

II. Chemie und Hüttenkunde.

Neue Vorschläge zur rationellen Ausnützung bituminöser nasser Braunkohlen.

Von Dipl.-Ing. Th. Limberg, Halle (Saale).¹⁾

Die Frage, wie unsere heimischen Brennstoffe mit höchstmöglicher Wirtschaftlichkeit auszunutzen seien, war schon vor dem Kriege in Fluß gekommen und ist durch den Verlust eines Teiles unserer Kohlengebiete durch den Friedensvertrag brennend geworden. Die Braunkohle, die als einzige Brennstoffindustrie trotz aller Schwierigkeiten nach Krieg und Revolution mit ihrer Produktionsziffer sogar etwas über dem Friedensstand steht, gewinnt dadurch eine große Bedeutung und ist berufen, in den nächsten Jahren die allgemeine Brennstoffnot zu mildern. Es wäre aber schade und unklug, wollte man sie lediglich als Brennstoff betrachten, denn sie bietet in ihrem teilweise hohen Teergehalt die Möglichkeit, uns bis zu einem gewissen Grade von der Einfuhr ausländischer Mineralöle unabhängig zu machen und unserer chemischen Industrie das Rohmaterial zu wertvollen Erzeugnissen zu liefern. Aus Braunkohlenteeren werden heute hergestellt: Gasöle, leichte und schwere Motoröle, Schmier- und Putzöle, Heizöle, Brennöle, Paraffin verschiedener Sorten, Asphalt, Goudron. Für die Teeraufarbeitung haben die patentierten Verfahren der A. Riebeck'schen Montanwerke große Bedeutung gewonnen. Die Gewinnung von Benzin nach dem Bergiusverfahren durch Hydrierung von Braunkohlenteerprodukten ist mit Erfolg begonnen. Die Herstellung von technischen Seifen ist in Arbeit, und es steht zu erwarten, daß sich in absehbarer Zeit auf den Braunkohlenteer eine chemische Industrie von großer Mannigfaltigkeit aufbauen läßt.

In ganz Deutschland werden von der Gesamtjahresproduktion von rund 90 Millionen Tonnen in etwa 25 Schwelereien nur 1 Million Tonnen Braunkohlen verschwelt. Fast alle Schwelereien befinden sich im Halleschen Bezirk, der sich durch das Vorkommen guter Schwelkohlen auszeichnet, doch ist es dort allgemein bekannt, daß ein großer Teil der besten Schwelkohlen in die Brikettfabriken wandert. Es muß unbedingt versucht werden, die Entwicklung der Braunkohlenindustrie so zu leiten, daß die Braunkohlenbrikettierung zugunsten der Braunkohlenverschwelung und -vergasung eingeschränkt wird. Ebenso ist die unmittelbare Verfeuerung bituminöser Rohbraunkohle, volkswirtschaftlich betrachtet, eine nicht wieder gutzumachende Verschwendung unersetzlicher Bodenschätze. Liefern doch zahlreiche Vorkommen in Mitteldeutschland im Durchschnitt 7% Teer, z. B. die Vorkommen bei Helmstedt, Nachterstedt, Köthen, Bernburg, Gröbers, Dieskau, Oberröblingen, Zeitz-Weißenfels, Meuselwitz-Altenburg. In diesen Ge-

¹⁾ Vortrag, gehalten am 21. Juni 1920 auf der 7. Mitgliederversammlung in Stedten bei Oberröblingen.

bieten gibt es auch große Teile, deren Braunkohle im Durchschnitt 9 bis 10 % Teer liefert. Daß die Verschwelung der Braunkohle nicht in größerem Umfange aufgenommen wurde, lag z. T. an den schlechten Öl- und Paraffinpreisen vor dem Kriege. Es darf aber auch nicht vergessen werden, daß das bisher betriebene Verfahren technisch und wirtschaftlich unzulänglich ist; denn in den Schwelöfen treten namentlich durch Zersetzung des Teeres an den glühenden Retortenwandungen Verluste auf, so daß nur etwa 50 bis 60 % des in der Kohle enthaltenen Bitumens als Teer gewonnen werden können. Der abfallende feinkörnige Koks, Grudekoks genannt, der heute gern zum Hausbrand benutzt wird und gute Preise erzielt, ist durch das ungleichmäßige Destillationsverfahren ein Mischprodukt, das neben vollständig graphitischem Koks noch fast unentgaste Kohle enthält. Die bis 9 m hohen Schwelöfen sind außerordentlich teuer; in der Anlage — kostete doch eine Schwelanlage mit etwa 22 Öfen in Friedenszeiten rund 500000 Mark — und teuer im Betrieb. Dabei ist das Durchsatzquantum von täglich 4,5 t Kohle in den modernsten Konstruktionen, früher nur etwa 2,5 bis 3 t, so gering, daß der Friedenswert des jährlichen Durchsatzquantums von rund 1500 t in Höhe von rd. 4500 M. nur ein Fünftel der Anlagekosten eines Ofens beträgt. So erscheint es erklärlich, daß man sich mit der Verschwelung nur der bitumenreichsten Schwelkohlen begnügte. Neuerdings hat man, um auch weniger bituminöse Kohlen nutzbar zu machen, große Generatoranlagen mit Nebenproduktengewinnung in Betrieb genommen, doch ist es immer noch nicht gelungen, damit nasse Braunkohle wirtschaftlich zu verarbeiten. Es dürfte deshalb für die mitteldeutsche Braunkohlenindustrie von Interesse sein, in die Prüfung neuer Vorschläge einzutreten, die der technischen Durchführung noch harren.

Die geforderte wirtschaftliche Ausnützung der Braunkohlen ist durch folgende Verfahren möglich:

1. Vergasung in Generatoren mit Gewinnung der Nebenprodukte;
2. Destillation bei niedriger Temperatur zwecks Gewinnung eines Tieftemperaturkokes;
3. Extraktion.

Hier soll nur auf die beiden ersten eingegangen werden.

Jede organische Substanz, welche unter Luftabschluß erhitzt wird, verflüchtigt oder zersetzt sich. Welcher Art die neu entstehenden Verbindungen sind, hängt, abgesehen von der Natur des Ausgangsmaterials, von der Temperatur, von dem Druck und von der Zeit der Erhitzung ab. Bei der Leuchtgasherstellung wird das Destillationsgut in von außen hochehitzten glühenden Retorten oder Kammern destilliert. Hauptprodukt ist das Gas, Nebenprodukt Teer und Ammoniak. Bei dieser Art der Destillation treten starke pyrogene Zersetzungen auf, ein großer Teil der Teerbildner wird in Gase umgewandelt. Die geringen, dabei entfallenden Teermengen, etwa 4 bis 5 %, bestehen aus aromatischen Kohlenwasserstoffen.

In der Kokereitechnik wird in ähnlicher Weise destilliert wie in der Gasteknik. Die Kammern sind größer, und das Gut wird längere Zeit der Hitze von 1000 bis 1100 Grad ausgesetzt. Die Teerbildner werden im Destillationsraum größtenteils zersetzt. Die Teerausbeute beträgt 3,5 bis 4 %. Auch dieser Teer besteht aus aromatischen Kohlenwasserstoffen. Hauptprodukt ist bei der Kokerei der Koks, Nebenprodukt Gas, Teer und Ammoniak.

In der Teerschwelerei, wo bituminöse, nasse Braunkohle mit etwa 50 bis 55 % Wassergehalt destilliert wird, ist Hauptprodukt der Schwelteer. Dieser Teer besteht aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Die Teerausbeute beträgt 4 bis 5 %. Nebenprodukt ist der Grudekoks. Auch hier erfolgt die Wärmeübertragung durch Chamottesteinwandungen, die schlechte Wärmeleiter sind und

unnötige Wärmemengen verschlingen. Doch wird in der Teerschwelerei eine weit schonendere thermische Behandlung des Destillationsgutes durchgeführt als in der Gas- bzw. Kokereitechnik. Während die äußere Retortenwand in dem unteren Teile auf Hellrotglut, 900°, erhitzt wird, abnehmend bis 400° in dem oberen Teile, wird die innere Retortenwand nicht beheizt. Man arbeitet mit einer Destillationsschicht von höchstens 10 cm. Diese innere Wand wird aus eisernen Abzugsringen gebildet. Die Temperatur der Dämpfe, die in den von den Abzugsringen gebildeten Raum entweichen, beträgt unter 250°. Bei diesem Destillationsverfahren werden 55 bis 60 % des in der Kohle enthaltenen Teeres gewonnen; 40 bis 45 % werden zersetzt und in Gase gespalten.

Die hier angeführten Prozesse zeigen ganz verschiedene Durchführungsmöglichkeiten der trockenen Destillation, lassen aber als wichtiges Moment erkennen, daß Menge und Art der bei der Destillation zu gewinnenden Destillationsprodukte von keinem der dabei mitspielenden Faktoren in so hohem Maße abhängig sind, als wie von der Temperatur und der thermischen Behandlungsart, d. h. der Art, wie die Wärmeübertragung stattfindet. Sowohl in der Gas- als in der Kokereitechnik und auch Teerschwelerei wird Kohle in von außen hoch erhitzten Retorten oder Kammern unter Luftabschluß erhitzt. Hierbei treten in der Kohlschicht Zonenbildungen auf. Unter Zonenbildung wird hier die Bildung von Schichten mit verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt verstanden, insbesondere die Bildung eines nassen Kerns. In der Kokereiindustrie ist es nur auf Grund dieser Zonenbildung, d. h. Bildung nasser, innerer Kernschichten im Koksofen möglich, einen grobstückigen, harten Koks zu gewinnen. Schreiber¹⁾ sagt hierüber:

„Nach Einbringen der Kohle in die heiße Ofenkammer tritt in der Berührungsschicht an den Wänden nach Verdampfung der in dieser Schicht vorhandenen Feuchtigkeit die Entgasung der Kohle ein. Die entstehenden Kohlenwasserstoffe, namentlich die Teerbildner, werden von der noch kühleren Nachbarschicht zu Teer verdichtet. Es entsteht eine fortschreitende Verkokungsnacht, eine teerige Masse, die auf der Wandseite erhitzt wird, auf der Innenseite aber vermöge der Wärmeabsorption durch die Verdampfung kühl, d. h. nicht über 100° heiß ist, während die Wandschicht beispielsweise 800° zeigt. Durch Probenahme aus dem Inneren eines besetzten Kohlenkuchens ist nachgewiesen worden, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Kohle in den ersten Stunden um mehrere Prozente zunimmt, und daß ganz trocken eingebrachte Kohle eine Zeit lang aus dem chemisch gebundenen, etwa 5 % betragenden Wassergehalt eine gewisse Feuchtigkeit aufnimmt Hier bewirkt also die Zonenbildung die große Stückbildung des Kokereikokes, indem die Teerbildner nicht schnell herausgespült werden, sondern in der Kohle größtenteils erhalten bleiben.“

Auch in der Gasretorte tritt beim Destillationsprozeß Zonenbildung auf. In der Patentschrift 167367 sagt Bueb über Vergasung in Vertikalretorten folgendes:

„Infolge der hohen Erhitzung von außen geht die Gasentwicklung an den den erhitzten Retortenwänden zunächst liegenden Teilen der Beschickung sehr schnell vor sich. Es bildet sich dabei sofort dichter Koks, der für das sich entwickelnde Gas geradezu undurchlässig ist und dieses zwingt, konzentrisch nach innen und dann durch die noch nicht verkokten leichter durchlässigen Kohlen nach oben zu entweichen. Durch den Abzug des Gases durch die inneren, noch nicht verkokten kälteren Partien wird einer Erhitzung des Gases bis zur Zersetzung seiner schweren Kohlenwasserstoffe zu Naphthalin vorgebeugt.“

1) „Aufbereitung, Brikettierung und Verkokung der Steinkohle“, Braunschweig 1914 (Vieweg & Sohn).

Beim Vertikalofenbetrieb treten also auch Zonenbildungen auf. Durch die Zonenbildung wird einer Zersetzung der schweren Kohlenwasserstoffe zu Naphthalin im inneren Kohlenkern vorgebeugt.

Es steht somit fest, daß bei allen Destillationsprozessen, wo die Wärmeübertragung durch von außen hochoverhitzte Chamottewände erfolgt, Zonenbildungen auftreten und Zersetzungen von Teerdämpfen, wenn auch nicht im Inneren, so doch an den glühenden Retortenwandungen unvermeidlich sind.

Grundsätzlich verschieden von der Verwertung der Kohle in der Kokerei-, Gas- und Schwelindustrie ist die im Generator. Während bei den drei erstgenannten Verfahren als Endprodukt Koks zurückbleibt, wird im Generator die Kohle bis zur Asche verbrannt. Bei den bisher gebauten Generatoren war der Hauptzweck die Erzeugung eines heizkräftigen Gases. Rücksicht auf die Gewinnung des Teeres wurde nicht genommen, vielmehr waren bei vielen Generatorenkonstruktionen Einrichtungen getroffen, die Teerdämpfe durch Hindurchstreichen durch die heiße Verbrennungszone vollkommen in Gas zu zersetzen. Erst seit einigen Jahren sind die ersten Generatoren mit getrennter Ver- und Entgasungseinrichtung zwecks Gewinnung eines Urteeres bekannt. Es sind dieses die Drehrost- oder Kammergeneratoren mit in den oberen Generatorraum eingebauten feststehenden oder drehbaren Entgasungsretorten. Derartige Schwelgeneratoren sind seit einigen Jahren in der Braunkohlenindustrie aufgestellt. Man versprach sich sehr viel von diesen Konstruktionen, alle Versuche, nasse bituminöse Rohbraunkohlen wirtschaftlich zu verarbeiten, gelangen jedoch nicht. Um überhaupt den Betrieb in derartigen Vergasungsapparaten aufnehmen zu können, mußte man ein sperrig liegendes Vergasungsmaterial mit bedeutend niedrigerem Wassergehalt, also Braunkohlenbriketts, wählen. Der Weg über die Brikettierung der Braunkohle ist aber sehr kostspielig. Wenn man annimmt, daß mitteldeutsche Braunkohlenbriketts im Durchschnitt 12% Teerausbeute ergeben, so bedeutet dies bei den heutigen Brikettpreisen von rund 2000 M. je 10 t = 167 M. je Doppelzentner Teer Kohlenkosten. Ob die Vergasung von Briketts zwecks Urteergewinnung auf die Dauer wirtschaftlich durchführbar sein wird, möchte ich bezweifeln. Da es einen Vergasungsapparat mit Urteergewinnung, der nasse, bituminöse Rohkohle bei hohem Durchsatz glatt verarbeitet, bis dahin wohl noch nicht gibt, so ist es von größter Wichtigkeit, zu prüfen, ob überhaupt Aussicht auf die Durchführung eines Verfahrens besteht.

Bevor ich auf die Prüfung eines neuen Verfahrens eingehe, möchte ich auf die Schwierigkeiten hinweisen, die beim Generatorbetrieb in den bisher bekannten Apparaten ohne und mit Schwelretorteneinbau auftreten.

Wird mitteldeutsche erdige, bituminöse Braunkohle mit 50% Wasser in Generatoren ohne Schwelretorten verarbeitet, so tritt beim Vergasungsprozeß die Bildung nasser Schichten ganz besonders stark auf. Die aus der Verbrennungszone aufsteigenden Gase geben ihre fühlbare Wärme an die oberen Kohlen-schichten ab. Die Eigenwärme der Gase genügt nicht, um im oberen Generatorschacht die nasse Rohkohle gleichmäßig zu trocknen und zu entgasen. An der Oberfläche der Vergasungsschicht bildet sich eine dicke Schlickschicht, die für die Gase undurchlässig ist. Die Schlickschicht zieht sich allmählich zusammen, so daß die Gase ihren Weg hauptsächlich an den Generatorwandungen entlang nehmen. In den nassen Brennstoffschichten bilden sich beim allmählichen Heruntergleiten große Hohlräume. Diese bedingen eine Verbrennung der Gase und Teerdämpfe. Ein Teil des Gases und Teeres verbrennt also mit, um die nötige Wärme für den Generatorprozeß zu geben. Der in geringen Mengen entfallende Teer ist minderwertig (Verbrennungsteer). Die nassen Kernschichten gelangen zum Teil in die eigentliche Verbrennungszone und wirken hier stark kühlend auf den Generatorgang, so daß die Vergasungsleistung äußerst gering

ist (Abb. 53). Der Prozeß in den neuerdings gebauten Generatoren mit Einhängeretorten leidet unter den gleichen Übelständen, denn die nassen Kernschichten bilden sich in den Retorten trotz der zusätzlichen Umspülung durch Heißgase ebenso wie in Generatoren ohne Einhängeretorten, und diese Kernschichten werden beim Austritt aus der Retorte, wo sie in die Vergasungszone gelangen, zur gleichen Störung des Vergasungsvorganges führen. Die Wärmeberechnung ergibt, daß die Eigenwärme der Generatorgase aus der Vergasungszone bei der Durchspülung (Innenheizung) trotz der Umspülung der Retorten (äußere Beheizung) bei weitem nicht genügt, um das Wasser aus der Braunkohle auszutreiben (Abb. 54). Zweck der vorstehenden Ausführungen war, darauf hinzuweisen, daß der Hauptübelstand bei der trockenen Destillation von Kohlen die Zonenbildung und vor allem die Zersetzung der Teerdämpfe an den glühenden Retortenwandungen ist, und daß bei der Vergasung von nassen Kohlen die Bildung von nassen Kernschichten die Hauptursache des Mißerfolges ist. Die wirtschaftliche Verarbeitung von Rohbraunkohle ist nur in Apparaten möglich, die diese Mißstände vermeiden, und damit komme ich zu dem Problem des Ausbaues der künftigen Vergasungsapparate überhaupt. Welche Forderungen sind an einen solchen Generator zu stellen?

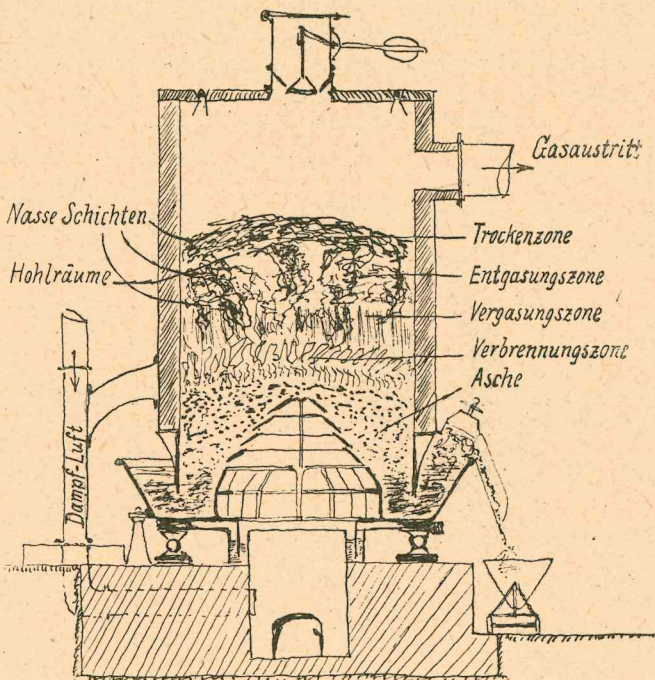


Abb. 53. Drehrostgenerator.

damit komme ich zu dem Problem des Ausbaues der künftigen Vergasungsapparate überhaupt. Welche Forderungen sind an einen solchen Generator zu stellen?

1. Höchstmöglicher Durchsatz von nassen bituminösen Brennstoffen mit etwa 50% Wasser;
2. höchste Ausbeute an Urteer (Ammoniak);
3. Erzielung eines hohen thermischen Wirkungsgrades;
4. Herstellung eines gleichmäßigen Gases mit möglichst niedrigem Kohlen säuregehalt;
5. möglichstes Fortfallen der Stocharbeit und Vermeidung von Störungen beim Entschlacken;
6. große Anpassungsfähigkeit an den Betrieb durch Herauf- bzw. Herabsetzen der Vergasungsleistung;
7. kleine Anlagekosten und niedrige Betriebskosten.

Da es von größter Wichtigkeit ist, die Schwelzeit unabhängig von der Vergasungszeit zu machen, so kommt als vollkommen sicherer und kontinuierlich arbeitender Vergasungsapparat wohl nur ein Zonengenerator in Betracht, d. h. die Vergasung wird getrennt in Entgasung oder Verschwelung und in Vergasung des vollkommen entgaseten Brennstoffes. Die Bildung nasser Kernschichten im Gut läßt sich vermeiden, wenn verhältnismäßig dünne Brennstoffschichten in der Entgasung gewählt werden und die Wärmeübertragung nicht durch von außen

hocherhitzte Schamottewände erfolgt, sondern vermittelt neutraler Heißgase und zwar bei Querdurchspülung und unmittelbarer Abführung der Destillationsprodukte in eine bzw. mehrere Abzugsvorrichtungen, wobei auch mehrere Heißgasströme angewendet werden können (Abb. 55). Die Wärmeübertragung eines jeden Brennstoffteilchens quer zur Kohlendurchgangsrichtung muß hier eine vollkommen gleichmäßige sein, da Wärmezufuß und Schwelgeschwindigkeit sich abgleichen. Werden die flüchtigen Destillationsprodukte nicht in einer, sondern in voneinander getrennten Abzugsvorrichtungen abgeführt, so lassen sich reine Produkte gewinnen, z. B. bei Vergasung von nasser bituminöser Rohkohle in der ober-

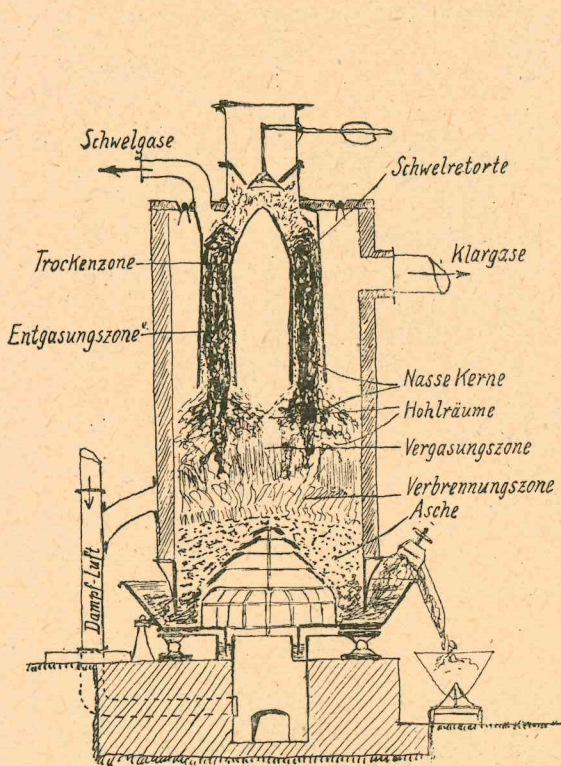


Abb. 54.
Drehrostgenerator mit Schwelretorten.

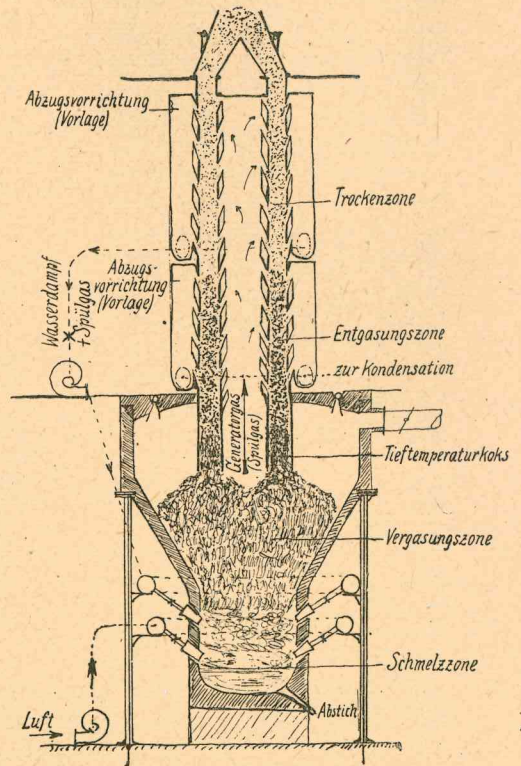


Abb. 55. Schwelgenerator DRP. 302322,
303954, 313470, 322646.

sten Abzugsvorrichtung reiner Wasserdampf im Gemisch mit Spülgasen. Wendet man bei dem Verfahren Temperaturen unterhalb der beginnenden Dunkelrotglut im Gut an, so erzielt man höchste Ausbeuten an Urteer; Druckerhitzungen und damit zusammenhängende Zersetzungen der Teerdämpfe an überhitzten Wandungen werden vermieden. Bei dieser schonenden thermischen Behandlungsart tritt Schwitzzonenbildung und damit Hohlraumbildung im Gut nicht auf; der Brennstoff gleitet gleichmäßig getrocknet und entgast in die Entgasungskammern herunter. Die neutralen Heißgase spülen die Destillationsprodukte unmittelbar im Entstehungszustande in die Abzugsvorrichtung, wirken verdünnend auf die Teerdämpfe und schützen sie so vor Zersetzungen. Damit dürfte die Möglichkeit gegeben sein, nasse erdige Braunkohlen zu verarbeiten bei hoher Durchsatzleistung in der Entgasungszone und höchstem Ausbringen an Urteer. Es liegt auf der Hand, daß die Vergasung des so erhalten heißen Koks im Generator

verhältnismäßig geringe Schwierigkeiten bietet, daß man also als Unterbau irgendeinen bereits bewährten Generator wählen könnte. Doch von größter Wichtigkeit ist beim Generatorbetrieb die Erzielung eines hohen thermischen Wirkungsgrades. Die Durchführung des oben geschilderten Entgasungsprozesses mit neutralen Heißgasen als Wärmeüberträger setzt große Gasmengen mit genügendem Wärmeinhalt voraus.

Eine Möglichkeit, das Verfahren anwenden zu können, ist in dem Schlackenabstichgenerator gegeben. Man wird die Frage aufwerfen: Läßt sich das Entgasungsprodukt, hier Braunkohlentiefemperaturkoks, in Abstichgeneratoren einwandfrei vergasen? Ich kann feststellen, daß die Asche der meisten deutschen bituminösen Braunkohlen einen sehr niedrigen Schmelzpunkt aufweist.

Es wurden untersucht die Aschen von:

1. Kohlen aus dem Oberröblinger Revier,
2. Kohlen aus dem Zeitz-Weißenfelder Revier,
3. Kohlen aus dem Meuselwitz-Altenburger Revier,
4. Kohlen von Nachterstedt,
5. Kohlen von Bruckdorf-Nietleben und Gröbers,
6. Kohlen aus dem Geiseltal.

Sämtliche Schmelzproben ergaben, daß die Asche bei Segerkegel 6a, also bei rd. 1200° in Schmelzfluß übergegangen war. Eine Ausnahme macht die Kohle aus dem Geiseltal; die Asche dieser Kohle geht bei 1275° in Schmelzfluß über. Die Schmelzpunktbestimmungen der Aschen sind im elektrischen Widerstandsofen ausgeführt, Kontrollversuche im Schmelzofen mit dem Wanner-Pyrometer.

Im Gegensatz zu den mit Zuschlägen betriebenen Steinkohlenabstichgeneratoren würde der Abstichgenerator für Braunkohlen- bzw. Braunkohlentiefemperaturkoks ganz ohne Zuschläge arbeiten können, wie die nachfolgenden Aschenanalysen erkennen lassen:

	Braunkohlenaschen	Abstichschlacke vom Steinkohlengenerator	Hochofenschlacken
SiO ₂	14 bis 25 %	35 %	29 bis 37 %
Fe ₂ O ₃	8 „ 17 %	—	1 „ 2 %
Al ₂ O ₃	4 „ 9 %	24 %	6 „ 9 %
CaO	24 „ 32 %	29,5 %	28 „ 40 %
MgO	2 „ 3 %	4 %	2 „ 10 %
Alkalien . . .	0,4 „ 3 %	—	—

Das Verhältnis der basischen Bestandteile der Braunkohlenasche (CaO, MgO, Al₂O₃) zum Kieselsäuregehalt ist ungefähr das gleiche wie bei den Hochofenschlacken; dazu kommt noch, daß die Braunkohlenaschen z. T. hohen Alkaligehalt haben, und daß bei der Schmelzung der hohe Eisenoxydgehalt im Sinne einer Schmelzpunkterniedrigung wirken muß.

Für die späteren Generatorkonstruktionen dürfte diese Feststellung von Bedeutung sein. Es würde zu weit führen, wenn ich hier auf die Vorteile des Schlackenabstichgenerators eingehe. Ich verweise auf die Abhandlung über „Schlackenabstichgaserzeuger im Vergleich zu solchen mit Wasserabschluß“ von H. Markgraf.¹⁾ Der Abstichgenerator gleicht einem Hochofen. Man kann einen Schacht, eine Rast und ein Gestell unterscheiden. Mit diesem Generator lassen sich große Durchsatzleistungen bis 100 t Brennstoff in 24 Stunden erzielen, und das ist das Wichtigste. Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Vergasung mitteldeutscher Braunkohlen im Drehrostgenerator, die im Abstichgenerator vermieden

1) „Stahl und Eisen“, Jahrg. 38, Nr. 29.

wird, bereitet die hygroskopische Beschaffenheit der Braunkohlenasche. Diese bildet mit dem zugeführten Wasserdampf, der unter dem Rost eingeblasen wird, eine zementartige, feste Kruste, die die Rostspalten der Haube allmählich zusetzt und Betriebsstörungen und geringe Vergasungsleistung verursacht. Da sich mit dem Abstichgenerator bei Verarbeitung von Rohbraunkohlen mit Urteergewinnung ein leichtes Entschlacken ermöglichen läßt und jede Stocharbeit in Wegfall kommt, da ferner ein Herauf- bzw. Herabsetzen der Vergasungsleistung, also große Anpassungsfähigkeit an den Betrieb, erzielt und ein gleichmäßiges Gas mit niedrigem Kohlensäuregehalt erzeugt werden kann, so sind die sämtlichen Forderungen, die an die Bauart der Generatoren gestellt waren, erfüllt. Die Anlagekosten des Abstichgenerators sind gegenüber denen des Drehrostgenerators bedeutend niedriger. Bei stark alkalihaltigen Schlacken verwendet man zweckmäßig für die Ausmauerung der Gestelle Dynamidonsteine.

Die an sich schon hohe Wärmewirtschaft des Abstichgenerators wird noch dadurch erhöht, daß

1. der hohe Staubgehalt des Gases verwertet werden kann, indem der Staub in der Entgasungsretorte, die als Filter wirkt, aufgefangen wird;
2. die hohe Eigenwärme des Abstichgeneratorgases zum Entgasen des Brennstoffes ausgenutzt wird;
3. die Menge des Zusatzdampfes durch die Eigenwärme des Gases erzeugt wird.

Führt man nämlich das Wasserdampf-Spülgasgemisch aus der obersten Vorlage der Entgasungsvorrichtung in die Vergasungszone oberhalb der Gebläseluft zu, so gelingt es, die Eigenwärme des Abstichgeneratorgases, die sich auf rund 1000° berechnet, wenn Rohbraunkohle nach dem erwähnten Verfahren entgast wird und das Entgasungsprodukt, Tieftemperaturkoks von ungefähr 450 bis 550° , in die Vergasungszone des Abstichgenerators gelangt, auf ungefähr 450 bis 550° herunterzusetzen. Die so erhaltenen Gasmengen mit durchschnittlich 450 bis 550° Eigenwärme genügen, um die Entgasung von Rohbraunkohle mit rund 50% Wasser nach dem erwähnten Verfahren zu ermöglichen, wie die folgende Wärmeberechnung für einen Abstichgenerator in Verbindung mit aufgesetzten Entgasungskammern, die nach dem beschriebenen Verfahren arbeiten, für einen Durchsatz von 40 t Rohkohle mit 50% Wasser zeigt. Die Berechnungen beziehen sich auf ideales Luftgas, geben also nur ein ungefähres thermisches Bild.

Für die vollkommene Wasserabtreibung sind $637 \times 20000 = 12740000$ WE. erforderlich. 40 t Rohkohle geben bei der Entgasung 10800 kg Tieftemperaturkoks mit rd. 20% Asche. In 24 Stunden sind also 8640 kg Kohlenstoff zu vergasen. Diese geben 48384 cbm Generatorgas (Luftgas). (Bei der Vergasung von Steinkohle im Abstichgenerator ohne Entgasungsaufsatz mit Wasserdampfzusatz hat Markgraf Temperaturen der Generatorgase von 700° bis 750° festgestellt.)

Da nach dem beschriebenen Verfahren der Tieftemperaturkoks aus Braunkohle mit rd. 550° in den Abstichgenerator gelangt, so berechnet sich die Abgangstemperatur des Abstichgases zu rund 1100° . Denn vergast werden 8640 kg C, diese liefern bei der Verbrennung zu $\text{CO} = 21021120$ WE.

Nun sind 10800 kg Tieftemperaturkoks auf rd. 1250° bis 1300° in der Schmelzzone des Abstichgenerators zu bringen: $10800 \times 0,38 \times 700 = 2872800$ WE. Demnach $21021120 - 2872800$ WE. = 18148360 WE.

Da 48384 cbm Generatorgas (als Luftgas) gewonnen werden, so folgt:

$$48384 \times 0,33 \times t = 18148360 \text{ WE. } t = 1134^{\circ} = \text{rd. } 1100^{\circ}.$$

Berücksichtigt man noch die Schmelzwärme für die Verflüssigung der Asche, so kann man mit rd. 1050° Abgangstemperatur rechnen. Wegen der Schwan-

kungen im praktischen Generatorbetrieb soll für die weiteren Berechnungen eine Abgangstemperatur des Abstichgeneratorgases von 1000° zugrunde gelegt werden.

48384 cbm Generatorgas (Luftgas) von 1000° sind zu vermischen mit dem Spülgas-Wasserdampfgemisch von rd. 100° aus der obersten Vorlage der Entgasungskammer, und die Mischung soll ein Gas von rd. 550° Eigenwärme geben.

Nimmt man

die Molekularwärme für Generatorgas (Luftgas)	mit 7,1,
„ „ „ Generatorgas-Wasserdampfgemisch	„ 8,0
„ „ „ Mischung beider	„ 7,4

an, so ergibt sich:

$$2160 \text{ Mol. Generatorgas} \times 1000 \cdot 7,1 + x \cdot 100 \cdot 8 = (x + 2160) \cdot 7,4 \times 550 \times \\ = 2000 \text{ Mol.} = 44800 \text{ cbm.}$$

Es sind also 44800 cbm Generatorgas-Wasserdampfgemisch von 100° nötig zur Kühlung von 48384 cbm Abstichgeneratorgas von 1000° auf rund 550° . Insgesamt erhält man $44800 + 48384 \text{ cbm} = 93184 \text{ cbm}$ Heißgase mit $93184 \times 0,35 \times 450$ (Temperaturdifferenz $550^{\circ} - 100^{\circ}$) = **14676750 WE.** Es sind noch 8% Verluste im Abstichgenerator für Strahlung und Wärmeverluste in der Schlacke und Wasserkühlung und fühlbare Wärme für die mit etwa 150° abgehenden Gase (nach Markgraf, Stahl und Eisen, 38. Jahrgang, Nr. 29) = 1174080 WE. abzuziehen. Es bleiben also **13502670 WE.** Da für die Austreibung des Wassers aus der Kohle 12740000 WE. erforderlich waren, bleiben für die Aufspaltung der eigentlichen Kohlensubstanz in die primären Spaltungsprodukte $13502670 - 12740000 \text{ WE.} = 762670 \text{ WE.}$ zur Verfügung.

Da mit dem Austreiben der letzten Menge Wasser aus der Kohle aber schon die Aufspaltung der Kohlensubstanz beginnt, Schwitzzonen, die auf die Aufspaltung hemmend wirken, nicht vorkommen, so ist mit dem vollkommenen Austreiben des Wassers der weitere Entgasungsvorgang derart erleichtert, daß die mit der Aufspaltung der Kohlensubstanz in die primär gebildeten Spaltungsprodukte verbundene Reaktion glatt vor sich gehen kann. Letztere setzt bei Temperaturen von ungefähr 300° ein und verläuft sehr schnell und ohne große Wärmezufuhr, so daß die 762670 WE. hierfür genügen, insbesondere dann, wenn die Entgasungskammern im unteren Teil von Heißgasen nicht durchspült, sondern umspült werden.

Man hat die Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von nassen, bituminösen Rohkohlen in den bis dahin bekannten Generatoren wohl erkannt und beabsichtigt neuerdings, die nasse Rohkohle mit Rauchgasen vorzutrocknen. Ganz abgesehen davon, daß eine Vortrocknungseinrichtung sehr kostspielig ist, insbesondere dann, wenn sie über dem Vergasungsapparat eingebaut wird, wirken die Rauchgase von Braunkohlenfeuerungen zerstörend auf die Eisenbleche der Trockenapparatur. Infolge der niedrigen Entzündungstemperatur der Kohle tritt beim Trocknungsprozeß leicht Entzündung der Kohle ein, sobald die Rauchgase einen Sauerstoffgehalt aufweisen. Bei dem Transport des getrockneten Kohlenkornes zerfällt es in feine Partikelchen, was wiederum zu schwierigem Ent- und Vergasungsgang führt. Die Bildung nasser Kerne wird nicht vermieden, wenn eine auf 25 bis 30% Wassergehalt vorgetrocknete Kohle in den bisher bekannten Apparaten zur Vergasung gelangt.

Ich komme nun zur Erörterung der wirtschaftlichen Aussichten bei der Vergasung bituminöser, nasser Braunkohle mit durchschnittlich 7 bis 8% Teergehalt. Bei der Verarbeitung von Rohbraunkohle im Generator mit Nebenproduktengewinnung ist die Ammoniakgewinnung nicht in Betracht gezogen. Bei dem geringen

Stickstoffgehalt der Braunkohle (0,2 bis 0,3 %) ¹⁾ und den beträchtlichen Wassermengen in der Kohle würde das Ammoniak in so großer Verdünnung gewonnen, daß seine Gewinnung als ein selbständiges Problem zu betrachten wäre. Nach den für das Reichsschatzamt abgegebenen Gutachten von Caro und der Abhandlung von Klingenberg ²⁾ ist für die Wirtschaftlichkeit, abgesehen von der Größe der Anlagen, die Art des Betriebes (Dampfturbine oder Gasmaschine) und der Belastungsfaktor, der Preis des Brennstoffes, die Höhe der Teerausbeute (Nebenprodukte) und der Preis für die Nebenprodukte von größter Wichtigkeit. Es wird ferner darauf hingewiesen, daß bei dem Generatorbetrieb mit Urteergewinnung und anschließendem Dampfturbinenbetrieb mit gasgeheizten Kesseln gegenüber der direkten Verfeuerung der Kohle unter Kesseln und Dampfturbinenbetrieb stets ein Mehrverbrauch von Kohle eintritt, da der Wärmewirkungsgrad der gasgeheizten Kessel nur wenig über dem des direkt gefeuerten liegt (bei Verfeuerung erdiger Rohkohle auf dem Rost kann man normal mit einem Nutzeffekt von 65 % rechnen, bei Gasfeuerung normal mit 70 bis 75 %), und der schlechte Wirkungsgrad der Generatoren hinzukommt.

Der schlechte Wirkungsgrad der Generatoren wird bedingt durch die Notwendigkeit, Zusatzdampf besonders zu erzeugen. Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird aber der Zusatzdampf durch die Eigenwärme des Gases erzeugt, was eine Erhöhung des Wärmewirkungsgrades dieses Generators bedingt. Dabei treten tatsächlich nur die unvermeidlichen Strahlungs- und Wärmeverluste von Schlacke und Kühlwasser auf, die erfahrungsgemäß etwa 5 bis 6 % ausmachen ³⁾, während der Verlust durch die fühlbare Wärme des Generatorgases (die Generatorgase ziehen mit etwa 150° ab), ebenfalls ganz gering ist. Der thermische Wirkungsgrad wird sich bei dem beschriebenen Verfahren in der Praxis auf etwa 90 % stellen.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die Gasfeuerung bei Generatorbetrieb mit Nebenproduktengewinnung nur dann wirtschaftlich sein kann, wenn der erzielte Preis aus den Nebenprodukten, hier Urteer, erstens die Kosten für den bei der Vergasung stets erforderlichen Kohlenmehrverbrauch, zweitens die Betriebskosten für die Vergasung deckt. Bei der Verarbeitung von Rohkohle im Generator wird bei 7 % Teerausbringen der Erlös aus dem Urteer größer, mindestens aber gleich den Brennstoffkosten sein. Hier ist also die Vergasung und Gasfeuerung stets wirtschaftlich.

Beispiel: Vor dem Kriege kosteten 100 kg Rohkohle 0,30 M., erzeugt werden bei der Vergasung nach dem beschriebenen Verfahren 7 kg Urteer zum Preise von 5 Pf. je kg = 0,35 M. für Teererlös. Zurzeit kosten 100 kg Rohkohle 5 M., 7 kg Urteer zum Preise von 80 Pf. je kg = 5,60 M. für Teererlös.

Das vorstehende Beispiel zeigt, daß wenigstens für hochwertige Braunkohlen das für Kraftzwecke verwendbare Gas ganz oder teilweise kostenlos entfällt, mit anderen Worten, daß der Teerpreis noch eine Senkung erfahren kann, bis der Generatorbetrieb mit Nebenproduktengewinnung und anschließender Krafterzeugung durch Dampfturbinen ebenso teuer arbeitet wie Krafterzeugung bei direkter Verfeuerung.

Von Vorteil ist ferner, daß der Abstichgenerator in Verbindung mit dem beschriebenen Entgasungsaufsatz billig in der Anschaffung ist und auch beim Betrieb niedrige Betriebskosten aufweist.

1) Nach neueren Angaben und Methoden (Mikroanalyse) sind in mitteldeutscher Braunkohle 0,6 bis 1,0 % N vorhanden (Fleischer, Dieses Jahrbuch, Heft 1, S. 103). Immerhin wird aber bei der Vergasung im Generator nur ein kleiner Teil dieses Stickstoffs in Ammoniak übergeführt. Erdmann.

2) Zeitschr. des Vereins Deutsch. Ing. 1918.

3) Stahl und Eisen, 38, S. 654: Über Schlackenabstichgenerator von Dr. Ing. Markgraf.

Wenn man aber einen Vergleich ziehen will zwischen der unmittelbaren Verfeuerung des Brennstoffes gegenüber der Vergasung mit Nebenproduktengewinnung (Urteer) bei Verarbeitung einer Kohle mit 7 % Teer, so muß man zu der Energiegewinnung aus dem Gase diejenige aus dem Teer hinzuzählen. Berücksichtigt man, daß aus dem Teer große Mengen Treiböle für Dieselmotore hergestellt werden, der Wirkungsgrad dieser Motore aber über 30 % beträgt, dagegen der Wirkungsgrad der Dampfturbinen nur rd. 13 %, so kommt man zu einer Ersparnis an Kohle.

Ein Beispiel unter Zugrundelegung eines Generatordurchsatzes von 40 t Rohbraunkohle ergibt folgende Werte:

40000 kg Rohkohle von 2400 WE. = 96000000 WE.

1. Direkte Verfeuerung:

nutzbar im Dampf 65 % (Kesselwirkungsgrad) = 62400000 WE.

hiervon nutzbar in der Turbine 20 % = **12480000 WE.**

2. Generator mit Nebenproduktengewinnung mit gasgeheizten Kesseln und Dieselmotoren für Teerbetrieb:

a) nutzbar im Gas 48384 cbm (siehe S. 202) Generatorgas \times 1200 WE.
= 58000000 WE.,

hiervon nutzbar im Dampf 70 % (Kesselwirkungsgrad) = 40600000 WE.,

hiervon wieder nutzbar in Turbinen 20 % = 8120000 WE.,

b) nutzbar im Teer 2800 kg \times 8000 = 22400000 WE.,

hiervon nutzbar im Dieselmotor 30 % = 6720000 WE.,

a) und b) nutzbar = **14840000 WE.**, d. i. gegenüber der direkten

Verfeuerung eine rationellere Ausnutzung um rd. 19 %.

Für das einzelne Werk würde selbstverständlich ein Kohlenmehrverbrauch entstehen, für die Volkswirtschaft bedeutet die Vergasung einer Rohbraunkohle mit 7 % Teer eine Ersparnis. Es werden im mitteldeutschen Braunkohlenrevier über 10000 t Briketts täglich hergestellt aus Kohlen mit durchschnittlich 7 % Teergehalt. Da die hierfür erforderliche Kesselkohle mit ebenfalls 7 % Teer 5250 t beträgt, so wäre es im Interesse unserer Mineralölversorgung erwünscht, wenn diese Kohlenmenge statt direkt verfeuert in Generatoren mit Nebenproduktengewinnung verarbeitet würde. Es könnten dann täglich 367 t Urteer erzeugt werden.

Man wird der Auffassung, daß die Verarbeitung derartiger hochwertiger Braunkohlen in Generatoren mit Urteergewinnung eine Rationalisierung unserer Energiewirtschaft bedeutet, beipflichten müssen.

Destillation bei niedriger Temperatur zwecks Gewinnung eines Tieftemperaturkokes.

Ich komme nun zu der wirtschaftlichen Ausnutzung der Kohle im Schwelofen. Über die thermische Behandlungsart und den Schwelvorgang habe ich bereits im ersten Teil berichtet. Während bei der Vergasung das entschwelte Kohlenprodukt restlos vergast wird und das Heißgas für den Entgasungsprozeß nach dem geschilderten Verfahren der Generator selbst liefert, wird im Schwelofen die bituminöse Rohbraunkohle nur entgast und das entgaste Gut, der Braunkohlentieftemperatur-Koks (Grudekoks), gewonnen. In Schwelöfen, die nach dem angeführten Verfahren vermittelt Durchspülung mit Heißgasen arbeiten, müssen die Heißgase besonders zugeführt oder im Innenheizkörper selbst neutrale Gase erhitzt werden. Den Schwelofen konstruiert man zweckmäßig derart, daß zwei Schwel- bzw. Entgasungsretorten mit einer bekannten Entleerungsvorrichtung versehen werden. Die Heißgase führt man praktisch direkt den Innenheizkörpern zu, wobei die Erhitzung der neutralen Gase in Gaserhitzern erfolgt. Ein Ofen,

bestehend aus zwei Schwelretorten, würde bei der Verschmelzung vermittelt neutraler Heißgase nach den erwähnten Verfahren rd. 25 bis 30 t Rohbraunkohle durchsetzen, entsprechend 8 bis 9,6 t Koksleistung in 24 Stunden, d. i. rd. die sechs- bis siebenfache Durchsatzleistung gegenüber den modernsten Öfen Rolleschen Systems; dabei würde ein solcher Ofen eine Grundfläche von 8 qm gegenüber 18 qm bei dem Rolle-Ofen einnehmen. Ein Schwelhaus mit 22 Öfen nach Rolle hat einen Rohbraunkohledurchsatz von 110 t bei einer Kokserzeugung von 35 t sowie einer Teererzeugung von 45 dz (7,6 % Teergehalt angenommen und Ausbringen = 55 bis 60 % der Schwelanalyse) in 24 Stunden. Ein Schwelhaus mit der gleichen Anzahl Öfen, bei denen die thermische Behandlung des Gutes vermittelt neutraler Heißgase nach dem vorerwähnten Verfahren erfolgt, setzt in 24 Stunden auf einer kleineren Grundfläche rd. 660 t Rohbraunkohle durch, bei einer Koksleistung von 211 t und einer Teerleistung von rd. 475 bis 500 dz (7,6 % Teergehalt der Kohle angenommen und Ausbringen = 95 bis 100 % der Schwelanalyse). Der erzeugte Tieftemperaturkoks stellt ein gleichmäßigeres Produkt dar, als der im Rolle-Ofen hergestellte. Er enthält weder graphitischen Koks, noch beigemengte Rohbraunkohlenstückchen. Die Entleerungsvorrichtungen könnten daher bei diesen Öfen automatisch bedient werden. Eine derartige Hochleistungsanlage von 22 Öfen erfordert 45 bis 50 Mann Bedienungspersonal (in drei Schichten), gegenüber 130 Mann bei Anlagen nach Rolle und gleicher Durchsatzleistung (erforderlich wären 7 Ofenhäuser zu je 22 Öfen). Somit wird eine gewaltige Ersparnis an Arbeitskräften erzielt. Die Forderungen, welche man an einen Hochleistungsschwelofen stellt, nämlich

1. höchstmöglicher Durchsatz von bituminöser Rohbraunkohle mit 50 % Wassergehalt;
 2. höchste Ausbeute an Urteer;
 3. Herstellung eines gleichmäßigen möglichst grobstückigen Tieftemperaturkokes;
 4. Erzielung eines hohen thermischen Wirkungsgrades;
 5. Reinigen des Ofens während des Betriebes, indem der Ofen in allen Teilen von außen zugänglich ist;
 6. die Möglichkeit der Anbringung automatischer Entleerungsvorrichtungen;
 7. kleine Anlage und niedrige Betriebskosten
- dürften daher erfüllt sein.

Ich erwähnte bereits, daß die neutralen Gase praktisch nicht im Innenheizkörper selbst erhitzt werden, sondern in besonderen Gaserhitzern, und daß sie von diesen den Heizkörpern sämtlicher Öfen durch zentrale Leitungen zugeführt werden. Als Gaserhitzer kommen Cowper nach dem patentierten P.-S.-S.-Verfahren (Pfooser-Strack-Stumm) in Betracht.

Das P.-S.-S.-Verfahren besteht darin, den Wärmeübergang in Cowpern während der Heizperiode durch Anwendung größerer Geschwindigkeiten (3 bis 5 m/Sek.) von Gas und Luft zu beschleunigen, wobei diese größeren Geschwindigkeiten durch die Einführung von größeren Gas- und Luftmengen mittels mechanischer Hilfsmittel, wie Ventilatoren, erzielt werden. Man hat festgestellt, daß die Wärmeübergangszahl oberhalb der kritischen Geschwindigkeit von 2 m/Sek. wächst, und zwar annähernd in demselben Verhältnis wie die Geschwindigkeit.

Da nach dem P.-S.-S.-Verfahren bei einständiger Gaszeit dieselbe Heißgaswärme erzielt wird wie mit gewöhnlicher Beheizung (1 m/Sek. Geschwindigkeit) bei dreistündiger Gaszeit, so besteht der Vorteil außer in den Anschaffungskosten (weniger Cowper) auch in den geringeren Strahlungsverlusten.

Das P.-S.-S.-Verfahren bietet weiterhin den Vorteil, bei Anwendung reinen Gases kleinere Kanalquerschnitte im Gitterwerk benutzen zu können, wodurch

die doppelte Heizfläche bei größerem Steingewicht in einem Cowper untergebracht werden kann (Verwendung von Schiffer-Strack-Steine). Durch diese Verdoppelung der Heizfläche und durch die Verwendung enger Heizkanäle, die je Quadratmeter mehr Wärme übertragen als weite, werden die Abgase der Cowper auf 150° ausgenutzt, bei 800 bis 900° Gaserhitzung (neutrale Gase). Der Wirkungsgrad der neuesten Cowper nach dem P.-S.-S.-Verfahren stellt sich nach Angaben der Dinglerschen Maschinenfabrik auf 85%. Damit würde der Cowper in die Reihe der Feuerungsanlagen mit dem besten Nutzeffekt zu zählen sein.

Für die obenerwähnte Schwelanlage mit 22 Öfen = 640 bis 660 t Rohbraunkohlendurchsatz würden 2 Cowper benötigt, wovon jeder eine Stunde auf Gas, eine Stunde auf Heißgas geht. Es errechnet sich ein Gaserhitzerdurchmesser von rd. 5,2 m im Blechmantel bei 23 m Gesamthöhe. Bei diesen Abmessungen beträgt die durch die Schiffer-Strack-Steine gebildete Gitterwerksfläche etwa 4500 qm und die Gasgeschwindigkeit in den Gitterwerkskanälen im Mittel etwa 5 m/Sek. Der Druckverlust der neutralen Heißgase während des Durchganges durch den Gaserhitzer stellt sich auf etwa 200 mm W.-S. Die Gasersparnis gegenüber den bisher gebrauchten Cowpern beträgt, wenn der Wirkungsgrad bei letzteren mit 60% eingesetzt wird, $100 - \frac{60}{85} \cdot 100 = 30\%$.

Unter der Annahme, daß aus 1 t Rohbraunkohle rd. 150 cbm Schwelgase von 4000 WE. (Zusammensetzung des Schwelgases: 22,9% CO₂, 5,4% CnHm, 2,6% O₂, 10,7% CO, 30,7% H₂, 17,1% CH₄, 10,6% N₂) erzeugt werden¹⁾, ergibt die Berechnung für eine Schwelanlage mit 22 Hochleistungsöfen (je Ofen bestehend aus 2 Entgasungsretorten), daß zur Erhitzung der erforderlichen Mengen neutraler Gase im Cowper die beim Entgasungsprozeß entfallenden Schwelgase nicht nur ausreichen, sondern noch ein Überschuß an verfügbarer Wärme von rd. 50% vorhanden ist.

Folgende Berechnung gibt ein ungefähres thermisches Bild:

Für die vollkommene Wasserabtreibung aus 640 t Rohbraunkohle sind 320000 · 600 WE. = 192000000 WE. erforderlich.

Unter Zugrundelegung der Berechnung, siehe Ausführungen auf S. 202, werden für die Verschwelung von 640 t Rohbraunkohle in 24 Stunden benötigt:

31570 Mol. neutraler Heißgase und 16630 Mol. Wasserdampf-Spülgasgemisch aus der obersten Vorlage der Entgasungsretorten.

Diese ergeben:

$$31570 \cdot 7,1 \cdot 850 = 190525000 \text{ WE.} \quad \text{und} \quad 16630 \cdot 8,0 \cdot 100 = 13304000 \text{ WE.}$$

$$\text{Summa} = 203829000 \text{ WE.}$$

$$31570 \cdot 22,4 = 707168 \text{ cbm neutrale Heißgase} \quad \text{und} \quad 16630 \cdot 22,4 = 372512 \text{ cbm Wasserdampf-Spülgasgemisch.}$$

707168 cbm neutrale Heißgase von durchschnittlich 850° sind also in 24 Stunden zu mischen mit 372512 cbm beim Schwelprozeß entfallendem reinen Wasserdampf. Spülgasgemisch von rd. 100° aus der obersten Vorlage der Entgasungskammer, wobei die Mischung ein Gas von rd. 550° Eigenwärme gibt. Die neutralen Gase, die ständig im Kreislauf sich bewegen, werden im Cowper auf durchschnittlich 850° erhitzt.

Für die Erhitzung von 707168 cbm neutraler Gase in 24 Stunden = rd. 30000 cbm/1 Stunde auf durchschnittlich 850° sind im Cowper aufzuwenden:

$$30000 \cdot 830 \cdot 0,329 = 8070463 \text{ WE. stündlich.}$$

$$\text{Temperatur des Eintrittsgases} = 20^\circ.$$

1) Roser, „Stahl und Eisen“ 40, Heft 22: „Die Entgasung der Kohle im Drehofen“.

Zur Verfügung stehen $640 \cdot 150 = 96000 \text{ cbm} \cdot 4000 \text{ WE.} = 384000000 \text{ WE.}$
 in 24 Stunden, das sind $16000000 \text{ WE./stündlich.}$

Von dieser Wärmemenge ist in Abzug zu bringen der Wärmeinhalt der bei der Verbrennung der Gase mit 10% Luftüberschuß im Cowper entstehenden Abgase.

Nach der Gasanalyse berechnet sich dieser Abzug wie folgt:

Zur Verbrennung benötigen					
0,054 cbm	CnHm	= 0,162 cbm O ₂ ,	hierbei entstehen	0,216 cbm	Verbrennungsgase (H ₂ O u. CO ₂)
0,107 "	CO	= 0,053 " " "	"	0,107 "	" "
0,307 "	H ₂	= 0,153 " " "	"	0,307 "	" "
0,171 "	CH ₄	= 0,342 " " "	"	0,513 "	" "
		0,710 cbm O ₂ ,	hierbei entstehen	1,143 cbm	Verbrennungsgase

entsprechend 3,38 cbm Luft.

Der zur Verbrennung nötigen Menge O₂ entspricht eine Menge von 2,67 cbm N₂, also insgesamt 3,38 cbm Luft mit 10% Luftüberschuß gerechnet = 3,72 cbm Luft.

Als Abgase nach der Verbrennung kommt außer 1,143 cbm Verbrennungsgas der aus der Verbrennungsluft stammende N₂ in Frage, d. i.

$$3,38 - 0,710 = 2,67 \text{ cbm, dazu } 0,34 \text{ cbm Luftüberschuß} = 3,01 \text{ cbm.}$$

Aus diesen Zahlen berechnet sich der Wärmeverlust, wie folgt:

$$(640 \cdot 150 \cdot 3,01 + 0,315 \cdot 150) + (640 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 0,4 \cdot 150) = 22293360 \text{ WE./24 Stunden}$$

$$\begin{array}{r} 0,230 \text{ cbm CO}_2 \\ 0,026 \text{ ,, O} \\ 0,106 \text{ ,, N}_2 \\ \hline 0,362 \text{ cbm} + 1,14 = 1,5. \end{array} = 928890 \text{ WE./ 1 Stunde.}$$

Nun ist noch der Nutzeffekt des Cowper = 85% zu berücksichtigen, so daß die zur Wirkung kommende Wärmemenge beträgt:

$$16000000 - 928890 = 15071110 \text{ WE.}$$

abzüglich 15% Wärmeverlust im Cowper: 12810443 WE., d. i. gegenüber der erforderlichen 8070463 ein Überschuß an verfügbarer Wärme von rd. 59%.

Ein Vergleich der beiden Systeme modernster Anlagen nach System Rolle und Anlagen nach dem hier beschriebenen Verfahren hinsichtlich der Anlagekosten ergibt, daß die Anlagen zur Verschmelzung von 640 t Rohbraunkohle/24 Stunden in modernsten Öfen nach Rolle zurzeit rd. 42000000 M. kosten, die nach dem hier beschriebenen Verfahren rd. 30000000 M. Leider verbietet es sich, einen Vergleich der beiden Systeme hinsichtlich der Betriebskosten anzustellen.

Für das beschriebene Verfahren der Verschmelzung vermittelt neutraler Heißgase stellen sich die Betriebskosten für eine Anlage mit täglich 640 t Rohbraunkohledurchsatz wie folgt:

1. Schwelkohlenkosten je t = 50 M., Verbrauch 640 t · 50	32000 M.
2. Kohlenkosten für Ofenfeuerung	— "
3. Kesselkohlenkosten je t = 50 M., Verbrauch 60 t (rd. 10% vom Durchsatz): 50 · 60	3000 "
4. Gehälter: 1 Schwelmeister 15000 M. jährlich	42 "
6 Schwelaufseher 13000 " " "	214 "
5. Löhne: 6 Ofenfüller	} 50 Mann · 40 M. 2000 "
6 Kohlentrasporteure	
9 Cowperbedienung	
1 Maurer	
6 Kokszieher und Reiniger	
6 Verladung	
6 Kesselwärter	
3 Maschinenwärter	
7 Sonstige	
<hr/> 50 Mann	

	Übertrag: 37 256 M.
6. Materialien und Erneuerungen (einschl. Schmiermaterialien)	1 000 „
7. Amortisation und Verzinsung 8% von 30 000 000 M.	660 „
8. Verwaltungskosten, allgemeine Unkosten usw.	3 113 „

Selbstkosten: 42 029 M.
= rd. 42 000 M.

Gewonnen werden 211 t Tieftemperaturkoks, 200 M./je t = 42 200 M.
 „ „ 475 dz Urteer, 50 M./je 100 kg = 23 750 „

Summa: 65 950 M.

1 t Koks einschließlich des hierauf entfallenden Teers kostet demnach rd. 200 M. Nach Abzug des Teerverkaufswertes 100 kg zu 50 M. (in Betracht kommen auf 1 t Koks 225 kg Teer im Werte von $2,25 \cdot 50 = 112,50$ M.) stellen sich die Selbstkosten für 1 t Koks auf 200,00 M.

$$\begin{array}{r} - 112,50 \text{ „} \\ \hline = 87,50 \text{ M.} \end{array}$$

Die Selbstkosten für 100 kg Teer nach Abzug des Kokswertes betragen demnach

$$\begin{array}{r} 42 029 \text{ M.} \\ - 42 200 \text{ „} \\ \hline = - 171 \text{ M.} \end{array}$$

Der Teer entfällt also kostenlos (es ist sogar ein Minusbetrag von 0,36 M. vorhanden).

Die Ausnutzung der Rohbraunkohle zwecks Gewinnung von Teer und Grudekoks in Hochleistungsschmelöfen ist wirtschaftlicher als die in Generatoren, welche nach gleichem Verfahren auf Urteer arbeiten. Generatoren sind praktisch nur dort zu errichten, wo es sich um Großanlagen, z. B. Großkraftwerke, Brikettfabriken, große chemische Werke handelt, also wo größere zentrale Generatoranlagen in Frage kommen. Alle Vorschläge, das Gas in Fernleitungen den Städten zuzuführen, dürften wohl an der Wirtschaftlichkeit scheitern, denn da das Gas für Heizzwecke nur im Winter gebraucht wird und auch dann noch ungleichmäßig, so ist der Ausnutzungsfaktor ein äußerst schlechter. Weiterhin würden Gasometer und Rohrleitungen so große Anlagekapitalien erfordern, daß sich die Kosten des Aufspeicherns und des Fortleitens für ein niedrigwertiges Gas viel zu hoch stellen würden.

Das Generatorgas mit niedrigem Heizwert kann mit dem Koks nicht in Wettbewerb treten, der im Gegensatz zu Gas sich viel billiger aufspeichern und transportieren läßt.

Gerade im Tieftemperaturkoks aus Rohbraunkohle haben wir einen Brennstoff, der unter allen festen Brennstoffen die günstigste und sparsamste Wärmeausnutzung gestattet. Dieser Brennstoff hat einen Heizwert von 6000 WE., verbrennt rauchfrei und glimmt schnell an, läßt sich im Freien lagern und bei Schiffsverfrachtung pneumatisch heben.

Alle nicht entgasten Brennstoffe, beispielsweise das Braunkohlenbrikett, liefern bei der Verbrennung im Haushalofen einen geringen wärmetechnischen Nutzeffekt, hinzu kommt noch, daß die wertvollen Produkte (Teer) des Brennstoffes verloren gehen. Die Öfen, in denen Braunkohlen-Tieftemperaturkoks (Grudekoks) verfeuert wird, nennt man Grudeöfen. In letzter Zeit sind bedeutende Verbesserungen in der Konstruktion dieser Öfen zu verzeichnen. Während in den Öfen alter Konstruktion der frisch aufgelegte Koks stundenlang in der Feuerung liegt, bevor er sich entzündet, glimmt der Koks in den neueren Öfen mit Siebplattenfeuerungen in wenigen Minuten an. Selbst bei unsachgemäßer Bedienung versagt diese Feuerung nicht. Der Grudeofen mit Siebplattenfeuerungen entspricht für den Grudekoksabsatz von großer Bedeutung zu werden. Die

patentierten Einrichtungen (Abb. 56), an den neuesten Öfen bestehen darin, daß die aus der Hauptgrudeschicht austretenden brennbaren Gase (1 g asche- und wasserfreier Koks liefert etwa 150 ccm brennbare Gase, hauptsächlich Wasserstoff, Methan und Kohlenoxyd) auf einer hinter der Kochplatte lagernden, treppenrostartigen Siebplatte, die mit einer Hilfsgrudeschicht beschickt wird, zur Entzündung kommen, wobei der Koks hier mit Flammenbildung brennt. Es wird möglich sein, Öfen ähnlicher Konstruktion auch als Zimmeröfen einzurichten.

Der Brennstoffverbrauch eines Grude-Immerbrandofens beträgt in 24 Stunden rd. 3,5 kg Koks; diese 3,5 kg Koks sind aus 13 kg Rohbraunkohle gewonnen (in diesem Kohlenverbrauch sind 20 % für Kraftverbrauch angenommen), gegenüber der Brikettfeuerung im Küchenherd, wo rd. 20 Briketts in 24 Stunden benötigt werden = 10 kg Briketts, wozu 26 kg Rohbraunkohle benötigt werden (10 t Briketts = 26 t Rohbraunkohle). Dieses bedeutet eine 50prozentige Ersparnis an Rohkohle, wobei außerdem noch die wertvollen Produkte des Brennstoffes in Form von Teer gewonnen werden. Es muß also das Bestreben sein, für Tieftemperaturkoks (Grudekoks) aus Braunkohle eine größere Absatzmöglichkeit zu schaffen. Im Interesse einer sparsamen Brennstoffwirtschaft muß versucht werden, die Entwicklung so zu leiten, daß überall da, wo heute Braunkohlenbriketts gefeuert werden, der Koks in Küchen- und Zimmeröfen verwandt wird. Mit verbesserten Grudeofenkonstruktionen läßt sich dieses erreichen.

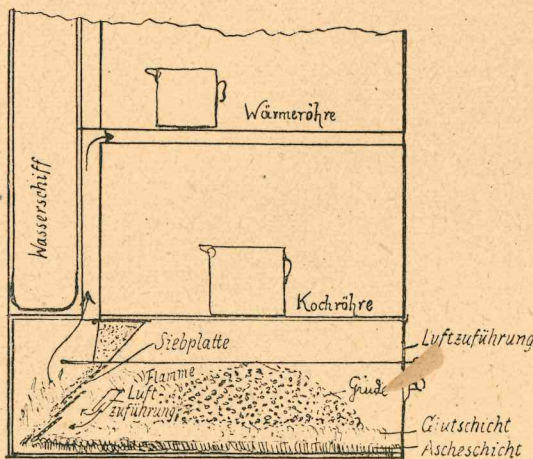


Abb. 56. Grudeofen DRP. 299894.

Wird der Tieftemperaturkoks aus Rohbraunkohle bei der Herstellung in Stickgefäßen zum Erkalten gebracht und der wasserfreie Koks in Trommelmühlen gemahlen, so ist dieses Mahlgut in Staubfeuerungen vorteilhaft zu verbrennen. Staubfeuerungen sind in der Zementindustrie seit langer Zeit bereits bekannt. Für andere industrielle Feuerungsanlagen dürfte die Staubfeuerung bald in Anwendung kommen.

Nach diesen Ausführungen erscheint es im volkswirtschaftlichen Interesse unbedingt wünschenswert, die Braunkohlenbrikettierung bei Verarbeitung bituminöser Braunkohle einzuschränken zugunsten der Braunkohlenverschmelzung bzw. Vergasung mit Gewinnung von Urteer.

Zum Schluß möchte ich noch einiges über den patentierten Thyssenschen Drehtrommelapparat berichten. Das Schwelen in Drehtrommeln ist bereits bekannt (Patente Frank, Fischer). Thyssen hat auf die Beheizung ein Verfahren-Patent genommen, dadurch gekennzeichnet, daß das Gut am Beschickungsende weniger stark erhitzt wird als am Austragende der Trommel, um eine Zersetzung der Kohlenwasserstoffe zu vermeiden; weiterhin ein Patent über einen Trommelentgaser mit schraubenförmig verlaufenden Führungsrippen für das durchzusetzende Gut zur Destillation der Kohle bei niedriger Temperatur.

Es muß zugegeben werden, daß bei vielen Brennstoffen und bei richtiger Drehgeschwindigkeit in dem erwähnten Drehtrommelapparat ein ständiges Umdrehen des Brennstoffes erfolgt und so die bekannten Zonenbildungen nach Möglichkeit vermieden werden können. Mit Steinkohle, die wasserarm (5 %)

und hart ist, kann man diese Schleuderung vornehmen, ohne daß der Halbkoks für weitere Verarbeitung, beispielsweise Vergasung, zu feinkörnig wird. Mit den neuesten Konstruktionen, wo Längsrippen vorgesehen sind, die zusammen mit den Schraubengängen Zellen bilden, gelingt es, die durch die Trommel hindurchwandernde Steinkohle in einzelne Kohlehäufchen von niedriger Schichthöhe zu zerlegen und diese einer gleichmäßigen Erhitzung von außen auszusetzen. Da Steinkohle bei dem Entgasungsprozeß weich wird, so gelingt es, durch das Hin- und Herrollen aus der Steinkohle einen dichten Halbkoks (in kugeligter Stückform) zu gewinnen bei guter Beschaffenheit des Teers und höchster Ausbeute und bei ununterbrochenem Betrieb. Dieses bedeutet für die Verschmelzung der Steinkohle einen ganz bedeutenden technischen Fortschritt.

Meines Erachtens wird sich auch harte lignitische Braunkohle sowie bituminöser Schiefer vorteilhaft im Drehtrommelapparat verarbeiten lassen. Mit müliger, erdiger Braunkohle mit 50% Wasser aber kann man die Schleuderung nicht vornehmen. Ist die Schleuderung bei der Drehbewegung zu stark, so zerstäubt das lockere Kokskorn und der Staub geht in den Teer über. Arbeitet ein solcher Apparat auf Teer als Haupterzeugnis, so wäre die Eindickung des wertvollen Schwelverzeugnisses durch den Koksstaub verhängnisvoll. Der entfallende Grudekoks würde wegen der feinkörnigen Beschaffenheit schwer zu verkaufen sein. An eine Vergasung dieses feinkörnigen Koksproduktes wäre überhaupt nicht zu denken.

Wird die Drehtrommel aber langsam gedreht, so ist die ständige Umwendung der Kohlschicht, die durch den Schraubengang durch die Trommel hindurch bewegt wird, kaum durchzuführen und damit hat man mit einem verhältnismäßig hohen Temperaturgefälle in der Kohlschicht zu rechnen. Die Gewinnung reiner Produkte, beispielsweise Wasserdampf, ist dann nicht möglich. Auch wird durch die Zonenbildung die Ofenleistung stark beeinflusst. Wenn die Drehtrommel für Verarbeitung von Steinkohle 23 m Länge aufweist, so müßte dieselbe bei Verarbeitung von Braunkohle ganz bedeutend länger sein, um im Verhältnis annähernd den gleichen Durchsatz zu erzielen. Neben dem großen Raumbedarf erscheint bedenklich der umständliche mechanische Aufbau gegenüber feststehenden Kammeröfen, der Kraftbedarf und der schlechte thermische Wirkungsgrad. Soll Braunkohle geschwelt werden mit dem Endzweck, den entfallenden Koks zu vergasen, so wird sich bei dem Transport des heißen Koks nach dem Vergaser der Koks leicht entzünden. Sämtliche Transporteinrichtungen führen zu einer weiteren Zerkleinerung des Koks. Der Prozeß erfordert dann zwei vollkommen getrennte Arbeitsweisen, erstens Verschmelzung im Drehtrommelapparat, zweitens Vergasung im Generator.

Die Betriebskosten würden außerordentlich hoch, und ich glaube kaum, daß eine derartig teure Einrichtung für die Verarbeitung von Braunkohle in Frage kommt, ganz abgesehen davon, daß die Vergasung des feinkörnigen Koks ungeheure Schwierigkeiten im praktischen Großbetriebe mit sich bringen würde.

Für die Verarbeitung von bituminöser erdiger oder feinkörniger Rohbraunkohle bietet der Drehtrommelapparat nur dann Vorteile gegenüber dem jetzigen Schwelverfahren in modernen Öfen nach System Rolle, wenn der Betrieb sich durchführen läßt bei niedrigen Betriebskosten und hoher Durchsatzleistung, eine Zerkleinerung des Kohlenkorns beim Transport durch die Trommel nicht stattfindet, durch Staubbildung die Güte des Teers nicht herabgemindert wird.

Schluß.

Wir stehen somit auf dem Gebiete der Verwertung bituminöser Rohbraunkohle vor einer großen Entwicklung. Große Mittel sind bisher angewandt worden,

um das Problem der rationellen Ausnutzung der Rohbraunkohle technisch und wirtschaftlich zu lösen. Die Schaffung eines vollkommen kontinuierlich arbeitenden Schwelgenerators mit Urteergewinnung sowie die eines Hochleistungsschwelofens, ferner die Schaffung geeigneter häuslicher und industrieller Feuerungen für die Verwertung des Tieftemperaturkokses ist anzustreben. Vorläufig liegen nur Teilerfolge vor, und doch ist es nötig, daß das Problem einer endgültigen Lösung zugeführt wird; gelingt dieses, dann dürfte der bituminösen Rohbraunkohle die Zukunft gehören.

Torfverwertung.

Von Dr. Gumal Fessel.¹⁾

Vor einigen Wochen las ich unter den Preisaufgaben der philosophischen Fakultät der Universität Greifswald folgendes Thema: „Die Auffindung nutzbarer Torflager in der Umgegend Greifswalds.“ Aus dieser Tatsache läßt sich die wachsende Erkenntnis entnehmen, daß der heutige Mangel an Brennstoffen die Aufsuchung und die wirtschaftliche Ausnutzung aller natürlichen Hilfsquellen zur dringenden Pflicht der Wissenschaft macht, und die Moorkulturbestrebungen in den moorreichen Ländern nach Kräften gefördert werden müssen.

Der erste Versuch der Nutzbarmachung der Moore wurde in Holland im Jahre 1250 ausgeführt. Ende des 13. Jahrhunderts finden wir bereits bei Bremen einen schiffbaren Kanal „Kuhgraben“, der zur Beförderung des gewonnenen Torfes diente.

Vor dem Dreißigjährigen Krieg gelangt in Württemberg die Moorausnutzung zur Blüte. Man findet hier die Torfkoksgewinnung in Meilern, die allerdings auch schon Anfang des 17. Jahrhunderts bei den Schmelzhütten in Freiberg in Sachsen betrieben wurde. Kurz nach dem Dreißigjährigen Kriege setzte die Kultivierung der Moorflächen in Bayern ein, wenn auch die Gewinnung des Brennstoffes wegen großen Waldreichtums verhältnismäßig spät Interesse fand. Die Moorkultur in Österreich hat spät begonnen. Die Förderung dieser Bestrebungen liegt jetzt dort — wie bei uns auch — in den Händen des Landwirtschaftsministers.

In den nordischen Ländern Schweden, Norwegen, Dänemark war „die Brandmoorkultur“ im 16. Jahrhundert in Anwendung. In Rußland wurde die Entwässerung der Moore schon seit Anfang des vorigen Jahrhunderts vom Staat betrieben, aber erst Ende des Jahrhunderts beginnt die Verwertung des Torfes, die allein in den letzten Jahren eine jährliche Produktion von über 3 Millionen Tonnen Brenntorf verzeichnen konnte. Das moorreiche Finnland widmet sich seit Beginn dieses Jahrhunderts der Moorverwertungsfrage.

Aus der älteren Literatur sieht man, daß die Torfverwertungsfrage schon frühzeitig viel Interesse erweckt hat. Vor 1800 sind 120 verschiedene Schriften erschienen, welche die Torfrage behandeln.

Der Torf entsteht durch vermodernde Zersetzung von Pflanzen, durch „Vertorfung“. Der Begriff ist noch nicht genau begrenzt, in Deutschland rechnet man noch Landflächen mit 20 cm hoher Torfschicht den Torfmooren zu.

Man unterscheidet botanisch Moos, Beisen, Wollgras, Heide, Föhrenwald, Bruchwald Astmoos, Schneiden, Seggen und Schilftorf.

Neben dieser Einteilung ist auch die Bezeichnung nach dem Grade der Zersetzung gebräuchlich. So heißen:

¹⁾ Vortrag, gehalten am 22. November 1919 auf der 6. Mitgliederversammlung zu Halle a. S.