtigste Kraftstoff für die Kraft- und Luftfahrt; etwa 98% des Weltverbrauchs an Kraftstoffen werden durch Benzin gedeckt. Auch in Deutschland entfallen, trotz beträchtlicher Benzol- und Alkoholerzeugung, mehr als drei Viertel des Kraftstoffbedarfes auf Benzin.

Die Bezeichnung Benzin ist heute insofern nicht ganz eindeutig, als ein Unterschied besteht zwischen dem Erzeugnis Benzin und den Kraftstoffen, die handelsüblich als Benzin abgegeben werden. Seinem chemischen Aufbau und der Herstellung nach ist Benzin ein Gemisch von ketten- und ringförmigen Kohlenwasserstoffen, das etwa zwischen 40 und 200° C siedet und eine Wichte zwischen 0,720 und 0,760 aufweist. Der deutsche Verbraucher erhält jedoch gemäß den jeweils geltenden Vorschriften unter der Handelsbezeichnung Benzin meist Mischungen von Benzin mit Alkohol oder Benzol, oder aber mit Bleitetraäthyl versetztes Benzin, sogenanntes Bleibenzin (S. 72). So sind z. Zt.

in Deutschland (nicht aber im Protektorat Böhmen und Mähren und im Generalgouvernement) folgende Benzine vorgesehen:

F a h r b e n z i n N (Nordbenzin): Benzin + 15 Gewichtsprozent Kraftspiritus (Äthylalkohol),

F a h r b e n z i n S (Südbenzin): Benzin + höchstens 0,4 ccm je Liter Bleitetraäthyl.

Beide Benzine können gegebenenfalls zur Erzielung ausreichender Klopfestigkeit bis zu 10% Benzol enthalten. Nördlich einer festgelegten Linie, die etwa in der geographischen Breite von Berlin verläuft und dieses einschließt, wird nur Fahrbenzin N, südlich davon nur Fahrbenzin S abgegeben. Beide Benzinarten sind für den Betrieb der Otto-Fahrzeugmotoren gleich gut geeignet, der Übergang von einer Zone zur anderen erfordert daher keinerlei Umstellung der Maschine.

Für die besonderen Betriebsbedingungen des Flugmotors eignet sich das Fahrbenzin nicht. Deshalb wird besonderes F l u g b e n z i n erzeugt, das durch engere Siedegrenzen (etwa zwischen 45 und 160° C) und höhere Klopfestigkeit gekennzeichnet ist. Diese wird durch größere Anteile von Aromaten und Naphthenen und durch Zusatz von Bleitetraäthyl erzielt. Kennwerte für Benzine siehe Tafel 28, S. 157.

Mittelöle und Diesel-Kraftstoffe

Die Kraftstoffe für Glühkopf-, Mitteldruck- (Hesselman-) und Dieselmotoren sind miteinander chemisch eng verwandt. Es sind Kohlenwasserstoffgemische, die höhere Wichte besitzen und bei höheren Temperaturen sieden als die Benzine. Im allgemeinen kommen für Glühkopf- und Mitteldruckmotoren Anteile in Frage, die zwischen 150 und 300° sieden, während die Diesel-Kraftstoffe meist durch den Siedebereich zwischen 200 und 350° gekennzeichnet sind. Zu den ersteren zählen die unter der Bezeichnung Schwerbenzin und Petroleum verhältnismäßig genau, unter der Bezeichnung Traktorentreibstoff und Teeröl weniger genau gekennzeichneten Erzeugnisse.

Als Diesel-Kraftstoff diente früher in der Hauptsache Gasöl, ein Erdölzeugnis mit einem Siedebereich zwischen 200 und 350° und einer Wichte von 0,84 bis 0,88. Neuerdings werden in steigendem Maße Erzeugnisse der Hydrierung und Synthese gefahren, deren Kennwerte gegenüber dem Gasöl mitunter Abweichungen zeigen. Auch Braunkohlen- und Steinkohlenteeröle werden verwendet, letztere ihrer geringeren Zündwilligkeit wegen nur in langsamlaufenden ortsfesten und Einbau-Motoren. Kennwerte für Diesel-Kraftstoffe siehe Tafel 29, S. 158).

Für die Verbrennung im Diesel-Motor eignen sich am besten Kraftstoffe, die überwiegend aus Paraffinkohlenwasserstoffen bestehen. Größere Anteile an Olefinen und Aromaten stören den richtigen Ablauf der Diesel-Verbrennung. Solche Kraftstoffe sind dagegen in den weniger kraftstoffempfindlichen Glühkopf- und Mitteldruckmotoren mit Vorteil zu verwenden.

Motorenbenzol

Chemisch reines Benzol ist als Kraftstoff nicht geeignet, weil es im Motor rußt und bereits bei $+4^{\circ}$ gefriert. Motorenbenzol ist ein Gemisch von Benzol mit chemisch ähnlichen Kohlenwasserstoffen wie Toluol und Xylol in bestimmtem, in Werksnormen festgelegten Verhältnis. Es scheidet erst bei Abkühlung auf -15° Benzolkristalle ab und ist im Motor störungsfrei zu verwenden. Die Kohlenwasserstoffe des Motorenbenzols sind ausschließlich Aromaten. Seine Vorzüge sind in seiner hohen Klopfestigkeit, guten Flüchtigkeit und dem hohen Energiegehalt je Liter (Literheizwert S. 94) begründet. In diesen Eigenschaften liegt ein gewisser „Mehrwert“ des Motorenbenzols gegenüber dem Benzin, der auch durch den höheren Preis (etwa um 25%, auf den Liter bezogen) zum Ausdruck kommt. Motorenbenzol wird fast nur in Mischung mit Benzin verwendet. Die Klopfestigkeit des unvermischten Benzols ist so hoch, daß sie in den üblichen Motoren nicht voll ausgenützt werden kann.

Alkohol

In der Kraftfahrt wird hauptsächlich Äthanol (Äthylalkohol) C_2H_5OH verwendet. Hiefür kommt allerdings nicht der wasserhaltige denaturierte Spiritus, sondern nur reiner, wasserfreier („trockener“) Äthylalkohol in Frage. Auch Methanol (Methylalkohol) CH_3OH eignet sich als Kraftstoff. Alkohole besitzen hohe Klopfestigkeit und ergeben saubere Verbrennung. Sie werden im allgemeinen nur in Mischung mit Benzin (Fahrbenzin N, S. 32) gefahren, doch wurde auch durch Versuche die Möglichkeit, z. B. mit unvermishtem Methanol befriedigenden Betrieb zu erzielen, nachgewiesen.

Gemische, Mischungen und Rennkraftstoffe

Als *G e m i s c h e* bezeichnet man im allgemeinen Kraftstoffe, die sich aus verschiedenartigen Kraftstoffanteilen zusammensetzen, z. B. Benzin-Benzol-Gemische, Benzin-Alkohol-Gemische. Dagegen sind *Mischungen* Kraftstoffe mit Zusätzen, z. B. die Zweitaktermischungen aus Benzin und Öl. Kraftstoffgemische werden meist in Mischanlagen durch gründliches Mischen mittels Rührwerkes, Mischdüse oder durch Umpumpen hergestellt. Die

Markengemische sind so gründlich gemischt, daß bei richtiger Handhabung eine Entmischung nicht eintreten kann. Allerdings können sich Kraftstoffgemische, die Alkohol enthalten, entmischen, wenn sie größere Mengen Wasser aufnehmen und dann stark abgekühlt werden (S. 113).

Viele Zweitaktmotoren werden durch Öl, das dem Kraftstoff beigemischt wird, geschmiert. Diese *Zweitaktermischungen* bestehen aus dem für den Motor geeigneten Kraftstoff und einem Anteil Öl, dessen Größe sich nach der Bauart des Motors richtet. Im allgemeinen rechnet man

bei luftgekühlten Kraftradmotoren

während des Einfahrens 1 Teil Öl auf 15 Teile Kraftstoff
nach dem Einfahren 1 Teil Öl auf 20 Teile Kraftstoff,

bei wassergekühlten Kraftrad- und Kraftwagenmotoren

während des Einfahrens 1 Teil Öl auf 20 Teile Kraftstoff
nach dem Einfahren 1 Teil Öl auf 25 Teile Kraftstoff.

Maßgebend für das Mischungsverhältnis ist immer die Vorschrift in der Betriebsanleitung des Fahrzeuges.

Zweitaktermischungen werden meist unmittelbar vor dem Tanken entweder durch gründliches Rühren im Mischeimer oder mittels Mischdüse hergestellt. Zweckmäßig sind hierfür Öle mit mittlerer Zähigkeit.

Zur Verbesserung der Schmierung an denjenigen Teilen des Verbrennungsraumes, die von der Hauptschmierung nur unzureichend bedient werden (oberster Kolbenring, Ventilschäfte), werden den Otto-Kraftstoffen *Oberschmieröle* in geringen Zusatzmengen (meist 0,25 %) beigemischt, zur Unterstützung der Motorschmierung vielfach auch Präparate von kolloidalem Graphit zugesetzt.

Besonders abgestimmte Kraftstoffmischungen sind die *Rennkraftstoffe* für Otto-Motoren. Ihre Zusammensetzung wird weitgehend von den Bedingungen des Rennens bestimmt. Man wählt zu Langstreckenrennen eine Kraftstoffmischung mit hohem Energiegehalt je Liter, wenn dadurch weniger Tankaufenthalte notwendig werden oder sie überhaupt unterbleiben können. Hierfür kommen benzolreiche Gemische in Frage. Meist wird aber ohne Rücksicht auf den Verbrauch eine Kraftstoffmischung verwendet, die höchste Motorleistung ergibt. Dabei werden dem Motor im Bedarfsfalle Kraftstoffmengen zugeführt, die ein Vielfaches der üblichen Verbrauchsziffern ergeben. Kraftstoffmischungen für Höchstleistung weisen stets hohen Gehalt an Alkoholen (Äthanol oder Methanol, auch beide) auf. Die Vorzüge des Alkohols als Kraftstoff, nämlich die hohe Verdampfungswärme (Tafel 13, S. 91); die damit zusammenhängende starke Abkühlung des Kraftstoff-Luft-

Gemisches und Verdichtung der Ladung (Kompressoreffekt), schließlich die Innenkühlung des Motors sind für die heutigen Rennen unentbehrlich geworden.

Die genaue Abstimmung der Rennkraftstoffe, insbesondere der günstigste Ausgleich zwischen Motorleistung und Verbrauch, läßt sich nur unter den Bedingungen des Rennens ermitteln und erfordert genaue Kenntnis des Fahrzeuges und der Rennstrecke. Bei Mischungen ist zu berücksichtigen, daß Methanol sich in Benzin nur in geringen Mengen löst, so daß zweckmäßig Benzol oder Äthanol als Lösungsvermittler in die Mischung genommen werden muß.

Beispiele für praktisch verwendete Rennkraftstoffe gibt Tafel 5.

Tafel 5.

Beispiele für praktisch verwendete Rennkraftstoffe.
(Nach A. v. Philippovich)

Verwendet für von		Zusammensetzung in Raumteilen							Blei- tetra- äthyl- zusatz ccm/ltr.)*)	Oktan- zahl Motor- Verf.) **)
		Flug- benzin	Leicht- benzin	Benzol	Ätha- nol	Metha- nol	Zusätze (Toluol Rizinus Nitro- benzol)	Wasser		
Auto- rennen	Daimler- Benz, Auto- Union	-	5	22	10	60	3	-	-	-
Auto- rennen	Alfa Romeo, Maserati	-	-	-	50	35	1,2 bis 1,5	0,5 bis 3	-	-
Weltrek. Auto und Motor- boot	Camp- bell Eyston	-	20	70	-	10	-	-	0,88	95
Flugzeug- rennen	Fiat 2800 PS	55	-	22	23	-	-	-	1,54	90,5
hochbean- spruchte flüssig- keitsge- kühlte Flug- motoren	-	-	20	60	-	20	-	-	0,88 bis 2,2	95 bis 96

*) siehe hierüber S. 72 **) siehe hierüber S. 127

Speichergase (Flüssig- und Hochdruckgase)

Die Entwicklung hat in den letzten Jahren zu einer ansehnlichen Verwendung von Gasen im Kraftverkehr geführt. Dies hat seinen Grund vor allem im Anfall größerer Mengen von Flüssiggasen in der deutschen Kraftstoffwirtschaft und in Verbindung damit in der Erzeugung genügend leichter Flaschen für die Mitführung der verdichteten Gase am Fahrzeug.

Für die deutsche Kraftstoffwirtschaft ist der Einsatz der Speichergase ein Mittel, die deutsche Kraftstoffdecke zu vergrößern und dadurch zugleich flüssige Kraftstoffe, z. B. für die Kraftfahrt des Heeres, freizustellen. Aus diesen Gründen kann die Umstellung der Wagen auf Speichergasbetrieb nicht mehr dem Willen des Fahrzeugbesitzers überlassen werden. Sie wird vielmehr durch staatliche Maßnahmen besonders gelenkt.

Die Kraftfahrt verwendet Flüssiggase und Hochdruckgase. Die erstgenannten sind Gemische aus gasförmigen Paraffinkohlenwasserstoffen (Propan, Butan und Isobutan) und Olefinen (Propylen, Butylen und Isobutylen). Diese Gase lassen sich bei gewöhnlichen Temperaturen unter verhältnismäßig geringem Druck (2 bis 8 at) verflüssigen. Bei Atmosphärendruck sind sie gasförmig. Von diesen bei der Verwendung in Erscheinung tretenden beiden Aggregatzuständen leitet sich die Sammelbezeichnung Flüssiggas ab. Auch die Bezeichnung Treibgas hat sich für sie eingeführt.

Die handelsüblichen Flüssiggase sind meist Gemische aus Propan und Butan. Sie werden unter Bezeichnungen, die den Hersteller erkennen lassen (z. B. Leuna-Treibgas) in annähernd gleicher Beschaffenheit vertrieben.

Die Flüssiggase sind ungiftig, schwerer als Luft und greifen die für Leitungen und Druckregler verwendeten Metalle nicht an. Sie werden am Fahrzeug in Leichtmetallflaschen mitgeführt. Über den Betrieb mit Flüssiggas siehe S. 115. Von Hochdruckgasen fanden bisher Motorenmethan, Klärgas und Stadtgas (Leuchtgas) kraftfahrttechnische Verwertung. Diese Gase werden in Stahlflaschen meist unter einem Druck von 200 at gespeichert und deswegen als Hochdruckgase bezeichnet. Kennwerte für Speichergase siehe Tafel 30, S. 159.

Gegenüber den Flüssiggasen ist die Bedeutung der Hochdruckgase als Kraftstoff gering. Für Anfang 1940 kann der Bestand an flüssiggasbetriebenen Kraftfahrzeugen auf 40 000 geschätzt werden, denen etwa 1000 Fahrzeuge mit Hochdruckgas gegenüberstehen.

Generatorgase

Generatorgase sind Gasgemische, die aus Kohlenoxyd (CO), Wasserstoff (H_2) und Methan (CH_4) und zu etwa 60% aus unbrennbarem Kohlendioxyd (Kohlensäure, CO_2) und Stickstoff bestehen und durch Vergasung von festen Brennstoffen wie Holz, Koks, Torf, Kohle in Gaserzeugern (Generatoren) gewonnen

werden. Zum Unterschied von der Entgasung der Ausgangsstoffe bei der Schwelung (S. 53) und Verkokung (S. 54), bei der diesen durch Wärmebehandlung Gas entzogen wird und Koks anfällt, ist die Vergasung die möglichst vollständige Umwandlung des Brennstoffes in Brenngase, die im Motor verbrannt werden. Diese Generatorgase weisen infolge der hohen unbrennbaren Anteile geringeren Energiegehalt als die Schwel- und Kokereigase auf und werden daher auch Schwachgase genannt.

Die Kraftfahrt verwendet Gaserzeuger, die am Fahrzeug mitgeführt werden, in verschiedenen Ausführungsformen. In ihnen werden vorzugsweise vergast:

H o l z in Stücken von etwa 8 cm Kantenlänge (am besten hat sich lufttrockenes Buchenholz bewährt, während Weichholz nur in Verbindung mit diesem in kleinen Anteilen brauchbar ist),

H o l z k o h l e, durch Verkohlung von Buchen-, Birken- und Eichenholz, seltener von Nadelholz, in Retorten oder Meilern gewonnen,

S t e i n k o h l e n s c h w e l k o k s (Halbkoks), ein Nebenerzeugnis der Mitteltemperaturverkokung (S. 52) und

A n t h r a z i t, eine praktisch teerfreie Kohle.

Für die Vergasung in ortsfesten Generatoren, auch in Schiffen, werden außer den genannten Ausgangsstoffen auch Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Braunkohlenschwelkoks, Hochtemperaturkoks und Torf verwendet. Ausschlaggebend für die Brauchbarkeit im Generator ist eine möglichst gleichartige Körnung der Ausgangsstoffe.

Für den künftigen Ausbau des Betriebes mit Generatorgas wird in erster Linie Holz, sowohl Brennholz als auch Abfall aus den Betrieben der Holzverarbeitenden Industrie, in Frage kommen. Es wird damit auf einen Ausgangsstoff zurückgegriffen, der keinem endgültigen Abbau unterliegt, sondern stets von neuem zuwächst.

Kohlenstaub

Feinst gemahlene Kohle kann nach dem Diesel-Verfahren in Kohlenstaubmotoren verbrannt werden, doch konnten bisher trotz langwieriger und kostspieliger Entwicklungsarbeit, an der vor allem R. P a w l i k o w s k i beteiligt war, Motoren dieser Art für den Dauerbetrieb noch nicht gebaut werden. Neuerdings werden jedoch von der 1. Brüner Maschinenfabrik betriebsreife Kohlenstaubmotoren hergestellt. Die Hauptschwierigkeiten liegen im Angriff der Kohlenasche auf Kolben, Zylinder und Ventile; wäre doch z. B. bei einem 500 PS-Motor mit einem Kohleverbrauch von 0,5 kg/PS bei einem Aschegehalt der Kohle von 10% täglich 500 bis 600 kg Asche abzuführen. Durch verschleißfeste Werkstoffe können die störungsfreien Betriebszeiten verlängert werden.

Als aschefreier Kraftstoff für den Kohlenstaub-Diesel ist der nach dem Verfahren von Pott und Broche hergestellte Kohleextrakt (S. 51) geeignet, wenn sein Erweichungspunkt durch Behandlung mit Salpetersäure oder stickstoffhaltigen Gasen von etwa 200° C auf 1000° C erhöht wird und dabei gleichzeitig sein Zündpunkt von 550° C auf 200° C sinkt (IG.-Verfahren). Derartiger Extrakt dürfte bei entsprechender Feinvermahlung auch den Betrieb von Schnellläufern ermöglichen.

Fließkohle

Um die Schwierigkeiten, die sich der unmittelbaren Verbrennung von Kohlenstaub im Motor entgegenstellen, zu überwinden, wurde versucht, Kohlenstaub in gleichmäßiger Verteilung in Treiböl als sogenannte Fließkohle im Diesel-Motor, vereinzelt auch im Otto-Kraftfahrzeugmotor, zu verwenden. Von einer praktischen Anwendung von Fließkohle, die auch für Ölfuerungen angewandt wird, als Kraftstoff ist bisher nichts bekannt geworden.

Die Herstellungsverfahren

Da die Kraftstoffe, von den Alkoholen und einigen anderen Hilfsstoffen abgesehen, aus Kohlenwasserstoffen bestehen, sind sie grundsätzlich aus allen Rohstoffen, welche Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, also allen organischen Substanzen, herstellbar. Praktisch benützt man als kohlenstoffhaltige Ausgangsstoffe hauptsächlich Erdöl, Kohle und Teere und kohlenstoffhaltige Gase.

Am einfachsten ist die Erzeugung aus denjenigen Rohstoffen, in denen die Kraftstoffe von Natur aus fertig enthalten sind und nur abgetrennt werden müssen. Ein solcher Rohstoff ist das Erdöl. Die Abtrennung geschieht durch Erhitzen, wobei die einzelnen Anteile nacheinander verdampfen, worauf sie dann abgekühlt und nach Siedebereichen getrennt gesammelt werden. Diese Verarbeitung bezeichnet man als *Destillation*.

Ihr Nachteil liegt darin, daß sie jeweils nur so viel Kraftstoff liefern kann, als der Rohstoff enthält, in jedem Falle nur einen Bruchteil des verarbeiteten Rohstoffes. Außerdem fällt ein verhältnismäßig großer Rückstand an. Dieser besteht überwiegend aus Stoffen, deren Moleküle weitaus größer sind, als die Kraftstoffmoleküle. Deshalb sucht man die Ausbeute an Kraftstoffen dadurch zu steigern, daß man die größeren Moleküle durch Hitze und Druck, gegebenenfalls auch noch durch chemische Hilfsmittel (Katalysatoren) spaltet und in kleinere Moleküle überführt. Diese *Spalt- oder Crackverfahren* (nach dem engl. to crack = spalten, zertrümmern) eignen sich für die Verarbeitung von Erdölestillaten und von Teeren. Zu den Spaltverfahren zählt auch das Reformieren klopfender Benzine, die durch schonendes

Kracken in klopffeste Benzine umgewandelt werden. Temperatur, Druck und Katalysatoren beeinflussen die Art der Spaltung wesentlich.

Destillieren und Spalten sind Verfahren, die überwiegend mit Hilfe von Temperatur und Druck arbeiten und einen Abbau des Ausgangsstoffes bewirken. Ihnen gegenüber stehen mit stetig wachsender Bedeutung die Verfahren der Hydrierung und der Synthese, neuerdings auch die der Polymerisation und Alkylierung.

Unterwirft man die wichtigsten Rohstoffe, die für die Kraftstoffherzeugung in Frage kommen, wie Erdöl, Teere, Braun- und Steinkohle, der Elementar-

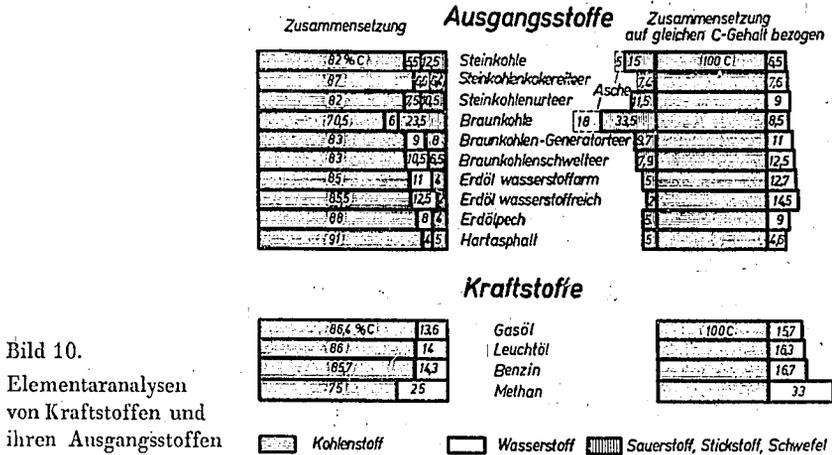


Bild 10.
Elementaranalysen von Kraftstoffen und ihren Ausgangsstoffen

analyse, so zeigt sich, daß diese Stoffe, wie aus Bild 10 hervorgeht, auf gleichen Kohlenstoffgehalt bezogen (rechte Bildhälfte) bedeutend weniger Wasserstoff aufweisen, als die daraus zu erzeugenden Kraftstoffe. Außerdem sind verschiedene andere Urstoffe, wie Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel, vorhanden, die im Kraftstoff nicht enthalten sein dürfen. Daher besteht die Aufgabe der **Hydrierung** darin,

1. eine Anlagerung von Wasserstoff an die einzelnen Moleküle zu bewirken (von Wasserstoff = lat. hydrogenium, d. h. „aus Wasser Entstandenes“, leitet sich die Verfahrensbezeichnung Hydrierung ab),
2. die großen Moleküle der Ausgangsstoffe zu verkleinern, sie zu spalten, und
3. Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff aus den Molekülen durch den Wasserstoff raffinierend abzuspalten.

Während die Hydrierung den Ausgangsstoff unverändert benutzt und die Kraftstoffe unmittelbar aus ihm herstellt, vergast die Kraftstoffsynthese den Ausgangsstoff zunächst und baut sodann aus dem Synthesegas, das Wasserstoff und Kohlenoxyd in richtig abgestimmtem Verhältnis enthält, die Kraftstoffmoleküle zusammen. Hierher zählen auch diejenigen Verfahren, die aus ungesättigten Kohlenwasserstoffen (Olefinen), wie sie bei den Spaltverfahren, der Hydrierung und Synthese anfallen, unter Druck und bei höheren Temperaturen, gegebenenfalls auch mit Katalysatoren, andere, besonders hochwertige Kohlenwasserstoffe erzeugen. Dies kann entweder durch Zusammenfügen von Olefinmolekülen geschehen, dann liegt eine Polymerisation (Molekülballung) vor. Erfolgt der Aufbau durch Vereinigung von Olefinen mit Paraffinen oder Aromaten, dann spricht man von einer Alkylierung. (Der Name leitet sich ab von Alkan, der weniger gebräuchlichen Sammelbezeichnung für kettenförmige Kohlenwasserstoffe.)

Bei allen Verfahren, die Destillation ausgenommen, liegt der Schwerpunkt in der Umwandlung der wasserstoffarmen Moleküle des Rohstoffes in die wasserstoffreicheren der Kraftstoffe. Dieser Weg ist um so länger und schwieriger, je größer der Unterschied des Wasserstoffgehaltes von Rohstoff und Kraftstoff ist.

Der Reaktionsablauf bei der Umwandlung von Rohstoffen in Kraftstoffe ist ziemlich verwickelt, weil fast nie ein Vorgang allein dabei stattfindet, sondern meist in Nebenreaktionen, häufig auch beabsichtigt, andere Vorgänge gleichzeitig ablaufen.

Die Vielfalt der Verarbeitungsmöglichkeiten, wie sie insbesondere durch die überaus vielseitige katalytische Druckhydrierung und die Synthese gegeben sind, ermöglicht Koppelungen der Verfahren, die durch besondere Wirtschaftlichkeit ausgezeichnet sind: Beispiele dafür sind z. B. die Koppelung der Steinkohlenschwelung mit der Synthese (S. 49) oder die der Braunkohlenschwelung (S. 53) mit der katalytischen Hochdruckhydrierung.

Hydrierung und Synthese und zum Teil auch die Spaltverfahren arbeiten mit Katalysatoren (Kontakten). Dies sind Stoffe, die als Reaktionsvermittler wirken und, während sie selbst unverändert bleiben oder aus der Reaktion unverändert hervorgehen, imstande sind, durch ihre Anwesenheit den Ablauf der erwünschten chemischen Vorgänge zu beschleunigen und auf das gewollte Enderzeugnis hinzulenken. Die Katalysatoren, im allgemeinen feste Stoffe, werden den Ausgangsstoffen beigemischt, bevor diese in die Reaktionsräume eintreten, oder sie werden in den Reaktionskammern fest angeordnet. Der Anwendung von Katalysatoren kommt deshalb besondere Bedeutung zu, weil Ausgangsstoffe und Endprodukte der Kraftstoffherzeugung sehr verwickelte Verbindungen darstellen, so daß unerwünschte Reaktionen zustande

kämen, wenn die Vorgänge nicht durch Katalysatoren gelenkt würden. Ohne Katalysatoren wären weder die heutigen Hochleistungskraftstoffe herzustellen, noch wäre es möglich, die Verarbeitung von Kohle zu Kraftstoffen in so großem Maßstab und mit jener großen Ausbeute durchzuführen, wie sie z. B. gerade die Hydrierung aufweist.

Die heutigen Möglichkeiten der Verarbeitung von Erdöl, Kohle und Teeren sind in Tafel 4 übersichtlich zusammengestellt.

Tafel 4. Verfahren der Kraftstoffherstellung.

Verfahren		Ausgangsstoff	Herstellbare Kraftstoffe
ohne Katalysator	mit Katalysator		
Destillation	-	Braunkohle	Schwelbenzin
		Steinkohle	Benzol, Motorenmethan
		Teere	Schwelbenzin, Diesel-Kraftstoffe
		Erdöl und Ölschiefer	Benzin, Mittelöle, Diesel-Kraftstoffe, Flüssiggas
Extraktion	-	Steinkohle Braunkohle	Benzin und Diesel-Kraftstoffe durch Hydrierung des Extraktes
Spalten		Erdöl	Spaltbenzin, Diesel-Kraftstoffe, Flüssiggas
		Teere	Benzin, Diesel-Kraftstoffe
Reformieren		klopfende Benzine	klopfeste Benzine
-	(Spaltende) Hydrierung	Kohle Teere Erdöl und Erdölrückstände	Benzin, Mittelöle, Diesel-Kraftstoffe, Flüssiggas
-	Synthese	Kohle, Koks, Grude	Benzine, Mittelöle, Diesel-Kraftstoffe, Flüssiggas, Methanol
-	Polymerisation	Restgase der Spaltverfahren, Hydrierung und Synthese	hochwertige Benzine
-	Alkylierung	Restgase der Spaltverfahren, Hydrierung und Synthese	hochwertige Benzine

Die Herstellungsverfahren für Motoren-Äthanol (Äthylalkohol, Sprit) gründen sich vorwiegend auf Gärungsvorgänge und sind auf Seite 55 behandelt.

Aus dem Kraftstoff sind gewisse Verunreinigungen des Ausgangsstoffes zu entfernen, die Störungen verursachen würden. Deshalb ist es erforderlich, entweder während oder nach der Erzeugung des Kraftstoffes eine Raffination (Reinigung) einzuschalten. Diese besteht meist in mehrmaligem Waschen mit Säuren und Laugen, gegebenenfalls auch in einer katalytischen Hydrierung, die sich hierfür besonders eignet, weil sie die Raffinationsverluste herabsetzt. Kraftstoffe, die mittels der katalytischen Hochdruckhydrierung (I.G. Verfahren) oder durch Synthese erzeugt werden, bedürfen im allgemeinen keiner nachträglichen Raffination, weil sie die Anlagen bereits in hoher Reinheit verlassen. Dies ist ein besonderer Vorzug dieser Verfahren.

Häufig ist eine zweite Destillation nach der Raffination erforderlich, um gelöste Harze (S. 108) zu entfernen und den Siedebereich des Kraftstoffes (S. 142) richtig einzustellen.

Benzinherstellung aus Erdöl

Erdöl ist ein Gemisch vieler Kohlenwasserstoffe mit verschiedenen Siedepunkten und Wichten, das in rohem Zustand kaum verwendbar ist. Es enthält bereits je nach seiner Herkunft bis zu 50% und mehr Benzin, durchschnittlich aber nur 15–20%, deutsche Erdöle zwischen 0 und 15% (Bild 7).

Destillation

Der Benzinanteil des Erdöles kann durch „fraktionierte Destillation“ abgetrennt werden, wobei gleichzeitig die schwereren Erdölzerzeugnisse wie Diesel-Kraftstoffe, Schmier- und Heizöle, sowie die festen Anteile wie Paraffin, Wachs und Asphalt, anfallen, (Bild 11, links).

Zu diesem Zweck wird das Erdöl z. B. in Destillierkesseln mittels Heizschlangen oder besonderen Vorwärmern erwärmt. Sobald die am niedrigsten siedenden Anteile verdampft sind, wird Wasserdampf eingeblasen und stärker erwärmt (bis über 400°). Der Dampfsatz erniedrigt die Siedetemperatur des zu destillierenden Erdöles, so daß die Destillation schonender verläuft. Das erhitzte Erdöl wird hohen Fraktionstürmen zugeleitet, in denen die leichten Erdölanteile stufenweise verdampfen, während die schwersten schmierölarartigen Anteile am Boden verbleiben. Die verdampften Anteile werden getrennt gesammelt und abgekühlt. Als Kennzeichen der einzelnen Destillate dient im Destillationsbetrieb deren Wichte. Die erreichbare Ausbeute und auch die Beschaffenheit des Destillierbenzins (auch Erstbenzin oder straightrun-Benzin genannt) hängen wesentlich von der Natur des einzelnen Erdöles ab. Die beim Destillieren anfallenden gasförmigen Kohlenwasserstoffe (Gasbenzine) werden teils als Flüssiggase verwendet, teils den flüssigen Benzin zur Verbesserung der Flüchtigkeit beigemischt.

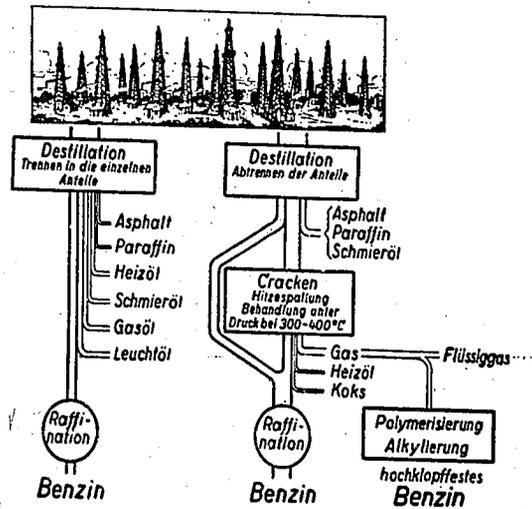


Bild 11.
Benzinherstellung aus Erdöl

Gasförmige Benzinkohlenwasserstoffe enthält auch das Erdgas, das aus manchen Erdölbohrungen strömt. Sie werden dem Erdgas durch Waschen mit Schwerbenzin, durch Verdichtung, durch Abkühlung oder durch Behandlung mit festen aufsaugenden Stoffen (z. B. aktive Kohle) entzogen. Neuerdings ist Erdgas ein wichtiger Ausgangsstoff für hochklopffeste Flugkraftstoffe geworden, in die es durch Polymerisation oder Alkylierung (S. 45) übergeführt wird.

Wärmespaltung (Cracken)

Der Vorteil der Spaltverfahren liegt in der wesentlich höheren Ausbeute an Benzin. Das Spalten wird meist im Anschluß an die direkte Destillation ausgeführt und ergibt dann eine Gesamtausbeute (Erstbenzin + Spaltbenzin) bis zu 40%, bei manchen Erdölen bis zu etwa 60%. Die Spaltverfahren sind bei vielen Erdölen anwendbar und haben große wirtschaftliche Bedeutung, weil sie ermöglichen, weitere zusätzliche Mengen wertvoller Leichtkraftstoffe ohne Mehrförderung an Erdöl zu erzeugen.

Die Spaltverfahren verarbeiten das vom Benzin befreite (getoppte) Erdöl durch neuerliche Behandlung unter höherem Druck und bei hoher Temperatur, neuerdings z. T. auch mit Kontakten (Bild 11, rechts). Dadurch werden die Kohlenwasserstoffe der Destillate oder Rückstände so aufgespalten, daß sich neue, benzinartige Kohlenwasserstoffe ergeben. Es vollzieht sich dabei eine

Zerlegung von hochsiedenden Kohlenwasserstoffen mit großen Molekülen (z. B. $C_{25}H_{52}$), in niedrigsiedende mit kleineren Molekülen (z. B. $C_{10}H_{20}$). Gleichzeitig lagert sich der Wasserstoff teilweise um, so daß einerseits wasserstoffreicheres Benzin, andererseits wasserstoffarmer Petrolkoks anfällt.

Die meisten Spaltverfahren arbeiten in „flüssiger Phase“, d. h. die Ausgangsstoffe werden durch hohen Druck am Verdampfen verhindert, so daß sich die Umsetzungen in flüssigem Zustand vollziehen. Dieser Arbeitsweise steht jene gegenüber, bei der man das Rohmaterial verdampft und die Dämpfe zersetzt. (Arbeiten in der „Dampfphase“.) Das Arbeiten mit Stoffen, die die Spaltung beschleunigen, z. B. die Einwirkung von Aluminiumchlorid oder anderen Katalysatoren bei niedriger Temperatur, ist bei beiden Arbeitsweisen möglich. Für die angeführten Verfahren gibt es eine große Zahl von technischen Ausführungsformen. Diese sind durch die verschiedenartige Beschaffenheit der Ausgangsstoffe und durch die vielen Möglichkeiten in bezug auf die Ausbeuten und die Art der Spalterzeugnisse bedingt.

Die durch Spalten gewonnenen Benzine sind durch einen beträchtlichen Gehalt an ungesättigten Kohlenwasserstoffen im allgemeinen klopffester als die Destillationsbenzine, bedürfen aber einer gründlicheren Reinigung als diese, damit harzbildende Anteile, die zum Verpichen der Ventile führen (S. 109), entfernt werden.

Die Spaltverfahren liefern je nach Art des Verfahrens unterschiedliche Anteile an Spaltgasen, Heizöl und Petrolkoks als zwangsläufig anfallende Neben-erzeugnisse. Die Spaltgase werden zum Teil als Flüssiggase verwertet. Sie sind neuerdings wertvolle Ausgangsstoffe für die Herstellung hochklopffester Flugkraftstoffe durch Polymerisierung und Alkylierung geworden.

Eine Behandlung von Benzin unter geringerem Druck und bei niedrigerer Temperatur, als sie beim Spalten von Erdöldestillaten angewendet werden, bezeichnet man als Reformieren. Hierbei werden höhere Anteile von Olefinen und Aromaten erzielt, die die Klopfestigkeit gegenüber dem Ausgangsbenzin verbessern.

Mit den Spaltverfahren verwandt ist die Gewinnung von Benzin durch Schwelenvon ölhaltigem Schiefer (S. 21). Es wird in Öfen durchgeführt, in denen der Schiefer getrocknet und durch heiße Schwelgase erhitzt wird und liefert nebst schwereren Erzeugnissen ein Benzin, das dem Spaltbenzin ähnelt.

Hydrierung

Die katalytische Hochdruckhydrierung (I.G.-Verfahren) bietet bei der Verarbeitung des Erdöles vollständige technische Freiheit. Sie vermag das Erdöl nicht nur nahezu restlos in Benzin oder andere Erzeugnisse umzuwandeln, sondern sie ermöglicht überdies, nach Wunsch das eine oder andere Erzeugnis überwiegend zu gewinnen. Auch schwefelreiche oder aus anderen Gründen

bisher schwer zu verarbeitende Öle können zu hochwertigen Erzeugnissen hydriert werden. Die Hydrierung verarbeitet ebenso günstig Erdölrückstände jeder Art und führt diese zwangsläufig anfallenden Nebenerzeugnisse in begehrte Kraftstoffe über. Aus diesen Gründen ist die katalytische Druckhydrierung von besonderer Wichtigkeit für die verhältnismäßig geringen Erdölvorkommen Deutschlands, für die Herstellung von Sondererzeugnissen und weiterhin für die pflegliche Behandlung der Welterdölvorräte.

Das katalytische Hochdruckverfahren wird bei Erdöl und Erdölrückständen in gleicher Weise durchgeführt, wie dies für die Verarbeitung von Kohle auf Seite 46 erläutert ist.

Polymerisierung und Alkylierung

Für die Polymerisierung (Molekülballung) kommen als Ausgangsstoffe die ungesättigten gasförmigen Kohlenwasserstoffe (Olefine) des Erdgases und der Gase, die bei der direkten Destillation und bei der Spaltung anfallen, in Frage. Diese Gase können bis zu 50% Olefine enthalten. Auch gesättigte gasförmige Kohlenwasserstoffe (Paraffine) können für die Polymerisation verwendet werden, wenn sie zuvor gespalten und in ungesättigte Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden.

Die Polymerisationsverfahren bringen die Ausgangsgase bei Drücken bis zu 50 at und Temperaturen bis zu 700° zur Reaktion. Haupterzeugnis ist klopfestes Polymerisationsbenzin, das allerdings weniger lagerbeständig ist als Destillationsbenzin. Daneben fallen geringe Mengen an Gasöl an. Die Ausbeute beträgt bei der Polymerisation von Olefinen 80–85%, bei gesättigten Kohlenwasserstoffen 50–80% der Ausgangsstoffe. Die Verbindung der Polymerisation mit der katalytischen Hochdruckhydrierung ermöglicht die Herstellung besonders klopfester Flugbenzinanteile.

Die Alkylierung arbeitet unter ähnlichen Bedingungen wie die Polymerisierung. Ausgangsstoffe für sie sind jedoch gesättigte Benzin-Kohlenwasserstoffe mit gerader Kette, ferner Aromaten, die mit Olefinen zu hochklopfesten Anteilen für Flugkraftstoffe verknüpft werden.

Benzinherstellung aus Kohle

Benzin kann aus Kohle ähnlich wie aus Erdöl durch verschieden geführte Wärmebehandlung (trockene Destillation) und durch katalytische Hochdruckhydrierung und Synthese gewonnen werden. Als Ausgangsstoffe dienen Braun- und Steinkohle und die bei deren Verarbeitung gewonnenen Teere

und Gase. Die Verfahren mit besonders hoher Ausbeute, Hydrierung und Synthese, bilden in Deutschland die Grundlage der Benzinerzeugung.

Benzin als Haupterzeugnis

Hydrierung

Die Erzeugung von Benzin aus Kohle durch Hydrierung d. h. Wasserstoffanlagerung (S. 39) ist einer der wichtigsten Zweige der deutschen Kraftstoffwirtschaft. Weitaus der größte Teil der in Deutschland erzeugten Benzine wird durch das Verfahren der katalytischen Hochdruckhydrierung gewonnen, das in Ludwigshafen und Oppau in jahrelanger mühsamer und kostspieliger Forschungsarbeit von der I.G.-Farbenindustrie Aktiengesellschaft entwickelt wurde (S. 12).

Die Katalysatoren für die Umwandlung der Kohle in Benzin müssen ungewöhnlich vielseitig arbeiten (S. 39) und werden im allgemeinen in fester Form angewandt. Mit Hilfe dieser Katalysatoren ist es möglich, den in der Kohle enthaltenen Kohlenstoff bis zu 97% abzubauen und in flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe überzuführen.

Aus 1 t Kohle können bei etwa 2000 cbm Wasserstoffaufwand 650 kg und mehr Benzin hergestellt werden. Für die Energie- und Wasserstoffherzeugung ist natürlich weitere Kohle nötig, so daß je t Benzin etwa 4 t Kohle benötigt werden.

Neben der Erforschung wirksamster Katalysatoren und der Ermittlung der geeigneten Reaktionsbedingungen durch die Chemiker stellte der Bau der großtechnischen Apparaturen den Ingenieuren und Physikern ganz ungewöhnliche Aufgaben. Die wärmetechnische Beherrschung des Verfahrens bot eine Fülle von Aufgaben, und ganz besondere Schwierigkeiten waren zu überwinden, bis die Werkstoffe den außerordentlichen Beanspruchungen des Verfahrens standhielten.

Die katalytische Hochdruckhydrierung kam zuerst in den zur I.G.-Farbenindustrie Aktiengesellschaft gehörenden Leuna-Werken im Großbetrieb zur Anwendung. Da Aufbau und Betrieb dieser Anlage richtungweisend für alle später erbauten Hydrieranlagen wurde, sei die Benzinerzeugung in Leuna hier zur Schilderung des Verfahrens herangezogen.

Für die Benzinerzeugung verarbeiten die Leuna-Werke überwiegend Braunkohle aus den in der Nähe gelegenen werkseigenen Braunkohlengruben. Ihre Hydrierung vollzieht sich in zwei Stufen, der Sumpffphase und der Gasphase, und weist folgende Arbeitsabschnitte auf:

1. Kohle + Wasserdampf = Wasserstoffgas
 2. Trockene Braunkohle + Schweröl (aus der Kohle-Hydrierung) = Kohlebrei

3. Kohlebrei + Wasserstoff (Sumpfphase) Druck 200 at
Temp. etwa 450°C
Katalysator = Mittelöl

4. Mittelöl + Wasserstoff (Gasphase) Druck 200 at
Temp. etwa 450°C
Katalysator = Leunabenzin + Flüssiggas

Die Braunkohle wird zunächst in einer Mühle (vgl. Bild 12) staubfein zerkleinert und anschließend im Kohletrockner getrocknet. Hierbei wird ein Katalysator zugesetzt. In der Kohleanreicherung wird dann mit Schweröl, das in der Sumpfphase anfällt, eine

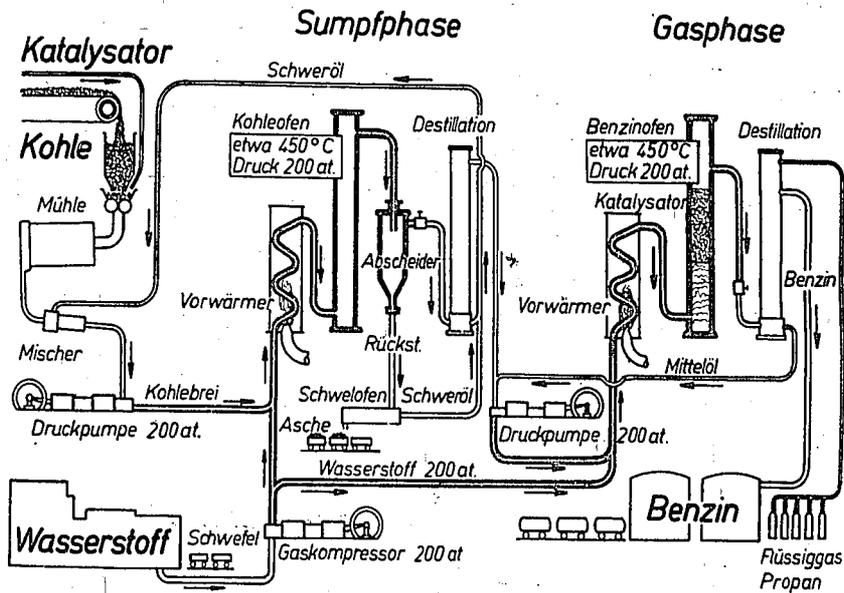


Bild 12. Benzinherstellung in Leuna

Kohlepaste „angerieben“. Diese fließt den Breipressen zu, die sie mit einem Druck von 200 at weiterpumpen. Hier wird auch der unter gleichem Druck stehende Wasserstoff eingeführt. Dieser wird durch Vergasung von Braunkohle mit Sauerstoff und Wasserdampf im Winkler-Generator gewonnen. Dabei fallen ansehnliche Mengen an Schwefel als Nebenerzeugnis an, die den Abgasen der schwefelhaltigen Braunkohle entstammen. Kohlebrei und Wasserstoffgas werden vorgewärmt und treten zusammen in den ersten Hochdruckofen, den Sumpf- oder Kohleofen ein. Diese Reaktionsbehälter,

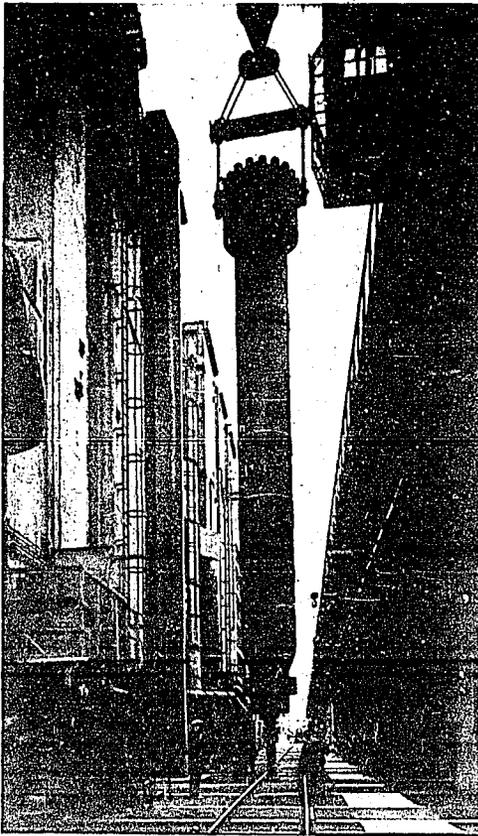


Bild 15.
Hochdruckofen

Bild 15, weisen bei einer Länge von 12 bis 18 m eine Wandstärke von etwa 15 cm und ein Gewicht von etwa 100 t auf. Sie besitzen im Innern mehrere Auskleidungen aus widerstandsfähigen Sonderstählen und die Einrichtungen zur Wärmeverteilung, Temperatur- und Druckmessung u. a. m. Mehrere Öfen sind jeweils in oben offenen Betonkammern vereint und bleiben länger als ein Jahr ununterbrochen im Betrieb.

Im Sumpfofen geht nun bei einer Temperatur von etwa 450° eine Spaltung der Kohlemoleküle vor sich. Im Augenblick der Spaltung lagert sich der im Überschuß vorhandene

Wasserstoff an die Spaltstücke an (Hydrierung). Der Katalysator, der bereits im Kohlebrei mit eingeführt wurde, lenkt diesen Vorgang in der richtigen Weise. Die Ausgangsstoffe, Kohle und Wasserstoffgas, wandeln sich hauptsächlich zu einem Gemisch verschiedener ölartiger Kohlenwasserstoffe um. Nach Abkühlung und Entspannung wird das Gemisch einer Trennung unterworfen. Zunächst werden Schwerölannteile, Asche und nicht abgebaute Kohle als Schlamm abgezogen. Durch Schwelen unter Wasserdampfzusatz gewinnt man hieraus Anreibeöl zurück, während die mineralische Asche abgeführt wird. Das vom Schlamm befreite Gemisch wird der Destillation zugeleitet. Hier erfolgt eine Zerlegung in Schwer- und Mittelöl. Das hier herausgezogene Schweröl wird ebenfalls der Kohleanreibeung zugeleitet; der weitaus größere Anteil, das Mittelöl, wird durch eine Druckpumpe nach dem zweiten Hochdruckofen, dem Benzinofen, gefördert. Hier wird erneut Wasserstoff zugeführt, und nun vollzieht sich wieder bei einer Temperatur von etwa 450° C und einem Druck von 200 at die weitere Spaltung und Wasserstoffanlagerung. Die Vorgänge werden durch einen fest eingebau-

ten, stückigen Katalysator in der gewünschten Richtung gelenkt. Die dampfförmigen Kohlenwasserstoffe werden abgekühlt, entspannt und einer Destillation zugeleitet. Diese trennt in Leunabenzin und in unverändert gebliebenes Mittelöl, das wieder dem Benzinofen zugeführt wird. Die leichten Kohlenwasserstoffe werden in besonderen Trennanlagen auf Flüssiggas (Propan, Butan, Leuna-Treibgas) verarbeitet.

Der Ablauf der Reaktionen läßt sich bei der katalytischen Hochdruckhydrierung durch Änderung der Betriebsbedingungen weitgehend beeinflussen und auf den jeweils zur Verfügung stehenden Ausgangsstoff einstellen. So wird z. B. bei der Steinkohlehydrierung oder bei der Verarbeitung von Braunkohlenteer mit Drücken bis zu 700 at, bei tieferen Temperaturen als **Tief-temperaturhydrierung** (TTH-Verfahren) unter 450° gearbeitet. In dieser Vielseitigkeit ist die wichtigste Voraussetzung für den im Vierjahresplan vorgesehenen Einsatz des Verfahrens gegeben. Es wird in einer großen Zahl von Werken zur Verarbeitung von Braunkohle, Steinkohle, Teer und Erdölrückständen angewendet. Außer der technischen Reife sprechen für seinen Einsatz folgende Gründe:

1. Es ermöglicht die höchste Ausbeute aller bisher bekannten Verfahren und läßt sich so lenken, daß aus dem Rohstoff jeweils die höchstmögliche Menge der gewünschten Erzeugnisse erzielt wird.
2. In einer Hydrieranlage können Kohle, Teere, Erdöl und deren Anteile gleich gut verarbeitet werden.
3. Das Verfahren ist elastisch. Eine Hydrieranlage kann in kurzer Zeit von einem Rohstoff auf den anderen umgestellt werden. Es können auch verschiedene Kraftstoffarten gleichzeitig in wechselndem Mengenverhältnis erzeugt und dabei die Beschaffenheit der Erzeugnisse nach Wunsch, also z. B. auf besonders hohe Klopfestigkeit oder bestimmte Flüchtigkeit, eingestellt werden.
4. Nicht nur Benzin, sondern auch alle anderen Mineralölerzeugnisse, wie Petroleum, Diesel-Kraftstoffe, Schmieröl, Heizöl, Paraffin usw., können unmittelbar hergestellt werden.

Synthese

Für die Benzinsynthese nach Fischer und Tropsch sind alle Rohstoffe verwendbar, die sich in Wassergas, ein Gemisch aus Kohlenoxyd und Wasserstoff, überführen lassen.

Die Anlagen der Synthese arbeiten entweder ohne Überdruck (Normaldruck-Synthese) oder mit Drücken, die jedoch weitaus niedriger liegen als die der Hochdruckhydrierung (Mitteldrucksynthese). Mit der Hydrierung hat das Verfahren die Anwendung von Katalysatoren (Kontakten) zur Lenkung des Reaktionsablaufes gemeinsam. Die Reaktionen der Synthese verlaufen bei Temperaturen in der Nähe von 200°.

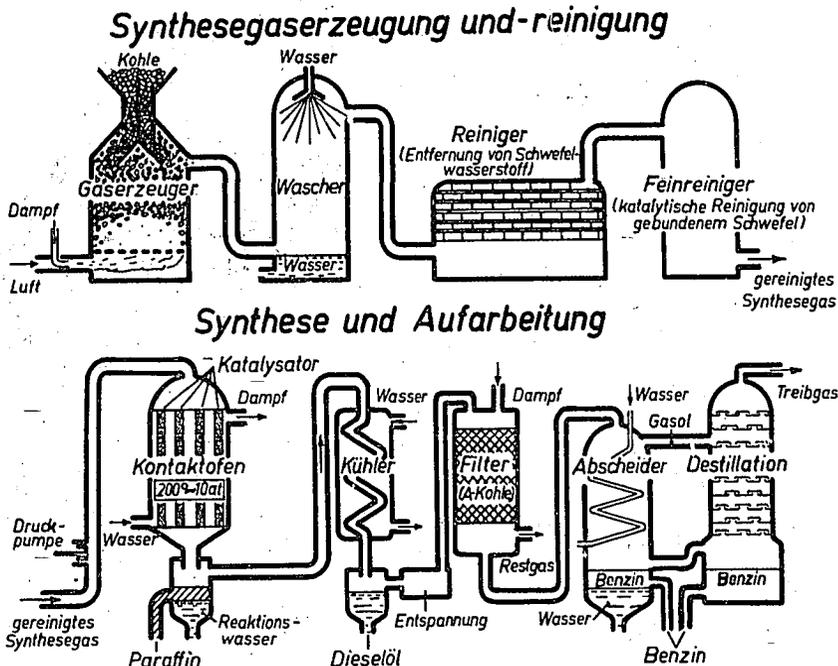


Bild 14. Schema der Benzinsynthese (Mitteldruck) nach Fischer-Tropsch

Der Gang des Verfahrens läßt sich an Hand von Bild 14 übersehen. Die obere Hälfte des Bildes zeigt die Erzeugung und Reinigung des Synthesegases. Nach verschiedenen Verfahren, zum Teil unter Druck, wird zunächst durch Behandlung von glühendem Koks mit Wasserdampf sog. Synthesegas hergestellt. Dieses enthält Kohlenoxyd und Wasserstoff im Verhältnis 1 : 2 abgestimmt. Für die Herstellung von 1 kg Benzin werden etwa 6 bis 8 m³ Synthesegas benötigt. Das Gas wird in einem Wäscher vorgereinigt und anschließend in besonderen Reinigern von Schwefelwasserstoff und organisch gebundenem Schwefel befreit, um eine „Vergiftung“ der Katalysatoren, d. h. ein rasches Nachlassen ihrer Wirkung hintanzuhalten.

Die untere Hälfte des Bildes umfaßt die eigentliche Synthese und die Aufarbeitung der gewonnenen Erzeugnisse am Beispiel der Mitteldrucksynthese. Das gereinigte Synthesegas wird durch eine Druckpumpe auf einen Druck von 8 bis 12 at verdichtet und tritt in den Kontaktofen ein. Hier bauen sich seine Anteile zu Kohlenwasserstoffen auf. Diese Vorgänge werden durch den Katalysator gelenkt. Er ist in Schichten angeordnet, die das Synthesegas durchströmt. Dabei werden erhebliche Wärmemengen frei und dem Kontaktofen durch Wasser entzogen, das ihn in Siederöhren durchfließt und dabei verdampft.

Die Reaktionen im Kontaktofen erbringen ein dampfförmiges Gemisch aus Kohlenwasserstoffen, das sogenannte Kogasin, und Wasser. Das Kogasin besteht zu 30 bis

45 % aus benzinartigen und 40 bis 65 % mittelölartigen paraffinischen Kohlenwasserstoffen. Die Ausbeute an letzteren steigert sich, wenn die Reaktionen bei Drücken von ~ 10 at vor sich gehen (Mitteldrucksynthese). Die Niederdrucksynthese arbeitet bei Atmosphärendruck, weist aber mit Ausnahme der Druckpumpe und Entspannung die gleiche Anordnung der Anlage auf.

Unmittelbar hinter dem Kontaktofen wird das bei der Reaktion entstehende Wasser abgeleitet. Außerdem wird hier bereits Paraffin gewonnen. Der größte Teil der entstehenden Kohlenwasserstoffe ist jedoch dampfförmig und wird einem Kühler zugeführt. Hier schlagen sich die schweren Anteile als Dieselöl nieder. Die leichten Anteile werden zunächst in einer Entspannungsanlage vom Druck befreit und dann einer Filteranlage zugeleitet, die mit aktiver Kohle gefüllt ist. Aktive (A-) Kohle weist eine große, wirksame Oberfläche auf (rd. 5000 m^2 je g Kohle) und besitzt die Eigenschaft, dampfförmige Benzinkohlenwasserstoffe festzuhalten und sich damit anzureichern. Das Restgas (überwiegend Methan) dagegen durchströmt die Filterschicht und kann entweder nach Aufarbeitung in einer zweiten Stufe erneut in den Gang des Verfahrens eingeleitet oder zur Energieerzeugung verwendet werden.

Wenn die A-Kohleschicht des Filters mit Benzinkohlenwasserstoffen gesättigt ist, werden diese durch eingeleiteten Dampf aus der Kohle abgetrieben und einem Abscheider zugeführt. Dort wird der Dampf durch Abkühlung niedergeschlagen und ein Teil der Benzinkohlenwasserstoffe als flüssiges Benzin gewonnen. Der weitaus größere Teil wird einer Destillation zugeleitet und dort in Flüssiggas (Gasol) und Benzin getrennt.

Die besondere Bedeutung der Benzin-Synthese für den Bergbau ist vor allem darin zu sehen, daß die vorausgehende Gaserzeugung keine besonderen Ansprüche an die Kohle stellt. Damit trägt die Synthese dazu bei, das Sortenproblem des deutschen Steinkohlenbergbaues (S. 19) einer Lösung zuzuführen. Zugleich kann der Wirkungsgrad des Verfahrens gesteigert werden, wenn man für die Gaserzeugung nicht die unmittelbare Vergasung wählt, sondern vor die eigentliche Synthese die Steinkohlenschwelung schaltet, eine Kopplung, auf die im Abschnitt Schwelung (S. 52) hingewiesen ist.

Kohle-Extraktion

Die Verfahren der Kohleextraktion sind der Hydrierung verwandt. Sie bewirken einen schonenden Abbau der Kohlesubstanz unter Aufnahme geringer Wasserstoffmengen und liefern einen festen, aschefreien, schmelzbaren und löslichen Extrakt. Die wichtigsten Extraktionsverfahren sind das von Pott und Broche und das von Uhde.

Das Verfahren von Pott und Broche ermöglicht bei Steinkohlen bis zu 90%, bei Braunkohlen bis zu 95% der Kohlesubstanz dadurch, löslich zu machen, daß die Kohle mit Tetralin und sauren Ölen (Phenolen, Kresolen u. a.) bei $370\text{--}430^\circ \text{C}$ und bei $60\text{--}70$ at Druck behandelt wird. Dadurch wird unter

Aufnahme einer geringen Menge Wasserstoff aus dem Tetralin die Kohle-
substanz etwas aufgespalten und leichter löslich.

Das Verfahren von Uhde verwendet zur Extraktion der Kohle verdichteten
Wasserstoff und erzielt als Extrakt das sogenannte Primärbitumen. Dieses
kann ebenfalls der Hydrierung als Ausgangsstoff dienen. Die Ausbeute liegt
für Braunkohle bei etwa 70 bis 75%, für Steinkohle bei etwa 80 bis 85%, auf
die eingesetzte Kohlenmenge bezogen.

Schwelbenzin und Benzol als Nebenerzeugnisse

Schwelung und Verkokung

Wird Kohle unter Luftabschluß erhitzt, so ergeben sich Kraftstoffe als Neben-
erzeugnisse. Diese Wärmebehandlung der Kohle bei Temperaturen bis etwa
600°, also unterhalb der Rotgluttemperatur, nennt man Schwelung
oder Tieftemperaturverkokung. Ihr verwandt ist die nur
auf Steinkohle angewandte Mitteltemperaturverkokung bei
Temperaturen zwischen 600 und 800°.

Eine Wärmebehandlung von Steinkohle bei Temperaturen zwischen 900 und
1500° wird als Hochtemperaturverkokung bezeichnet.

Die Haupterzeugnisse der Schwel- und Verkokungsverfahren sind Gas, Teer
und Koks. Die Ausbeuten sind je nach dem Rohstoff und dem Grad der Er-
hitzung verschieden. In jedem Falle tritt eine Zersetzung der Kohle ein. Die
Verkokung bei höheren Temperaturen führt zu stärkerer Zersetzung der
Kohle, so daß mehr Gas, dafür weniger Teer und Koks anfallen. Gleichzeitig
treten Molekülsplaltungen ein, die Ursache dafür sind, daß sich die Erzeugnisse
der Hochtemperaturverkokung von denen der Schwelung schon in der Art
ihrer Kohlenwasserstoffe deutlich unterscheiden.

Im Mittel werden gewonnen bei

Verschwelung von 1000 kg getrock- nete Braunkohle	rd. 150 cbm Gas	daraus 4 kg	} 7 kg Schwel- benzin Teeröl
	rd. 80 kg Urteer	daraus 5 kg	
	rd. 270 kg Grudekoks	daraus 52 kg	

Verschwelung von 1000 kg Stein- kohle	rd. 150 cbm Gas	daraus Flüssiggas	} 11 kg Schwel- benzin	
	rd. 90 kg Urteer	daraus 6 kg		
	rd. 750 kg Schwelkoks (Halbkoks)	daraus 5 kg		daraus 32 kg Gasöl
		daraus 18 kg Heizöl		

Verkokung von 1000 kg Steinkohle	rd. 500 cbm Rohgas	—	daraus rd. 9 kg	} 10 kg Benzol
	rd. 50 kg Teer	—	daraus rd. 1 kg	
	rd. 800 kg Koks			

Schwelfähig sind nur Ausgangsstoffe mit verdampfbaaren Anteilen wie bituminöse Steinkohle (nicht aber Anthrazit), Braunkohle, ferner auch Ölschiefer, Holz und Torf.

Die Schwelung von Braunkohle wird in Deutschland seit etwa 70 Jahren, hauptsächlich in Mitteldeutschland, betrieben. Ihr Haupterzeugnis ist der Ur- oder Schwelteer, der u. a. auch als Ausgangsstoff für die Hydrierung dient. Auf die Kohle bezogen, sind die unmittelbar aus der Schwelung zu gewinnenden Benzinmengen gering.

Die Schwelung von Steinkohle, deren Haupterzeugnis der Schwelkoks (Halbkoks) ist, war vor Jahren in Deutschland versucht worden, erwies sich aber als nicht wirtschaftlich, weil Art und vor allem Menge des Schwelkokes Absatzschwierigkeiten bereiteten. Die Zusammenfassung aller Möglichkeiten der deutschen Kraftstoffherzeugung im Vierjahresplan hat ihr nunmehr eine neue Entwicklung gebracht.

Der Aufschwung der Schwelindustrie kommt am besten in der Schwelteererzeugung zum Ausdruck, die sich von 1933 bis 1938 verfünffachte und 1938 etwa 1 Million t erreichte, wovon der größte Teil aus Braunkohle gewonnen wurde.

Die Bedeutung der Schwelverfahren für die deutsche Kraftstoffwirtschaft dürfte künftig in ihrer Koppelung mit Hydrierung und Synthese liegen. Diese Verfahren sind in der Lage, die Erzeugnisse der Schwelung weiterzuverarbeiten und damit z. B. die Wirtschaftlichkeit der Steinkohlenschwelung wesentlich zu verbessern.

Die Koppelung der Schwelung mit den neuzeitlichen Verfahren der Hydrierung und Synthese und die Verwendung der Schwelzeugnisse ist z. B. für die Steinkohlenschwelung in Tafel 5 veranschaulicht.

Im Gegensatz zur Schwelung, deren Ziel die möglichst hohe Ausbeute an Teer ist, liegt das Ziel der Hochtemperaturverkokung in der Gewinnung des Kokes, der dann in den Hochöfen zum Erschmelzen des Roheisens dient. Daher ist Benzol nur ein Nebenerzeugnis der Kokerei und in seiner Menge von der Eisenerzeugung abhängig. Es wird hauptsächlich aus dem Koksofen-

Tafel 5. Koppelung der Steinkohlen-Schwelung mit Hydrierung oder Synthese.

Schwel- erzeugnis	Verwendung		
	in der Schwelung	in der Hydrierung	in der Synthese
Schwelgas	Beheizung der Schwelöfen, Abtrennung von Flüssiggas und Schwelbenzin, Beimischung zu Ferngas	—	—
Urteer	Abtrennung von Schwelbenzin und Gasöl	Ausgangsstoff für die Hydrierung	—
Schwelkoks	Generatorgaserzeugung und Hausbrand	Wasserstoffherstellung, Wärmeerzeugung	Ausgangsstoff für Synthesegaserzeugung

gas mittels Öl ausgewaschen, daneben auch bei der Teerdestillation abgetrennt. Es ist gelungen, durch Absaugen der Gase aus dem Innern des Koksofens (Still-Verfahren) die Zerstörung des Benzols durch die Berührung mit den heißen Kammerwänden zu verhindern und dadurch die Ausbeute an Motorenbenzol zu steigern. In den Gasanstalten der großen Städte wird Benzol ebenfalls als Nebenerzeugnis der Verkokung der Steinkohle gewonnen, doch sind die hier anfallenden Mengen gering im Vergleich zu der Benzolerzeugung der Kokereien.

Neuerdings wurden Verfahren entwickelt, um auch die Braunkohle durch Hochtemperaturverkokung zur Erzeugung von Stadtgas (Leuchtgas) heranzuziehen. Hierbei fallen benzolartige Kohlenwasserstoffe an. Die Koppelung mit der Synthese (S. 49) ist auch hier wirtschaftlich von Vorteil. Das anfallende Braunkohlenbenzol kann dem Synthesebenzin zur Verbesserung der Klopfestigkeit zugemischt werden.

Herstellung von Mittelölen und Diesel-Kraftstoffen

Die Herstellung der Mittelöle und Diesel-Kraftstoffe ist wegen ihres dem Benzin verwandten chemischen Aufbaues praktisch die gleiche wie für Benzine. Es genügt daher, hier eine Übersichtstafel über die Herstellungsverfahren für Mittelöle und Diesel-Kraftstoffe anzuführen, während Näheres über die Verfahren jeweils im Abschnitt über die Benzinherstellung nachgelesen werden kann.

Tafel 6. Herstellung von Mittelölen und Diesel-Kraftstoffen

Ausgangsstoff	Erdöl		Kohle					
			Braunkohle		Steinkohle			
Verfahren	Destillation (S. 42)	Spalten (S. 43)	Schwe-len (S. 53)	Hydrie-ren (S. 46)	Schwe-len (S. 53)	Hydrie-ren (S. 46)	Syn-these (S. 49)	Extrak-tion (S. 51)
Kraftstoffe für Mittel-druckmoto-ren (Glüh-kopf, Hessel-man u. a.)	Schwer-benzin Petro-leum Trak-toren-treib-stoff		aus dem Teer: Solaröl Braun-kohlen-teeröl	Schwer-benzin Petro-leum Trak-toren-treib-stoff	aus dem Urteer: Naph-thalinöl Stein-kohlen-teeröl	Schwer-benzin Petro-leum Trak-toren-treib-stoff	Schwer-benzin Trak-toren-treib-stoff	
Diesel-Kraftstoffe	Gasöl	etwas Gasöl	aus dem Teer: Braun-kohlen-teeröl Paraf-finöl	Diesel-Kraft-stoff	aus dem Urteer: Stein-kohlen-teeröl Anthra-zenöl	Diesel-Kraft-stoff	Diesel-Kraft-stoff	Diesel-Kraft-stoffe durch Hydrie-rung des Kohle-extraktes

Hydrierung und Synthese vermögen Diesel-Kraftstoffe von besonders hoher Zündwilligkeit (S. 83) zu liefern. So liegen z. B. die zwischen 200 und 320° siedenden Anteile des Kogasins in der Zündwilligkeit so günstig, daß die vorhandenen Motoren sie nicht auszunützen vermögen. Man vermischt deshalb ungenügend zündwillige Diesel-Öle damit und erzielt dadurch Diesel-Kraftstoffe, die handelsübliche Beschaffenheit aufweisen.

Herstellung von Motoren-Äthanol

Der wichtigste Ausgangsstoff für die Herstellung von Äthanol sind die Kartoffeln, die rd. 18% Stärke enthalten. Diese wird durch Gärung in Zucker umgewandelt, der dann durch Hefe in Äthanol und Kohlensäure zerlegt wird. 1 t Kartoffeln liefert rund 100 kg reines Äthanol. Daneben ist die Ablauge der Zellstoffabriken als Ausgangsstoff von Bedeutung. Sie wird ebenfalls mit Hefe

vergoren. Bei der Herstellung von 1 t Zellstoff werden rd. 45 l Äthanol gewonnen.

Auch durch Zerlegung von Zucker, der durch Holzverzuckerung nach Scholler-Tornesch oder Bergius-Rheinau gewonnen wird, kann Äthanol gewonnen werden.

Soweit Methanol für die Krafftahrt verwendet wird, kommt hierfür hauptsächlich die synthetische Herstellung nach dem I.G.-Verfahren (Hydrierung von Kohlenoxyd, Seite 12) in Frage.

Für die Herstellung von Kraftsprit muß eine gründliche *Entwässerung* des *Alkohols* vorgenommen werden. Diese Aufgabe ist deshalb schwierig, weil die letzten Wasseranteile durch Abdampfen des Alkohols nicht abtrennbar sind, sondern mit diesem abdestillieren. Es gibt verschiedene Verfahren für die Entwässerung des Alkohols, die z. T. die Neigung von Salzen, Wasser zu binden, ausnützen, zum Teil die Bildung von Dreistoffgemischen (z. B. Alkohol, restliches Wasser und Benzol) bewirken, denen dann das Wasser durch Destillation entzogen werden kann.

Herstellung von Speichergasen

Flüssiggase

Die Flüssiggase fallen bei den verschiedenen Herstellungsverfahren für Kraftstoffe an. Für ihre Gewinnung kommen in Frage:

1. Erdgas (S. 43).

Diese Art der Gewinnung wird in Deutschland vereinzelt im hannoverschen Erdölgebiet angewandt. Das dort verarbeitete Erdgas enthält je Kubikmeter etwa je 100 g Propan und Butan.

2. Spaltgase der Erdölverarbeitung (S. 44).

Die meisten neueren Erdölraffinerien Deutschlands weisen Anlagen zur Abtrennung von Flüssiggasen aus den Spaltgasen auf. Etwa 6% der gewonnenen Erdölprodukte sind Flüssiggase.

3. Gasförmige Produkte der katalytischen Hochdruckhydrierung (S. 46).

Die erste Anlage für die Verarbeitung dieser Gase wurde bereits 1932 in den Leuna-Werken errichtet. Sie sind die wichtigsten und mengenmäßig bedeutendsten Ausgangsstoffe für die Flüssiggasgewinnung und bestehen aus gesättigten Kohlenwasserstoffen (Propan, Butan).

4. Gasole der Synthese (S. 49).

Das Ausbringen an Flüssiggasen ist etwa ebenso hoch wie bei der Hydrierung. Die Gasole der Synthese bestehen zum großen Teile aus ungesättigten Kohlenwasserstoffen (Propylen, Butylen).

5. Schwelgase der Braun- und Steinkohlenschwelung (S. 52).

In diesen Gasen befinden sich je Kubikmeter etwa 100 g Flüssiggase. Dieser Anteil ist gewöhnlich größer als der gleichzeitig anfallende Anteil an Schwelbenzin.

6. Kokereigase (S. 53).

Sie enthalten etwa 15 g Flüssiggase je Kubikmeter.

Die Flüssiggase befinden sich somit meist in Gemischen mit flüssigen Kohlenwasserstoffen. Die Gewinnung besteht daher hauptsächlich in einer Abtrennung, meist durch Auswaschen mit Waschöl oder durch Abscheidung mittels aktiver Kohle.

Hochdruckgase

Motorenmethan fällt bei der Zerlegung von Kokereigasen der Hochtemperaturverkokung (S. 54) an und wird diesen durch Tiefkühlung entzogen.

Von dem in den Gasanstalten der großen Städte ebenfalls durch Hochtemperaturverkokung gewonnenen Stadtgas (Leuchtgas) umfaßt der in der Kraftfahrt verwendete Anteil nur einen geringen Bruchteil der gesamten Stadtgaserzeugung.

Klärgas entsteht beim Ausfaulen des Schlammes von Abwässern. Es wird in erster Linie dem Stadtgas beigemischt und nur in geringem Ausmaß in Kraftfahrzeugmotoren verwertet.