

## Die Aussichten der elektrischen Vergasung von Brennstoffen.

Von Dr. ALOIS HELFENSTEIN, Wien.

(Eingeg. 10./1. 1922.)

Die Elektrovergasung besteht in der elektrischen Erhitzung fester oder flüssiger Brennstoffe unter Luftausschluß. Man kann praktisch zwei Arten von elektrischer Aufschließung unterscheiden, und zwar:

1. Die elektrische Entgasung, die nur eine teilweise Vergasung des Brennstoffes bezweckt und je nach Grad und Ziel ihrer Durchführung als trockene Destillation, als pyrogene Aufschließung oder als Verkokung bezeichnet wird. (Zwischen diesen Arten gibt es natürlich vielfache Übergänge je nach dem Brennstoff und den Produkten, die erzielt werden sollen.)

2. Die elektrische Vollvergasung, die die restlose Aufschließung des Brennstoffes durch Überführung in gasförmige Produkte anstrebt.

Die trockene Destillation und Verkokung von Brennstoffen mittels Elektrizität als Heizquelle hat im allgemeinen gegenüber der gewöhnlichen Entgasung vornehmlich rein anlagentechnische Bedeutung, da die Produkte der beiden Heizungsarten im wesentlichen die gleichen bleiben. Bei der pyrogenen Aufschließung dagegen ermöglicht die elektrische Heizung, besonders bei flüssigen Brennstoffen (Crackprozeß), gegenüber der gewöhnlichen Erhitzung Spezialeffekte in bezug auf Menge und Art der sich bildenden Produkte. Die Gewinnung möglichst wertvoller Körper ist hier einerseits das Ergebnis einer vorsichtigen stufenweisen pyrogenen Aufschließung, die eine genaue und rasche Temperaturregulierung erfordert, andererseits die Anwendung höherer Temperaturen, und hierin ist die elektrische Heizung der gewöhnlichen weit überlegen.

Bei der Vollvergasung wird die restlose Überführung des Brennstoffes in den gasförmigen Zustand durch Verwendung hydrierender oder kohlenstoffaufzehrender Mittel, wie z. B. Wasserdampf, Metalloxyde oder Kohlensäure bewirkt. Diese Aufschließungsbefehle dienen außer zur Kohlenstoffvergasung gleichzeitig zur Spaltung hochmolekularer Verbindungen, bedeuten also eine Unterstützung des pyrogenen Ab- und Aufbaues. Durch gleichzeitige Anwendung geeigneter Kontaktmittel sowie Druck wird die Erzielung bestimmter Gase gefördert. Der elektrischen Heizung eröffnet sich gerade hier ein Tätigkeitsgebiet, bei dem ihre Vorzüge voll zur Geltung kommen können. Bereits im Jahre 1901 wies Schmidt<sup>1)</sup> in einem Vortrage kurz auf die Aufgabe hin, die der Elektrizität in der Vergasung fester Brennstoffe erwachsen wird. Diese Anregung blieb damals unbeachtet, da in der Vorkriegszeit bei den noch unentwickelten Elektrizitätsnetzen und der Billigkeit hochwertiger Brennstoffe, diese Richtung wenig aussichtsreich erschien. Um so mehr ist es jetzt geboten, der Zukunft der Elektrogaserzeugung volles Verständnis entgegenzubringen, da diese an vielen Orten zu einer wirtschaftlicheren Auswertung der Kraftanlagen unter Heranziehung auch minderwertiger Brennstoffe führen kann.

Da sich wesentliche Unterschiede in den besonderen Vorteilen der elektrischen Heizung ergeben, je nachdem es sich um feste oder flüssige Brennstoffe handelt, sollen diese gesondert besprochen werden.

### A. Elektrogaserzeugung aus festen Brennstoffen.

Die Entgasung oder Verkokung fester Brennstoffe auf elektrischem Wege bietet außer anlagentechnischer Vorteile nur für die elektrische Aufschließung der flüssigen Anteile größere wirtschaftliche Bedeutung, die bei den flüssigen Brennstoffen besprochen werden soll. Ich kann daher direkt zur Vollvergasung übergehen.

Man unterscheidet zwei Arten von elektrischer Vollvergasung fester Brennstoffe, und zwar:

1. Erzreduktion durch Kohle im geschlossenen elektrischen Ofen.
2. Direkte Aufschließung fester Brennstoffe mit Wasserdampf oder Kohlensäure in elektrischen Gaserzeugern.

Die Bedeutung der Elektrogase von Reduktionsprozessen habe ich bereits in einer früheren Arbeit<sup>2)</sup> behandelt, und ich kann daher hier sofort die allgemeinen Grundlagen und ökonomischen Aussichten der direkten elektrischen Vollaufschließung fester Brennstoffe besprechen.

Die Elektrizität dient bei der Vollvergasung von Brennstoffen wie bei dem elektrothermischen Erzreduktionsverfahren ausschließlich als Wärmequelle. Sie soll den Brennstoff auf die Aufschließungstemperatur bringen und die zusätzliche Reaktionswärme liefern. Im Gegensatz zu den elektrothermischen Erzreduktionsprozessen kann hier auch hochgespannter Strom<sup>3)</sup> direkt verwendet werden, wenn auch für die meisten Zwecke schon aus Sicherheitsgründen Niederspannung sich besser eignet.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Elektrochemie 1901, S. 807 u. f.

<sup>2)</sup> Stahl u. Eisen 1921, S. 1481 u. f.

<sup>3)</sup> Ö. P. 84664.

Die Aussichten der Elektrogasgewinnung gründen sich auf folgende Vorzüge:

Die Elektrogasgewinnung bietet gegenüber der Retortenvergasung mit gewöhnlicher Außenheizung und den Gasgeneratoren mit Heißblasen der Beschickung die Vorteile einer einfacheren und gedrängten Anlage, kontinuierlichen Betrieb, Anwendung höherer Aufschließungstemperaturen und leichtere Regulierbarkeit der Temperatur. Vor allem hat man es in der Hand, die Heizung zu lokalisieren und daher örtliche Wirkungen zu erreichen, die mit einer Brennstoffheizung nicht möglich sind. Dazu kommt die Überlegenheit in bezug auf die Eigenschaften der erzielbaren Gase und die Verwendungsmöglichkeit von Brennstoffen, die nach dem alten Verfahren nicht wirtschaftlich vollvergast werden können. Zur Herstellung von Wassergas nach den gewöhnlichen Verfahren ist hauptsächlich Stückkohle nötig. Das entstehende Gas wird durch Heißblasen stickstoff-, sauerstoff- und kohlensäurehaltig und sein Heizwert (rund 2400 WE.) wird dadurch vermindert. Die Heizung allein verbraucht erhebliche Mengen Brennstoff. Durch Elektrizität ersetzt, fällt dieser Heizstoffverbrauch weg, und es ist die Möglichkeit gegeben, aus jedem Kohlenmaterial, vor allem auch aus wasserhaltigen, aschenreichen und pulverförmigen, ein reines Vollgas zu erzielen, das technisch stickstoff- und sauerstofffrei sowie kohlensäurearm erhalten werden kann. Es besteht im wesentlichen nur aus Wasserstoff, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffen und hat ohne Teerzerersetzung einen Heizwert von 2800–2900 WE. auf 1 cbm. Das Gas übertrifft daher in bezug auf Reinheit und Wärmewert auch das durch Verbrennung mit reinem Sauerstoff erzielbare Generatorgas, da hierbei eine wesentliche Kohlen säurebildung nicht zu vermeiden ist.

Die wirtschaftliche Überlegenheit und Zukunft der Elektrogasgewinnung liegt daneben in der weitgehenden Verwendbarkeit der elektrischen Überschusskräfte für diesen Zweck. Viele elektrische Kraftanlagen sind zeitweise nicht voll ausgenutzt, sondern verfügen vor allem des Nachts über große Leerkraften, die bei voller Verwendung entsprechend billig abgegeben würden. Gerade diese Überschusskräfte sollten künftig, wo immer möglich, zur Vollvergasung von Brennstoffen herangezogen werden. Da die elektrischen Gaserzeuger ohne größere Nachteile mit Belastungsänderungen und sogar mit häufigen Unterbrechungen arbeiten können, ist diese Verwendung sehr aussichtsvoll. Die Gasometeranlagen der Städte, die gegen Abend entleert sind, eignen sich dabei vorzüglich als chemisch-kalorische Speicher für die Nachtkräfte. Diese Zusammenarbeit würde neben einer Vollausschüttung der Kraftwerke die Herstellung eines hochwertigen stickstofffreien Verbrauchsgases ermöglichen, das wesentlich besser ist als das gewöhnliche Generator- oder Wassergas. Da die Leitungsnetze der Überlandzentralen direkt zu den Städten führen, die meist schon Gasometer und Gasleitungsnetze besitzen, so wären die Neuanlagen an vielen Orten auf die Gaserzeuger beschränkt. Dazu kommt als wichtigstes, daß, wie schon erwähnt, sich auch minderwertige Brennstoffe, die mehr oder weniger überall vorhanden sind, für die elektrische Vollvergasung eignen. Dies gilt für niederkalorische Braunkohle, Lignite, Torf, Feinanthrazit, Feinkoks, Schieferkohlen, Holzklein, Klaukokoks, sowie Abfallkohle (Hauskehricht und Räumasche von Lokomotiven usw.).

Die Aufschließung des Brennstoffes kann durch Wasserdampf oder Kohlensäure erfolgen. Wasserdampf bietet den Vorteil der allgemeinen Anwendungsmöglichkeit. Er kommt für die meisten niederkalorischen Brennstoffe schon deshalb ausschließlich in Betracht, weil bei stark wasserhaltigem Brennstoff (Torf, Braunkohle) gerade der beim Erhitzen entstehende Wasserdampf über den eigenen elektrisch hocheerhitzten Brennstoff geleitet werden kann, so daß die Gaserzeuger in erster Linie das Wasser des Brennstoffes auswerten und sozusagen gleichzeitig die Verdampfungsanlage für die Herstellung des Aufschließungsdampfes bilden. Die Aufschließungsbefehle können aber auch in gebundener Form, z. B. als Hydrate und Carbonate verwendet werden, wobei die elektrische Vergasung mit einer Metall- oder Metalloxydgewinnung verbunden ist.

Was die elektrischen Gaserzeuger anbelangt, sei bemerkt, daß dieselben erst am Anfang ihrer technischen Durchbildung stehen, und es soll hierüber in einer späteren Arbeit berichtet werden. Ganz allgemein eignen sich hierfür Strahlungsöfen, bei denen vorteilhaft Brennstoff oder Brennstoffprodukte nicht unmittelbar mit den elektrischen Heizelementen in Berührung kommen.

Im folgenden seien für einige häufig vorkommende feste Brennstoffsorten die rohen Wärmebilanzen zur Beurteilung der wirtschaftlichen Aussichten der Herstellung von Elektrogas aufgestellt. Hierbei ist Wasserdampf als Vergasungsmittel angenommen, da reine Kohlensäure nicht ohne weiteres vorhanden und daher zu teuer zu stehen kommt. Diese hat nur dann Aussicht auf eine ökonomische Auswertung, wenn sie in möglichst reiner Form, etwa als Abfallkohlensäure von elektrischen Calcineröfen oder aus Stickstoffgewinnungsanlagen nach dem Druckabsorptionsverfahren zur Verfügung steht und wenn es sich um die Darstellung von hochprozentigem Kohlenoxydgas für chemische Zwecke handelt. Ihre Be-

deutung ist jedenfalls für die elektrische Aufschließung flüssiger Brennstoffe wesentlich größer, weil sie dort die Abspaltung bestimmter Gasgruppen zum Ziele hat.

### Wärmebilanzen.

#### 1. Elektrische Braunkohlenvergasung.

Eine Braunkohle von 2500 WE. in je 1 kg enthalte:  $H_2O$  40%, C 25%, Asche 4%, Teer 3%, Vergasungsbestandteile 28%.

Bei Vollvergasung entstehen aus je 100 kg Braunkohle rund 110 cbm Rohgas mit 2800 WE./cbm.

Wärmeaufwand zur Vollvergasung.

40 kg Wasserverdampfung . . . . .	26000 WE.
36 kg Wasserzersetzung . . . . .	56600 "
3 kg Teerbildung und Verdampfung . . . . .	3000 "
	<hr/>
	85600 WE.

20% Wärmeverluste . . . . . 17120 "

Gesamtaufwand . . . . . 102720 WE.

Da 1 Kw. 865 WE. entspricht, so ergibt sich als Kraftbedarf zur Vergasung von 1 kg Braunkohle  $\frac{102720}{86500} = 1,19$  Kw.

Da 110 cbm Gas entstehen, werden für je 1 cbm Rohgas mit 2800–3000 WE. 1,08 el. Kw. und rund 1 kg Braunkohle gebraucht. Voraussetzung dabei wäre, daß der ganze Brennstoff restlos vergast wird, dies dürfte in der Praxis kaum erreicht werden, sondern es wird mit einem Verlust bis zu 10% zu rechnen sein, so daß je 1 cbm Rohgas mit 2800 WE. 1,1 kg Braunkohle und 1,08 el. Kw. verbraucht würden.

Da 2800 WE. 3,24 cal. Kw. entsprechen, so kann aus 1,1 kg Brennstoff mit 2500 WE. und 40% Wasser mittels 1,08 Kw. 1 cbm Gas mit mindestens 2800 WE. gewonnen werden. In diesem ist neben 90% des Wärmewertes des Brennstoffes, ein Teil (300 WE.) der aufgewendeten elektrischen Energie als kalorische Energie aufgespeichert.

#### 2. Elektrische Anthrazitvollvergasung.

Der Anthrazit (5200 WE. in je 1 kg) enthalte: 3%  $H_2O$ , 27% Asche, 67% C, 3% flüchtige Bestandteile.

##### a) Aufschließung mit Wasserdampf.

Aus 100 kg Anthrazit entstehen rund 250 cbm Reinwassergas.

100 kg Wasserdampf . . . . .	65000 WE.
100 kg Wasserzersetzung . . . . .	157200 "
	<hr/>
	222200 WE.

20% Wärmeverluste . . . . . 44440 "

Gesamtaufwand . . . . . 266640 WE.

Kraftbedarf zur Vergasung von 1 kg Anthrazit 3,083 Kw.

1 cbm Gas/2800 WE. erfordert 1,233 Kw. und 0,44 kg Anthrazit (inkl. 10% Verluste).

##### b) Aufschließung mit Kohlensäure.

100 kg Anthrazitaufschließung $CO_2(H_2O)$ . . . . .	210000 WE.
20% Verluste . . . . .	42000 "
	<hr/>
	252000 WE.

Kraftbedarf zur Vergasung von 1 kg Anthrazit 2,92 Kw.

1 cbm Gas 3000 WE. erfordert 1,17 Kw. und 0,44 kg Anthrazit (inkl. 10% Verluste).

#### 3. Elektrische Torfvergasung.

Der Torf enthalte Wasser 40%, Asche 4% und liefere trocken destilliert C als fixen Kohlenstoff 30%, Teer 6%, Gas trocken 20%.

Beim Vollvergasen von 100 kg Torf werden erzielt: rund 55 cbm  $CO$ , 45 cbm  $H_2$  und 20 cbm Vergasungsgase, also rund 120 cbm Gas mit rund 2800 WE.

Kraftaufwand: Wasserverdampfung . . . . .	26000 WE.
Wasserzersetzung . . . . .	62880 "
Reaktionen u. Teervergasung . . . . .	10000 "
	<hr/>
	98880 WE.

20% Wärmeverluste . . . . . 19780 "

Wärmeaufwand . . . . . 118660 WE.

Kraftverbrauch für je 1 kg Torf 1,370 Kw.

Somit werden je cbm Gas verbraucht 1,140 Kw. und rund 1,1 kg Torf (inkl. 10% Verluste).

#### 4. Elektrische Holzaufschließung.

100 kg Holz liefern trocken destilliert: 25 C, 36  $H_2O$ , 10,8  $CO_2$ , 4,6  $CO$ , 6,0 Teer, 1,6 Methylalkohol, 5,0 Essigsäure, 2,0  $H_2$ , 6,8 CnHm, Rest Stickstoff, Sauerstoff.

Bei Vollvergasung entstehen (Verluste abgerechnet)

136 cbm Gas mit rund 3000 WE.

Kraftverbrauch: Wasserverdampfung . . . . .	25200 WE.
Wasserzersetzung . . . . .	56600 "
$CO$ aus $CO_2$ . . . . .	16800 "
Reaktionen und 6 kg Teer . . . . .	12000 "
	<hr/>
	110600 WE.

20% Wärmeverluste . . . . . 22120 "

132720 WE.

Kraftverbrauch für je 1 kg Holz 1,534 Kw.

1 cbm Gas mit 3000 WE. braucht 1,13 Kw. und rund 0,8 kg Holz (inkl. 10% Verluste).

#### 5. Elektrische Mischgasbereitung durch Vollvergasung von Steinkohle.

100 kg Steinkohle liefern trocken destilliert: 65 kg Koks mit 12% Asche, 35 cbm Gas/5600 WE. und 7,5 kg Teer.

65 kg Koks mit Wasserdampf vergast, liefern 212 cbm Wassergas. Gesamtmenge bei Vollvergasung 247 cbm Gas/3200 WE.

Kraftbedarf: Verkokung . . . . . 50000 WE.

85,5 kg Wasserdampf . . . . . 59850 "

Wasserzersetzung . . . . . 135560 "

245410 WE. = 340,5 Kw.

1 kg Gaskohle braucht 3,405 Kw.

1 cbm Gas 3200 WE. braucht 1,38 Kw. und 425 g Steinkohle (inkl. 5% Verluste).

Bei diesen Aufstellungen ist für die Wärmeverluste in den elektrischen Zuleitungen, Ausstrahlung der Apparate und Verluste in Abgasen und Asche 20% der nötigen Energie eingesetzt. Dies entspricht ungefähr den in der Praxis bei mittleren elektrischen Öfen erzielbaren Werten und dürfte mit Rücksicht auf die bedeutend niedrigeren Temperaturen und der leichten Wärmeisolerbarkeit der Gaserzeuger eher günstiger sein.

Die Wärmebilanzen zeigen übereinstimmend, daß unabhängig von der ganz verschiedenen Qualität der zu vergasenden Brennstoffe, vermittels Elektrizität ein annähernd gleichwertiges Gas entsteht, zu dessen Erzeugung pro kalorische Kilowattstunde Inhalt, rund  $\frac{1}{3}$  el. Kw. erforderlich ist, während der Brennstoffverbrauch von dem Wärmewert desselben abhängt. Man kann schätzen, daß auf je 2500 WE. Inhalt des festen Brennstoffes 1 cbm Gas mit 2800–3000 WE. erzielt wird, woraus der Brennstoffverbrauch leicht annähernd zu ermitteln ist.

Da der Wassergehalt des Brennstoffes mit zur Vergasung herangezogen wird, ist derselbe in sehr großen Grenzen zulässig, und erst wenn er mehr wie das Eineinhalbfache des Kohlenstoffgehaltes des Brennstoffes beträgt, wird zur Verdampfung nutzlos elektrische Kraft verbraucht. Aus diesem Grunde werden gerade Torf und stark wasserhaltige Braunkohlen in erster Linie für die elektrische Vollvergasung in Betracht kommen.

Der Aschengehalt des Brennstoffes ist ebenfalls ohne wesentlichen Einfluß auf den Stromverbrauch für die Vergasung, da bei größeren Aschenmengen, die Aschenwärme zur Wasserdampfbildung mit herangezogen werden kann. Jedenfalls sind aschenreiche Anthrazite und ölhaltige Schiefer als Rohstoffe für die wirtschaftliche Vollvergasung ebenso aussichtsreich wie Torf und Braunkohle.

Aus der Wärmebilanz über Anthrazit (Aufstellung 2b) ergibt sich, daß durch Verwendung von Kohlensäure als Aufschließungsmittel zwar ein etwas höher kalorisches Gas bei annähernd gleichem Energieaufwand zu gewinnen ist. Diese thermische Überlegenheit ist aber so geringfügig, daß, wie schon gesagt, Kohlensäure nur in ganz bestimmten Fällen für die Aufschließung fester Brennstoffe in Frage kommen kann.

Die Aufschließung niederkalorischer fester Brennstoffe mit Wasserdampf ermöglicht jedenfalls bei Verwendung elektrischer Überschüßkräfte die Darstellung billiger hochkalorischer Gase, die sich für die meisten Verwendungszwecke eignen und das Leuchtgas bei genügender Carburierung ebenbürtig ersetzen. Da vielerorts die kalorische Kw. im Leuchtgas beinahe mit dem gleichen Preis bezahlt werden muß wie die elektrische Kw., wird dort das elektrische Verfahren große Aussichten bieten, da die kalorische Kw. in Form von Elektrogasen wesentlich billiger abgegeben werden kann. Für solche Überschlagerrechnungen kann zugrunde gelegt werden, daß mit 1 el. Kw. und 1 kg Braunkohle 2500 WE., 3 kalorische Kw. als hochkalorische Gase gewonnen werden.

Die Elektrogase fester Brennstoffe eignen sich infolge ihrer Reinheit und ihres Wärmeinhaltes besonders für folgende Verbrauchsgebiete:

1. Hochtemperaturfeuerungen. Da die Elektrogase wesentlich höher kalorisch sind als das gewöhnliche Generator- oder Wassergas, gestatten sie die Erzielung höherer Temperaturen und sind daher als Industriegas für Hochtemperaturprozesse hervorragend geeignet. Sie dürften auch geringere Abgasverluste ergeben. Zur Gasversorgung kommen in erster Linie Glashüttenbetriebe, keramische Industrie, Magnesit- und Elektrodenbrennöfen, Metallöfen (Martinöfen, Tiegelstahl- und Zinköfen usw.) in Betracht.

2. Chemische Prozesse. Das Elektrowassergas ist für die Reduktion von Erzen bei Tieftemperaturprozessen, sowie für chemische Synthesen verwendbar<sup>4)</sup>.

3. Beleuchtungs-, Koch- und Heizgas. Für diesen Zweck wird hauptsächlich wegen der Verteilungsanlagekosten und der bestehenden Einrichtungen (Gasometer, Gasleitungen, Brenner usw.) ein höherkalorisches Gas verlangt. Um das Elektrogas auch hierfür geeignet zu machen, kann die vor allem elektrisch leicht durchführbare pyrogene Aufschließung des Teers zu einer wesentlichen Erhöhung

<sup>4)</sup> Vgl. Stahl u. Eisen, 1921, S. 1572 u. f.

des Wärmewertes der Gase führen. Ferner hat man es in der Hand, einen Teil des Gases mit Nickel als Kontaksubstanz in Methan überzuführen, oder dem Elektrogas kann Ölgas oder Acetylen beigemischt werden. Das Acetylen stellt sich bei einer regelmäßigen Belieferung mit Carbid unter Verwendung von Rückverpackung und Allkörnung bei geringen Frachtauslagen billig genug. Durch solche Beigaben ist ein Mischgas erzielbar, das 4000 WE. und mehr pro cbm enthält. Dieses eignet sich in erster Linie für die Selbstversorgung kleiner Siedlungen mit Leuchtgas, da die elektrische Vollvergasung in Kleinapparaten durchführbar ist.

#### 4. Betriebsstoff für Motoren.

a) Rückgewinnung von Nachteilelektrizität im Tagbetrieb mittels Gasmotoren.

Es können bei 33% Nutzeffekt der Motoren auf 1 Kw. Nachtstrom resp. 1 Kw. Tagesstrom zurückgewonnen werden, und es würden hierzu rund 1,1 kg niederkalorischer Brennstoff (Torf oder Braunkohle mit 2500 WE.) verbraucht. Da Gasturbinen bei großen Einheiten einen höheren Nutzeffekt versprechen, dürfte diese Anwendung erst mit der großtechnischen Ausgestaltung der Gasturbinen von wesentlicher Bedeutung werden.

Diese Rückgewinnung von Nachteilelektrizität im Tagbetrieb ist aber mit der Aufstellung großer kostspieliger Gasometeranlagen verbunden, und die künftige Entwicklung in der Kraftakkumulierung wird daher mehr die Gewinnung flüssiger Brennstoffe aus festen in Aussicht nehmen. Die Herstellung flüssiger Brennstoffe dürfte wirtschaftlich hauptsächlich über die elektrische Vollvergasung der festen Brennstoffe führen, so daß auch dieses Anwendungsgebiet der Elektrogase Aussichten bietet.

b) Triebwagen. Infolge der leichten Komprimierbarkeit werden sich die Elektrogase auch für lokale Triebwagen mit Hochdruckbehälter eignen.

#### B. Elektrogaserzeugung aus flüssigen Brennstoffen.

Die elektrische Vergasung flüssiger Brennstoffe dürfte die elektrische Aufschließung fester Brennstoffe an praktischer Bedeutung durch die Gewinnung von hochwertigen Produkten und allgemeiner Anwendbarkeit noch überwiegen. Als flüssige Brennstoffe kommen sowohl Mineralöle, wie Tier- und Pflanzenöle in Betracht.

Der Elektrizität erwächst in erster Linie eine wichtige Aufgabe bei der Destillation der flüssigen Brennstoffe. Ihre Vorteile gegenüber der gewöhnlichen Brennstoffheizung bewegen sich dabei nach drei Richtungen. Einmal ist die elektrische Heizung weniger feuergefährlich, sodann bedeutet sie eine wesentliche Vereinfachung der Apparatur und eine Schonung derselben. Endlich gestattet sie eine Konzentrierung der Wärme und Feineinstellung der Temperatur und ist in dieser Beziehung auch dem hochgespannten Dampf mindestens ebenbürtig. Diese Vorzüge können vor allem für den Crackprozeß, d. h. die vorsichtige pyrogene Zersetzung zur vollen Geltung kommen. Die genaue und rasche Temperaturregulierung bedeutet eine schärfere Trennung der hochwertigen Fraktionen und die Möglichkeit einer kontinuierlichen Destillation bei großer Vereinfachung der Betriebsführung, Vorzüge, die die eventuell höheren Kosten der Elektrizität bei weitem aufwiegen. Beim elektrischen Cracken ist weiter nicht außer acht zu lassen, daß die Reaktionen im elektrischen Feld erfolgen, das für die Bildung hochwertiger Körper nicht bedeutungslos sein kann. Ebenso verspricht das elektrische Cracken im Gasstrom unter Heranziehung von Wasserstoff, Methan, Kohlenoxyd, Kohlensäure usw. wichtige Ergebnisse. Der billige Transport der Rohöle durch die Rohrleitungen zusammen mit der leichten Fernleitung der Elektrizität durch Hochspannung dürfte an vielen Orten die elektrische Verarbeitung der Rohöle ermöglichen. Außerdem kann ja gerade durch Rohölmotoren billige Elektrizität erzeugt werden, die in den Kosten jedenfalls mit der Dampfheizung wettbewerbsfähig ist.

Neben dem Crackprozeß ist die Elektrizität als Heizung auch für die Gewinnung von Ölen aus ölhaltigen Schieferen aussichtsreich. Die ölhaltigen Schiefer stellen bei ihrer Erhitzung ein Mittelding zwischen flüssigem und festem Brennstoff dar und zur Gewinnung der Öle ist es von Vorteil, wenn der ölhaltige Schiefer in feiner Verteilung rasch die Heizzone passiert und dabei genügend Wärme zur Verdampfung aufnimmt. Apparatetechnisch ist dies durch elektrische Heizung ungleich leichter zu erzielen und zu leiten als durch gewöhnliche Heizung. In diese Gruppe gehören auch Asphalte und Erdwachs, die bei der Vergasung als Flüssigkeiten zur Anwendung kommen.

Die elektrische pyrogene Aufschließung flüssiger Brennstoffe bietet heute um so größere Aussichten, als es durch das Bregeatverfahren gelingt, aus Gasgemischen, die bei gewöhnlichen Temperaturen flüssigen Anteile von den Reingasen restlos und billig zu trennen, und dies dürfte vor allem das elektrische Cracken von Dämpfen fördern. Es ist sogar denkbar, daß auf diesem Wege die direkte Rohölfeuerung durch vorgängige elektrische Rohölaufschließung unter Gewinnung der hochwertigen Anteile und Elektrogasheizung wirtschaftlich ersetzt werden könnte.

Ebenso vorteilhaft wie für die Destillation ist die Elektrizität als Heizmittel für die Vergasung flüssiger Brennstoffe, wo es sich also darum handelt, den Brennstoff ganz oder zum großen Teile in bei normaler Temperatur beständige Elektrogase überzuführen. Die Aufschließung kann im Gegensatz zu den festen Brennstoffen auch durch

bloße pyrogene Zersetzung stattfinden, und der Hauptvorteil der Elektrizität ist dabei neben der einfacheren Apparatur die Erzielung höherer Temperaturen. Für die elektrische pyrogene Zersetzung eignen sich ohne weiteres die bei der gewöhnlichen Ölgasbereitung verwendeten Öle, wie Erdöldestillate Fraktion 250–360° (Gasöl), Braunkohlenteer und Schiefersteerdeestillate, sowie die zur Blaugasbereitung verwendeten Pflanzenöle. Bei der gewöhnlichen pyrogenen Zersetzung wird Teer gewonnen, und Kohlenstoff als Koks oder Graphit ausgeschieden, so daß nicht der ganze Energieinhalt des flüssigen Brennstoffes zur Gasbildung ausgewertet wird. Diese Kohlenstoffabscheidung beträgt beispielsweise bei Gasöl etwa 6 kg je 100 kg Rohöl neben 25 kg Teer. Will man den ganzen Brennstoff vollvergasen, so muß mit Wasserdampf, Metalloxyden oder Kohlensäure aufgeschlossen werden. Diese Stoffe zehren dabei nicht nur den sich ausscheidenden Kohlenstoff auf, sondern sie beteiligen sich auch in hervorragender Weise direkt und indirekt an den Aufspaltungsreaktionen.

Die Einhaltung bestimmter und höherer Temperaturen ist zusammen mit der leichten Anwendung von Kontaksubstanz sowie Druck für die vollständige Aufspaltung von flüssigen Brennstoffen zu Gasen von ausschlaggebender Bedeutung, und gerade hierfür eignen sich elektrisch geheizte Apparate besonders. Zur Aufschließung kann, wie schon erwähnt, auch vorteilhaft Kohlensäure Verwendung finden, da sie bestimmte Spaltungsprodukte erreichen läßt.

Das Hauptbestreben der Anwendung der elektrischen Heizung zur Vergasung flüssiger Brennstoffe muß einerseits neben der pyrogenen Zersetzung und Vergasung von Qualitätsölen die Ausdehnung auf die direkte elektrische Verarbeitung der Rohöle (Trane, Rohpetroleum, Schieferöle, Pflanzenöle, Abfallöle), andererseits die Durchbildung kleiner handlicher Gasentwickler sein. Die elektrische Heizung ist deshalb zur Erreichung dieser Ziele besonders geeignet und wird diesen Gebieten eine große Anwendung sichern, weil die Erhitzung stofflos erfolgt und dadurch, wie schon gesagt, eine rasche Erreichung hoher Temperaturen, eine genaue Temperaturregulierung ohne lokale Überhitzung sowie eine rasche Ein- und Ausschaltung der Apparate ohne Nachteil ermöglicht wird. Dazu kommt die Reinlichkeit der Heizungsart, mit der die leichte Vermeidung der Feuer- und Explosionsgefahr zusammenhängt. Durch die stofflose Heizung ist daher für flüssige Brennstoffe weit mehr als bei festen eine gedrängte Apparatur zu erreichen, und diese ist die Vorbedingung für die Ausbildung kleiner handlicher Brennstoffvergaser.

Gegenüber der elektrischen Aufschließung fester Brennstoffe besitzt die Elektrogaserzeugung aus flüssigen Brennstoffen folgende Vorteile:

1. Leichter zu regelnde Zuführung des Brennstoffes.
2. Wegfall wesentlicher Aschenmengen.
3. Geringerer Verbrauch an Aufschließungsmitteln (Wasserdampf, Kohlensäure) bei Erzielung bedeutend höher kalorischer Gase.
4. Geringerer Verbrauch an elektrischer Energie im Verhältnis zum Energieinhalt des erzielten Produktes.

Diese Vorteile seien im folgenden noch etwas näher ausgeführt.

Die Leichtigkeit der Zuführung und Regulierung der Menge des flüssigen Brennstoffes zusammen mit dem Wegfall wesentlicher Aschenmengen ist die Ursache für die hervorragende Eignung der elektrischen Vergasung für Kleingasanlagen mit intermittierendem Betrieb, eine grundlegende Voraussetzung für die restlose Verwertung temporärer Überschusselektrizität für diese Zwecke.

Da die pyrogenen Zersetzungsprodukte der flüssigen Brennstoffe an und für sich die Hauptenergie des Gases liefern, beschränkt sich die Anwendung des Wasserdampfes oder der Kohlensäure wesentlich auf die Aufzehrung des sich ausscheidenden Kohlenstoffes und des Teeres, während bei festen Brennstoffen der Aufwand an Wasserdampf (Kohlensäure) mindestens dem fixen Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes entsprechen muß. So werden z. B. für die Vollvergasung von Gasöl (Fraktion 250–360°) zur Aufzehrung sich ausscheidenden Kohlenstoffes je 100 kg Gasöl rund 15 kg Wasserdampf benötigt; rechnet man dazu noch 15 kg für Spaltungsreaktionen zur Aufschließung des Teeres, so wäre ein Gesamtverbrauch von 30 kg Wasserdampf erforderlich. Dabei entstehen neben 55 cbm Ölgas rund 75 cbm reines Wassergas und 20 cbm Teeraufschließungsgase, also zusammen 150 cbm Mischgas. Der mittlere Wärmeinhalt dieses Mischgases würde bei Gasöl etwa 5500 WE. pro 1 cbm betragen. Der hierzu erforderliche ungefähre Stromverbrauch ergibt sich aus folgender roher Wärmebilanz:

30 kg Dampf . . . . .	19500 WE.	
30 kg Wasserzersetzung .	47100 "	
100 kg Gasölverdampfung u. Teerspaltung .	70000 "	{(Vorausgesetzt, daß die Abhitze des Gases zur Vorheizung ausgenützt wird.)}
	136600 WE.	
20% Wärmeverluste . . .	27320 "	
Gesamtaufwand . . . . .	163920 WE.	entsprechend 190 Kw.

Wenn 150 cbm Gas entstehen, so sind zur Bildung von 1 cbm Elektrogas rund 1,27 el. Kw. nötig, d. h. annähernd die gleiche Menge elektrischer Energie pro 1 cbm Gas wie für die Herstellung von Gas aus festen Brennstoffen. Da das Elektroölgas aber beinahe den doppelten Heizwert besitzt, ist pro kalorischer Kilowattstunde Inhalt nur rund  $\frac{1}{2}$ – $\frac{1}{3}$  el. Kw. erforderlich.

Das Elektrogas aus flüssigen Brennstoffen ist infolge seines hohen Wärmeinhaltes für alle Hochtemperaturprozesse, vor allem aber direkt

zu Leucht- und Kochzwecken verwendbar. Es eignet sich außerdem als Carburiergas.

Noch mehr als für die elektrothermische Erzreduktion eröffnen sich dem elektrischen Vergasen, besonders von flüssigen Brennstoffen, bei elektrisch betriebenen Bahnen große Aussichten, weil die Überschüßkräfte des Bahnstromes für die Gasbewirtschaftung der an der Strecke liegenden Industrien und Ortschaften, sowie für die Beleuchtung und Heizung der Bahnhöfe, Verwendung finden werden, was für die Aussichten dieser Zugförderungsart von Bedeutung sein kann.

Als Elektrizitätsquellen kommen neben Überschüßkräften bereits vorhandener Kraftanlagen vor allem selbständige Rohölelektrizitätsanlagen in Betracht. Wenn diese des Tages Konsumelektrizität abgeben, des Nachts Aufschließungselektrizität für Rohöl- oder Kohlenvergasung zur kalorischen Speicherung erzeugen, dürfte dadurch ihre Ausnützung erheblich gesteigert werden.

Die elektrische Vollvergasung fester und flüssiger Brennstoffe wird die Anwendung der Gasheizung und -Beleuchtung wesentlich fördern können, und wenn auch die elektrische Gaserzeugung infolge der Eigenschaften der Gase und die Anpassungsfähigkeit an vorhandene Brennstoffvorkommen eine direkte Konkurrenz für den elektrischen Strom bedeutet, so dürfte dies durch den hierfür in Betracht kommenden großen Stromabsatz und die Gestattung einer vollen Ausnützung elektrischer Kraftanlagen bei weitem ausgeglichen werden. Der elektrischen Kohlenvergasung, zu der auch die elektrische Rauchverzeihung gehört, und der elektrischen Aufschließung flüssiger Brennstoffe wird es vorbehalten bleiben, die allgemeine Rauchvermeidung in absehbarer Zeit zu verwirklichen, und hierin liegt das hygienisch und volkswirtschaftlich gleich wichtige Endziel der Elektrogasgewinnung. Die Erreichung desselben ist einerseits durch die mögliche Dezentralisierung der Gaserzeugung, durch elektrische Kleingasanstalten und -Apparate nähergerückt, andererseits dürfte das Problem durch Einführung von Wärmeautomaten<sup>5)</sup> sowie Fortschritte in der Gasspeicherung und Fernleitung gefördert werden. Die beste Unterstützung und notwendige Voraussetzung für den durchgreifenden Erfolg dieser Bestrebungen liegt aber in einer zielbewußten Ausgestaltung der Elektrizitätswirtschaft und Anpassung derselben an die Brennstoffvorkommen, da der elektrische Strom in Zukunft nicht mehr einseitig als Ersatz der Brennstoffe, sondern vielmehr als deren willkommenster Veredelungsbehelf angesehen werden muß. Eine planmäßige Energiewirtschaft unter Zurückhaltung der meist teuren hochwertigen Brennstoffe für Spezialzwecke und Heranziehung der billigen minderwertigen Brennstoffe für Industrie, Kleingewerbe und Haushalt wird sicher in einem engen wechselseitigen Zusammenarbeiten von Elektrizität und Brennstoff liegen.

Die Aussichten der elektrischen Vergasung von Brennstoffen können also in erster Linie für die Wasserkraftländer als sehr gute bezeichnet werden. Hier bilden die Elektrogase eine willkommene Ergänzung für eine wirtschaftliche Energieverteilung. In den Kohlenländern wird die elektrische Vergasung als pyrogene Aufschließung von flüssigen Brennstoffen ein dankbares Feld finden. Sie bietet jedenfalls für die Elektrizität neue Absatzmöglichkeiten und eröffnet der Apparatebauindustrie ein weites und erfolgversprechendes Tätigkeitsgebiet.

#### Zusammenfassung.

Die Elektrizität eignet sich als stofflose Heizung ganz besonders zur Aufschließung fester und flüssiger Brennstoffe. Dies gilt sowohl für die rein pyrogene Zersetzung wie für die Vollvergasung, und sie gestattet daher, neue Wege der Brennstoffauswertung zu erschließen.

Die Überlegenheit der Elektrizität zur Brennstoffverarbeitung gegenüber der gewöhnlichen Heizung beruht in der wirtschaftlichen Vereinfachung der Apparate, der leichteren und gefahrloseren Beherrschung jeder erforderlichen Wärmekonzentration und der betriebs- und apparatechnisch günstigeren Anwendung von Druck und Kontaktmitteln.

Die Anwendung der elektrischen Heizung zur Brennstoffverarbeitung ist berufen, besonders folgende Aufgaben zu erfüllen:

1. Die wirtschaftliche Verarbeitung minderwertiger Brennstoffe.
2. Die Auswertung von zeitlicher Überschüßelektrizität, also Vollausnützung von Kraftanlagen.
3. Die Herstellung höherwertiger Produkte. (Crackprozeß, Reinwassergas.)
4. Die wirtschaftliche Vergasung in Kleinapparaten.

Der Stromverbrauch für Vollvergasung hängt wenig von der Brennstoff- oder Gasqualität ab und beträgt etwa 1,1–1,3 Kw. pro 1 cbm Gas.

Die Gesteungskosten der Elektrogase richten sich wesentlich nach dem Strompreis, und die elektrischen Verfahren werden überall wirtschaftlich überlegen sein, wo zeitlicher Überschüßstrom zur Verfügung steht und gleichzeitig billige minderwertige Brennstoffe zur Verarbeitung gelangen.

Die Ausnützung von Überschüßstrom zur Gasgewinnung kann als kalorische Speicherung desselben angesehen werden, und es dürfte dies vor allem bei Verwendung von Kleingasanlagen die praktisch und wirtschaftlich am leichtesten zu realisierende Speicherung von stark wechselnden Überschüßelektrizitätsmengen vorstellen.

<sup>5)</sup> Hierüber soll eine besondere Arbeit folgen.

Die Elektrogase fester Brennstoffe (2800–3000 WE. pro 1 cbm) kommen insbesondere für Hochtemperaturfeuerungen, Reduktionsprozesse und Synthesen, als Zusatz zum Leuchtgas, als Triebstoff für Motoren und Gasturbinen und als Rohmaterial für die Darstellung flüssiger Brennstoffe in Betracht.

Die Elektrogase flüssiger Brennstoffe (5000 WE. und mehr pro 1 cbm), eignen sich direkt als Leuchtgas sowie für alle Zwecke der Industrie und Lebenshaltung. Sie stellen zudem ein ausgezeichnetes Carburiermittel dar, das die Anwendung der elektrischen Vollvergasung fester Brennstoffe wesentlich fördern kann.

Die elektrische Brennstoffverarbeitung ist dazu bestimmt, ein wertvolles Bindeglied zwischen Elektrizitäts- und Brennstoffwirtschaft zu bilden. Sie wird vor allem vielenorts die vorteilhafte Ersetzung der direkten Kohlenfeuerung durch Gasheizung ermöglichen, womit auch die Rauchbeseitigung ihre praktische Lösung findet. [A. 18.]

## Über die Aufbereitung von Waschbergen.

Von E. BERL und H. VIERHELLER.

(Aus dem Chemisch-technischen und elektrochemischen Institut der Technischen Hochschule Darmstadt.)

(Eingeg. 14./I. 1922.)

Zur Trennung von taubem Gestein wird Förderkohle in der Schlagkreuzmühle zerkleinert und in Setzmaschinen verschiedenen Systems aufbereitet. In den Setzmaschinen wird eine Scheidung des tauben Gesteins von der Kohlensubstanz durch die verschiedene Fälligkeit der beiden, die Förderkohle zusammensetzenden Bestandteile vorgenommen, doch ist diese Trennung weit davon entfernt, ideal zu sein. Die gewaschene Kohle enthält noch nennenswerte Mengen von Aschenbestandteilen, während andererseits die Waschberge, in denen sich der größte Teil des tauben Gesteins befindet, noch ungefähr ein Viertel ihres Gewichts an brennbarer Substanz enthalten. Daß es von außerordentlich großer Wichtigkeit ist, den Aufbereitungsprozeß der Förderkohle besser als wie bisher zu leiten, dann aber auch die großen, in den Halden noch enthaltenen Mengen an brennbarer Substanz zu gewinnen, ist klar. Im nachfolgenden wird gezeigt werden, daß dies wohl möglich ist, und daß es sogar unter den einfachen Laboratoriumsbedingungen gelingt, mehr als die Hälfte der brennbaren Substanz aus den Waschbergen mittels des Schwimmaufbereitungsverfahrens in so angereicherter Form zu gewinnen, daß das nunmehr erhaltene Material zu industrieller Verwendung verschiedener Art wohl geeignet erscheint.

Die Aufbereitung solcher Waschberge nach dem Schwimmaufbereitungsverfahren stellt einen speziellen Fall des umfassenden Problems der Schwimmaufbereitung oder Flotation dar. Im allgemeinen wird man sagen können, daß grundlegende Unterschiede im Verhalten der Kohle einerseits, des tauben Gesteins andererseits, dahin erblickt werden können, daß die Kohlesubstanz eine mit Wasser sich nicht, oder nur schwer benetzende Oberfläche besitzt, also hydrophob ist, während die mineralischen Begleiter mit Wasser sich leicht benetzen, daher zur Gruppe der hydrophilen Stoffe gehören. Schüttelt man demnach ein Gemisch von Kohlesubstanz mit taubem Gestein mit Wasser und mit damit nicht oder wenig mischbaren anderen Stoffen, die die Eigenschaft haben, die Kohlenoberfläche zu benetzen, so wird in einfacher Weise eine Trennung der Komponenten dadurch erfolgen, daß das taube Gestein als mit Wasser benetzbar in die wässrige Schicht geht, während die Kohle sich in der nichtwässrigen Schicht oder an der Grenzfläche von Wasser und den damit nicht oder unvollkommen mischbaren Stoffen sammelt. Wenn die Zerkleinerung des Waschbergmaterials hinlänglich weit getrieben wird, so daß die Umklammerung der Kohle mit taubem Gestein oder die des tauben Gesteins mit Kohle fast völlig aufgehoben wird, dann kann durch die Anwendung der Schwimmaufbereitungsverfahren eine weitgehende Trennung von brennbarer Substanz von Aschebestandteilen erzielt, und damit die so erhaltene Kohle der Volkswirtschaft dienstbar gemacht werden.

Die Verhältnisse liegen hier deswegen so ganz besonders einfach, weil alle als „Sammler“ bekannten Stoffe, wie Kohlentee und die flüssigen Einzelstoffe desselben, dann Mineralöle, ferner Holzdestillationserzeugnisse u. a. m. die vorerwähnte Wirkung und zwar schon in geringen Zusatzmengen ausüben. Die zu erzielende Wirkung hängt von der Feinheit des Waschbergmaterials und der Art der Durchföhrung des Flotationsvorganges ab. Wird z. B. die Zerkleinerung unter gleichzeitigem Zusatz von Flotationsagens vorgenommen, dann lassen sich ganz besonders gute Wirkungen erzielen, wie dies schon längst in der Erzflotationspraxis bekannt ist. Eine wiederholte Scheidung wirkt ebenfalls im Sinne einer vervollständigten Aufbereitung.

Die zur Scheidung zugesetzten Öle kommen mit ihrem ganzen Caloriengehalt bei der Verwertung des erhaltenen Brennstoffes zur Auswirkung.

Daß in gleicher Weise, wie Waschberge, aschenreiche Förderkohlen aufbereitet werden können, ist selbstverständlich<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Nach Abschluß dieser Untersuchungen erschienene Mitteilungen über das sogenannte Trent-Verfahren (Perrot und Kinney, Chem. Centr. Bl. 1921, IV, 1345 und ferner Zeitschr. f. angew. Chem. 34, 638; 1921, ref. Dolch) betreffend das gleiche Ziel, die Kohlesubstanz durch Schwimmaufbereitung von der begleitenden Mineralsubstanz zu trennen.