

Zeitschrift für angewandte Chemie.

1902. Heft 33.

Zur Theorie der Steinkohlenbildung.

Von Dr. J. F. Hoffmann, Berlin.

Einleitung.

December 1896 erhielt Verf. von dem Vorsteher des Instituts für Gährungsgewerbe, Herrn M. Delbrück den Auftrag, ein von gerichtlicher Seite gewünschtes Gutachten über einen Kleiebrand experimentell zu bearbeiten. Die Versuche und Schlussfolgerungen wurden unter dem Titel: „Ein Beitrag zur Selbstentzündung von pflanzlichen Nähr- und Futterstoffen“ in der Wochenschrift für Brauerei 1897 No. 35, 36, 37 veröffentlicht. Ausserdem lieferte ich ein Referat für die Zeitschrift für physikalische Chemie Bd. 25, 1898.

Es war festgestellt worden, dass, wenn Kleie und andere organisirte Substanzen in Mengen von einigen kg eine bestimmte Temperatur erlangt haben, eine lebhafte Wärmeentwicklung auftritt.

Die Wärmegleichungen, welche dabei vermutlich in Frage kommen, sind im ersten Capitel dieser Schrift zusammengestellt.

Da die Haupteigenthümlichkeit dieser Vorgänge in der Abscheidung von Kohle unter Wärmeentwicklung besteht, so lag es nahe, einen Versuch zu machen, die künstliche und natürliche Kohlenbildung mit dieser Wärmeentwicklung in Zusammenhang zu bringen. In den folgenden Ausführungen hat Verf. diesen Versuch in Bezug auf die natürliche Kohlenbildung unternommen.

1. Die Wärmegleichungen der Kohleabscheidung aus Kohlehydraten und einige Folgerungen.

§ 1. In der Folge wird öfter Gelegenheit sein zu zeigen, dass man in Betreff der natürlichen Kohlenbildung einen wesentlichen Unterschied machen muss zwischen den einleitenden Gährungs- und Fäulnissprozessen und den darauf folgenden mit Temperaturerhöhung verbundenen eigentlichen Verkohlungsvorgängen.

Bei der trockenen Destillation der Kohlehydrate wird das Material der Hauptsache nach wahrscheinlich zunächst in Kohle und Wasser zerlegt¹⁾). Der Zerfall wird um so

glatter im angegebenen Sinne verlaufen, je niedriger die Verkohlungstemperatur ist. Aber schon bei verhältnismässig recht niedrigen Temperaturen macht sich die Einwirkung des frei werdenden Wassers auf die in statu nascendi befindliche Kohle bemerkbar, indem organische Verbindungen verschiedener Art gebildet werden. Je nach den Bedingungen treten durch diese secundären Einwirkungen sowohl einfache Gase, als auch sehr verwickelte Verbindungen auf.

Beobachtungen bei der künstlichen Kohlenbildung bestätigen diese Auffassung, denn man findet, dass die Kohlenausbeute um so grösser ist, je niedriger die angewandte Temperatur.

Während aber hier die Einwirkung des Wassers auf die neugebildete Kohle nur unter gewöhnlichem Luftdruck stattfindet, sind bei der natürlichen Verkohlung bedeutende Pressungen aufgetreten, wodurch Verbindungen ganz anderer Art entstanden, welche die anliegende, neugebildete reine Kohle imprägnirten.

Die künstliche und die natürliche Verkohlung zeigen in Betreff der entwickelten Gase, abgesehen von der überall vertretenen Kohlensäure, einen wesentlichen Unterschied. Während bei der ersten besonders Wasserstoff bemerkt wird, findet man in Begleitung der natürlichen Kohle meist Methan, welches bekanntlich in den Kohlengruben die gefährlichen schlagenden Wetter veranlasst.

Ohne Versuchsanstellungen lässt sich nicht entscheiden, ob dieses Gas nur bei der Gährung in der ersten Phase oder auch beim eigentlichen Verkohlungsvorgang der zweiten Phase entstanden ist.

Wir betrachten ausser Kohle und Wasser Methan und Kohlensäure als die Ursprungsstoffe, welche dann durch die folgende Einwirkung auf die freigewordene Kohle die eigentliche Steinkohle bildeten.

Es soll untersucht werden, welche Wärmeänderungen bei diesen Vorgängen eintreten können.

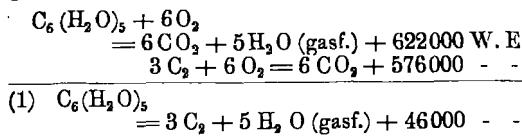
§ 2. Die directe mit Flammenbildung verbundene Verbrennung von Kohlehydraten und Kohle kommt in der Natur gegenwärtig nur sehr selten vor und zwar bei Wald-, Prairie- und oberflächlichen Moorbränden und noch seltener bei sogenannten Erdbränden.

¹⁾ Eine Vermuthung, die dem Verf. gegenüber zuerst von Delbrück geäussert wurde.

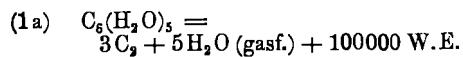
Die späteren Entwicklungen machen es wahrscheinlich, dass für frühere Zeitalter Brände in grösserem Umfange und grösserer Zahl anzunehmen sind.

Es ist bekannt, dass bei der totalen Verbrennung der fraglichen Stoffe Temperaturen von gegen 2000° C. entstehen können.

Die Wärmemengen, welche sich beim einfachen Zerfall der Kohlenhydrate in Kohle und Wasser bilden, erfahren wir durch folgende Gleichungen:



Nimmt man an, dass das Wasser nicht im gasförmigen Zustande entweichen konnte, sondern wegen des darauf lastenden Sedimentdruckes im flüssigen Zustande verbleiben musste, dann werden rund $5 \times 600 \times 18 = 54000$ W.E. mehr in Freiheit gesetzt und man erhält



Diese Wärme theilt sich dem Material mit und wird um so höhere Temperatur veranlassen, je schneller die Reactionen verlaufen. Daher sind die nachfolgend berechneten Temperaturen Maximalgrössen, während die wirklich aufgetretenen Temperaturerhöhungen, je nach den Umständen, wesentlich niedriger gewesen sein werden, sofern nicht noch andere, später zu besprechende Vorgänge im Sinne der Temperaturerhöhung mitgewirkt haben.

Der Zerfall der Kohlenhydrate in Wasserdampf und Kohle ergiebt die mögliche Temperatursteigerung nach folgendem Schema:

	kg	spec. Wärme	W.E.
Wasserdampf	90	0,48	= 43,2
Kohle	72	0,35	= 25,2
			68,4
$\frac{46000}{68,4}$	$= 670^{\circ}$ C. = T_1 ?		

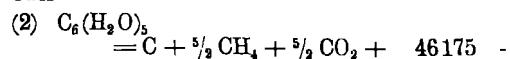
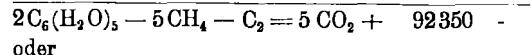
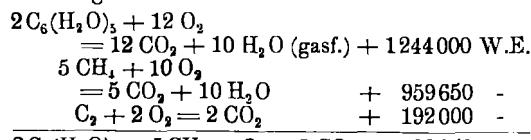
Beim einfachen Zerfall der Kohlenhydrate in Kohle und Wasser nach Gleichung (1) kann also die Temperatur der restirenden Kohle um 670° C. steigen. Die wirkliche Temperatur ist dann die Summe dieser Zahl und der Umgebungstemperatur. Nach Gleichung (1a) würde man erhalten

$$\frac{100000}{124,2} = \text{rund } 800^{\circ} \text{ C.} = T_{1a},$$

wenn die specifische Wärme des flüssigen Wassers bei hohen Temperaturen mit 1,1 in

²⁾ Wir bezeichnen die Temperaturerhöhung mit T_n , in dem „n“ die Nummer der Gleichung bedeutet, auf welche sich die Zahl bezieht.

Rechnung gestellt wird. Eine einfache Gleichung, nach welcher sich Methan und Kohlensäure aus den Kohlenhydraten unter Abscheidung von Kohle bilden kann, ergiebt sich wie folgt:



Die spec. Wärme des Methans ist 0,59, diejenige der Kohlensäure gleich 0,22, daher folgt

$$\frac{46175}{52} = 890^{\circ} \text{ C.}$$

Die beiden Gase stehen im Kohlengestein unter Druck, wodurch noch höhere Temperaturen möglich sind. Wir wollen daher setzen

$$T_2 = \text{rund } 900^{\circ} \text{ C.}$$

§ 3. Die vor der eigentlichen Verkohlung stattgefundenen Vermoderungsprocesse hatten das Material schon mehr oder weniger zersetzt, so dass bereits eine Menge Wärme durch das darüber stehende Wasser aufgenommen worden war. Als die restirenden Substanzen von Gestein bedeckt wurden und der eigentliche Verkohlungsprocess begann, mussten sie demnach, soweit der Zerfall in Kohle und Wasser in Betracht kommt, pro Gewichtseinheit einen geringeren Wärmeverbrauch besitzen.

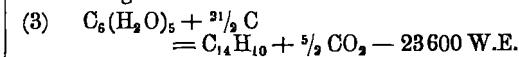
Wir wollen zu bestimmen suchen, ob derselbe bei sehr weit vorgesetzter Zersetzung von einiger Bedeutung ist.

Von den fossilen Brennstoffen zeigt der Anthracit den geringsten Zusammenhang mit den ursprünglichen Kohlenhydraten.

Seine Zusammensetzung ist:

Kohlenstoff	86,4	Proc.
Wasserstoff	3,05	-
chemisch gebundenes Wasser	2,10	-
hygroskopisches Wasser	5	-
Asche	3,5	-

Es sei, aus später (§ 4) sich ergebenden Gründen, angenommen, dass der Zerfall der noch im Material vorhandenen Kohlenhydrate in Kohle und Wasser eine solche Einwirkung des letzteren auf Kohle veranlasst habe, dass Anthracen gebildet wurde und zwar nach der Gleichung:



Die spec. Wärme des Anthracens zu 0,4 angenommen, würde man erhalten

$$\frac{23600}{95,4} = - 250^{\circ} \text{ C.} = T_3.$$

Bei dieser möglichen Bildung des Anthracens würde also die Temperatur des Gemisches um 250° C. erniedrigt werden.

Ein chemischer Satz lautet: Temperaturerhöhung befördert das mit Wärmebindung gebildete System.

Wenn das Anthracen unter grosser Wärmebindung entsteht, ist anzunehmen, dass es sich bei hohen Temperaturen gebildet hat, daher ist weiter zu schliessen, dass auch die Bildung der letzten Anthracenreste trotz der erfolgenden Abkühlung noch bei hohen Temperaturen stattfand und dass zu diesen die berechneten 250° C. hinzuzählen sind, um die wirkliche Temperatur beim Beginn des Verkohlungsprocesses zu erhalten.

Die Temperaturänderungen werden in der Wirklichkeit auch hier stets geringer ausfallen müssen, weil der Process nicht mit unendlicher Geschwindigkeit verläuft.

Unter der Annahme der Anthracenbildung soll nun mit Hülfe der Gleichung (3) und der procentischen Zusammensetzung des Anthracits versucht werden, die ursprüngliche Zusammensetzung des Materials zu finden.

Die in 100 kg Anthracit vorhandenen 3,05 kg Wasserstoff mögen im Anthracen verblieben sein; sie würden 51,24 kg Kohle gebrauchen, was 54,29 kg Anthracen entspricht. Auf Grund der letzten Zahl wird Gleichung (3) umgerechnet und man erhält

$$49,42 \text{ kg Kohlehydrate} + 38,41 \text{ Kohle} = 54,29 \text{ kg Anthracen} + 33,55 \text{ kg Kohlensäure.}$$

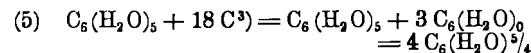
Ferner sind vorhanden 2,1 kg Wasser. Es ist nicht wahrscheinlich, dass noch unzersetztes Kohlehydrat vorhanden ist; das Wasser war aber im Ausgangsmaterial, im Kohlehydrat und brauchte zur Bildung des letztern 1,68 kg Kohle, was 3,78 kg Kohlehydrate ergiebt.

Das hygroskopische Wasser muss unberücksichtigt bleiben, weil es wohl nachträglich hinzugekommen sein wird. Mit Rücksicht auf den gesammten Kohlegehalt des Anthracits, welcher 86,4 Proc. beträgt, von dem aber 51,24 kg zur Bildung von 54,29 kg Anthracen verwendet wurden, erhält man schliesslich

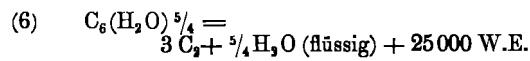
Starke Kohle	Anthracen	Kohlen-	Wasser	Kohle
kg	kg	kg	kg	kg
49,42 + 38,41 =	54,29	+ 33,55		
3,78 - 1,68 =		+ 2,1		
+ 35,16 =			+ (86,4 - 51,24)	

$$(4) 53,2 + 71,89 = 54,29 + 33,55 + 2,1 + 35,16$$

Wenn man auf der linken Seite dieser Gleichung die beiden Zahlen 53,2 kg bez. 71,89 kg ersetzt durch die angenäherten Werthe 54 kg bez. 72 kg und diese verdreifacht, dann erhält man



d. h. die Zerstörung der organischen Substanz ist durch den Vermoderungsprocess im höchsten Falle soweit vorgeschritten, dass in jeder Molekel Kohlehydrat $\frac{3}{4}$ des Wassers entfernt worden sind. Vielleicht ist die weitere Verkohlung, sei es mit, oder sei es ohne Luftzutritt auf nassem Wege und bei nicht zu hohen Temperaturen aus Gleichgewichtsgründen nicht möglich. Zerfällt das soweit abgebaute Kohlehydrat in Wasser und Kohle, dann erhält man



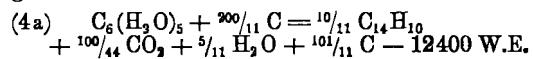
und weiter

$$\frac{25000}{49,9} = \text{rund } 500^\circ \text{ C.} = T_6.$$

Damit wäre die oben gestellte Frage in dem Sinne beantwortet, dass auch solche Kohlehydrate, welche bereits den höchsten Grad der durch Vermoderung möglichen Zersetzung erreicht haben, bei ihrem gänzlichen Zerfall in Kohle und Wasser noch eine bedeutende Temperaturerhöhung zu erzeugen vermögen.

§ 4. An die Gleichung (4) sind noch einige Bemerkungen zu schliessen.

Wir können ihr z. B. die folgende Form geben:



Die Temperaturerniedrigung bei dieser Umsetzung würde sein:

$$\frac{12400}{134,1} = \text{rund } - 90^\circ \text{ C.} = T_{4a}.$$

Nach F. Muck⁴⁾ soll in den Brennstoffen überhaupt keine freie Kohle vorhanden sein. Wenn diese Ansicht richtig ist, müssten die auf der rechten Seite der Gleichung (4a) stehenden $\frac{10}{11}$ Kohle dem Anthracen einverlebt werden, so dass noch weit ungesättigtere Kohleverbindungen entständen. Und in der That haben wir ja nicht Anthracen im Anthracit, sondern ebenfalls viel ungesättigtere Verbindungen.

Betrachtet man die Bildungswärmen der verschiedenen Kohlenwasserstoffe, so fällt auf, dass diese im Allgemeinen um so grössere negative Werthe haben, je ungesättigter die Verbindungen sind. Daraus ist zu schliessen, dass auch die Einverleibung der hier als frei angenommenen Kohle in das Anthracen mit einer weiteren Wärmebindung verknüpft sein wird. Unter diesen Umständen würde die Temperaturerniedrigung nicht 90° C., wie nach Gleichung (4a), sondern

³⁾ Die genauere Berechnung ergiebt 18,2 C.

⁴⁾ Die Chemie der Steinkohle, Leipzig 1891.

weit mehr betragen, und die Bildung wird bei noch höheren Temperaturen anzunehmen sein, als wenn Anthracen entstanden wäre, was Alles wieder auf eine höhere Anfangstemperatur hindeutet.

Aus alledem würde folgen, dass die zweite Phase der Bildung des Anthracits und jener Steinkohlen, welche hochmolekulare endothermische Verbindungen enthalten, nicht im Verlauf vieler Jahrtausende, sondern im Gegentheil innerhalb sehr kurzer Zeiten stattgefunden haben müsste.

Diese Schlussfolgerungen entbehren einer gewissen Wahrscheinlichkeit nicht und sie werden durch später zu erwähnende That-sachen eine Bestätigung erfahren. Doch wäre eine experimentelle Aufklärung von grosser Wichtigkeit und zwar scheint sich diese auf folgende Weise durchführen zu lassen: Es würde im Wesentlichen darauf ankommen, zu entscheiden, in welchem Verhältniss die Verbrennungswärmen der verschiedenen Brennstoffe zu ihrer Zusammensetzung stehen. Falls stark endothermische, also vermutlich bei hohen Temperaturen entstandene Verbindungen im Anthracit und in der Steinkohle vorhanden sind, müsste dieser Umstand bei Berücksichtigung der Zusammensetzung in der Verbrennungswärme zum Ausdruck kommen.

§ 5. Die bisherigen Betrachtungen beziehen sich auf Kohlehydrate. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass sich ähnliche Verhältnisse bei den Eiweissstoffen ergeben werden, welche in den Pflanzen, weit mehr aber noch im Thierreich wesentliche Bedeutung besitzen.

Nach den vorliegenden Erfahrungen besitzen die Stickstoffverbindungen die Fähigkeit, die Selbsterwärmungsvorgänge in den Pflanzenstoffen deutlich zu verstärken. Denn Kleie ist leichter zur Selbstentzündung zu bringen, als Heu, während Stärke sich bei den bisherigen Versuchen ganz indifferent verhalten hat. Ferner besitzt eiweissreiche Gerste ein viel hitzigeres Wachsthum bei der Keimung, d. h. sie erwärmt sich im Haufen viel leichter, als eine eiweissarme Gerste (Delbrück). Noch mehr werden die Selbsterwärmungsvorgänge befördert durch die Gegenwart von Fett. Ein Beispiel hierfür ist der Mais, welcher in grösseren Haufen weit leichter zur Selbsterwärmung neigt, als die anderen Körnerfrüchte. Diese Steigerung der Selbsterwärmungsfähigkeit findet bemerkenswerther Weise ihren Ausdruck in der verschiedenen Grösse der Verbrennungswärme der Stoffe, welche bei den Kohlehydraten 4200 W.E., bei den Eiweissstoffen über 5000 W.E., bei den Fetten dagegen in der Regel mehr als 9000 W.E. beträgt.

Aus diesen Gründen müsste man erwarten, dass die thierischen Substanzen, die doch wesentlich aus Eiweiss und Fett bestehen, noch leichter zur Selbsterwärmung neigen sollten, wie die Pflanzen.

Ein derartiger Schluss ist nicht zulässig; denn bei der Fäulniss entsteht schon bei niedriger Temperatur eine Reihe von Stoffen, welche noch einen bedeutenden Wärmeinhalt zurück behalten, der also bei den Selbsterwärmungsvorgängen nicht zur Geltung kommt. Solche Stoffe sind Ammoniak und besonders Wasserstoff. Durch die reichliche Entwicklung solcher Gase kann die Wärmeerzeugung wesentlich erniedrigt werden.

Die Erfahrung lehrt allerdings weiter, dass auch in solchen Materialien, die derartige Gase in reichem Maasse entwickeln, ebenfalls Selbsterwärmungen auftreten können. Das bekannteste Beispiel sind die Düngerhaufen, welche sich rasch und hoch erhitzen, ja sogar in Brand gerathen können. Es ist wohl zu beachten, dass die Zersetzung bei den thierischen Eiweissstoffen in der Regel viel schneller erfolgt, als bei den Kohlehydraten. Wenn daher auch bei der Fäulniss von 1 kg thierischer Substanz wegen Bildung der vorhergenannten Gase nicht so viel Wärme in Freiheit gesetzt wird, wie bei der Vermoderung von 1 kg Pflanzensubstanz, so kann doch wegen der grösseren Schnelligkeit der Vorgänge in derselben Zeit eine grössere Menge zerstört werden. Durch wird aber die entwickelte Wärme menge erhöht.

§ 6. Ergebniss: Die Abscheidung von Kohle aus Kohlehydraten ist mit Wärmeabgabe verbunden, welche das restirende Material bis auf 900° C. zu erhitzen vermag.

Es entstehen aber secundär vermutlich stark endothermische Verbindungen, welche die Temperatur des Gemisches wesentlich herabsetzen. Dennoch wird man annehmen müssen, dass die resultirende Temperatur bei der Kohlenbildung auch noch am Ende der Reaction sehr hoch gewesen sein muss, weil die endothermischen Verbindungen zu ihrer Bildung im Allgemeinen hohe Temperatur nötig haben. Die Anfangstemperatur wird also noch um die bei der Umsetzung verursachte Temperaturerniedrigung höher gewesen sein.

Wie weit die thierischen Eiweissstoffe Selbsterwärmung erzeugen können, bedarf noch der weiteren Untersuchung. Man kann gegenwärtig nur aussagen, dass sie wahrscheinlich ebenfalls einer bedeutenden Selbsterwärmung fähig sind.

2. Die gegenwärtigen Ansichten bezüglich der Steinkohlenbildung. Gründe für ihre Unzulänglichkeit. Weitere Gründe für die Mitwirkung hoher Temperaturen.

§ 7. Man nimmt an, dass Pflanzen auf sumpfigem Boden wuchsen und nach dem Absterben unter Wasser sanken; auf ihren Resten gediehen andere Pflanzen, die dasselbe Schicksal erlitten. Unter Wasser häuften sich die Reste an, vermoderten und verkohlten zum Theil, indem sich durch den Einfluss von Mikroben Methan, Kohlensäure und andere Gase in den verschiedensten Verhältnissen bildeten.

In einem solchen organischen Lager musste die Vermoderung und Verkohlung in den unteren Schichten mehr vorgeschritten sein, als in den oberen, weil sie längere Zeit unter Wasser lagen. Andererseits wurde aber mit wachsender Anhäufung der Massen das Wasser aus den unteren Theilen in entsprechendem Maasse entfernt, so dass die Gährungsvorgänge im Laufe der Zeit unten eine allmähliche Verzögerung erlitten, während sie in den oberen Schichten mit gröserer Kraft fort dauerten. Erst als die organischen Massen mit Sedimenten bedeckt wurden, trat auch in den oberen Schichten diese Verzögerung in der Zersetzung ein.

Man hat weiter angenommen, dass die Verkohlungsprozesse auch unter den grössten Bedeckungen fortschreiten; aus der ursprünglichen Torfbildung sei Braunkohle hervorgegangen, aus dieser wieder die Steinkohle, und hieraus sei endlich der Anthracit entstanden. Graphit soll in diese Stufenfolge nicht hineingehören.

Weil die am wenigsten verkohlten Substanzen (Torf) den neueren Formationen angehören und die Verkohlung in der Regel um so weiter vorgeschritten ist, in je älteren Lagern die betreffenden Stoffe vorkommen, so glaubt man, dass die Länge der verflossenen Zeiträume und wohl auch die Stärke des darüber lastenden Druckes die wesentlichen Factoren der Verkohlung sind. Man meint, dass der Verkohlungsvorgang auch jetzt noch fort dauert, und man findet eine Bestätigung darin, dass in den Steinkohlen Gase eingeschlossen sind, welche als Producte langsamer Zersetzung gelten.

Die Veränderungen von geförderten Steinkohlen an der Luft betrachtet man wohl auch als einen ähnlichen Process, welcher durch die reichliche Gegenwart der Atmosphärieren wesentlich beschleunigt wird. Im letzteren Falle tritt häufig ein Zerfall, ein Zerbröckeln ein, was beim natürlichen Vorkommen durch den auflastenden ungeheueren Druck verhindert wird.

§ 8. Alle diese Gründe haben ihre Begründung; ihnen wird aber ein zu grosser Einfluss zugeschrieben, denn sie werden durch andere Einwirkungen in den Schatten gestellt.

In Bezug auf die einzelnen Punkte ist Folgendes zu bemerken:

a) Wenn Zeit und Druck einen so wesentlichen Einfluss haben, dann müsste man um so verkohlteres Material finden, je älter die Formationen sind. Dieses trifft in vielen Fällen nicht zu. Gumbel⁵⁾ erwähnt in seinem Lehrbuche der Geologie, dass in Russland in Devonablagerungen Braunkohlen gefunden worden sind; auch Neumayr⁶⁾ giebt an, dass die Steinkohle in den organischen Ablagerungen Central-Russlands eine braunkohlenartige Beschaffenheit habe. Andererseits sind aber seit geschichtlichen Zeiten Holzzimmerungen in Bergwerken in Braunkohlen umgewandelt, während weit ältere Ablagerungen nur Vertorfung zeigen.

In Bezug auf den Druck hat Gumbel⁷⁾ Experimente angestellt, aus welchen sich ergab, dass selbst bei Drucken bis zu 20000 Atmosphären eine Kohlenbildung nicht eintritt.

b) Wenn wir die Reihe Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthracit betrachten und zunächst einmal ihre Bildung unter gleichen Verhältnissen voraussetzen wollen, dann müsste, falls die Zeit für ihre Entstehung maassgebend ist, der Torf am wenigsten, der Anthracit dagegen am meisten Asche haben, weil doch nicht nur der Wasserstoff in den organischen Resten, sondern auch Kohlenstoff in Form von Kohlensäure und Kohlenwasserstoffen entweicht. Man findet aber gerade umgekehrt in der Regel weniger Asche, je mehr sich das Material dem Anthracit nähert, während doch schon die völlige Gleichheit der Aschenmenge die obige Annahme von der Wirkung der Zeit unhaltbar machen müsste.

c) Die Prozesse, durch welche die Verkohlung stattfindet, sollen Gährungsscheinungen sein. Auch wir sind der Meinung, dass diese in der ersten Zeit der Verkohlung wesentlichen Einfluss geübt haben; sie bildeten aber nur eine Phase der Steinkohlenbildung, worauf eine zweite Phase auftrat, wobei die eigentliche Verkohlung ohne Gährungsprozesse stattfand.

Die Steinkohlen haben einen so geringen Wassergehalt (meist nicht wesentlich über 5 Proc., wenn nicht gerade durch Spalten in

⁵⁾ Gumbel. Geologie von Bayern.

⁶⁾ Neumayr. Erdgeschichte, II, S. 574.

⁷⁾ Gumbel. Texturverhältnisse der Mineralkohle S. 127.

den Lagern Wasser nachträglich hinzugekommen ist), dass jede Mikrobenthätigkeit als ausgeschlossen zu betrachten ist. Die grosse Trockenheit der Steinkohle wird am besten durch die Thatsache gekennzeichnet, dass in den Kohlengruben Staubexplosionen auftreten, die man durch Zufuhr von viel Wasser zu verhindern sucht.

Auch der stärkste Sedimentdruck kann unserer Ansicht nach nicht im Stande sein, die organischen Reste bis zu der gegenwärtigen Trockenheit zu entwässern.

Noch aus einem anderen Grunde ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass die Bildung der Steinkohlen allein durch Gährung veranlasst sei. Wir haben es nämlich in den Steinkohlen offenbar mit aromatischen Verbindungen zu thun und diese sind in der Regel mehr oder minder giftig für die organisirten Wesen.

Hier ist die Möglichkeit geboten, zwischen Braunkohlen und Steinkohlen ein unterscheidendes Merkmal aufzustellen; denn es ist nicht wahrscheinlich, dass die Braunkohlen aromatische Verbindungen in grösseren Mengen enthalten, abgesehen von Harzen und Ausscheidungsproducten der Gährungserreger. Wenn man demnach in der Braunkohlenformation Flötze oder Flötztheile mit reichen aromatischen Verbindungen findet, dann wäre diese Kohle richtiger als Steinkohle zu bezeichnen, falls nicht Infiltrationen durch anderwärts gebildete aromatische Flüssigkeiten vorliegen. Würde man dagegen in der Carbonformation solche Flötztheile finden, die unveränderte Kohlehydrate enthalten, dann müssten sie als Braunkohle aufgefasst werden.

Weil die Gährung in den Steinkohlenlagern der Gegenwart ausgeschlossen ist, so können auch die in ihnen vorhandenen Gase gegenwärtig nicht durch Gährung entstehen. Dagegen ist zu beachten, dass sie wohl zum Theil durch Gährung in früheren Zeiten entstanden sein können, nämlich während der ersten Phase der Kohlenbildung.

d) Wasser und Luft können sehr langsam verlaufende Umsetzungen hervorrufen.

Der Luftsauerstoff wird aber wohl kaum dort hinzutreten können oder, wie es nothwendig ist, dauernd diffundiren, wo Gase unter hohem Druck eingeschlossen sind.

e) Ferner scheint von mancher Seite folgender Gedanke unbestimmt empfunden zu sein: Man weiss, dass Chlorophyll unter dem Einflusse des Sonnenlichtes die Kohlensäure in Kohle und Sauerstoff zu spalten vermag, dass die Kohle im Entstehungszustande Wasser aufnehmen kann, unter Bildung von $C_6(H_2O)_m$, Stoffe, welche zum Aufbau der

Pflanze dienen. Man vermutet nun, dass bei Abwesenheit des Tageslichtes in Kohlehydraten das Bestreben auftritt, in Kohle und Wasser zu zerfallen. Hieron ist aber bis jetzt bei gewöhnlicher Temperatur nichts beobachtet worden, sondern man findet im Gegentheil, dass die gebildeten Kohlehydrate und die entstandenen Eiweissverbindungen das Bestreben haben, sich zu polymerisiren, dass also die hierdurch entstandenen Verbindungen die stabileren Modificationen sind.

Wir sind also zu dem Schlusse gekommen, dass keine Wahrscheinlichkeit vorliegt, für die wesentliche Mitwirkung weder des Druckes noch der Gährung, noch der langsam Oxydation, noch eines langsamen Zerfalls in Kohle und Wasser bei gewöhnlichen Temperaturen.

§ 9. Lässt man dagegen die Annahme gelten, dass Temperaturen verschiedener Höhe mitgewirkt haben, dann ist eine Menge von Schwierigkeiten beseitigt und die Folgerungen des 1. Capitels würden in ihre Rechte treten.

Wir wollen diese Annahme noch weiter zu stützen versuchen. Es ist nicht gelungen, wirkliche Steinkohle auf künstlichem Wege herzustellen. Die Lösung dieser Aufgabe, welche ganz gewiss bald zu erwarten steht, würde die Frage wesentlich klären. Die bisherigen Versuche ergaben nur Steinkohlen ähnliche Producte, aber auch diese entstanden nur unter Einwirkung höherer Temperaturen. Wenn man Holz in zugeschmolzenen Röhren erhitzt, erhält man bei einer Temperatur von 200 bis 280° C. eine Masse, die holzkohlenartig ist, über 300° C. eine steinkohlenartige Substanz und über 400° C. eine anthracitähnliche Substanz.

Die Thatsache, dass es nur bei höheren Temperaturen gelungen ist, solche Substanzen herzustellen, ist kein Beweis dafür, dass die natürliche Verköhlung bei diesen Temperaturen stattgefunden hat. Sie erhöht aber die Wahrscheinlichkeit der gemachten Annahme. Im nächsten Capitel werden wir Vorgänge kennen lernen, welche der Annahme fast den Werth der Gewissheit verleihen.

3. Die Selbsterwärmung und die Selbstentzündung organisirter Massen.

§ 10. Die Selbsterwärmung bestimmter organisirter Stoffe ist eine längst bekannte und anerkannte Thatsache. Anders verhält es sich mit der Selbstentzündung. Sie ist allerdings von mehreren Seiten mindestens seit dem 18. Jahrhundert⁸⁾ behauptet worden.

⁸⁾ Aus früheren Zeiten sind dem Verfasser keine Angaben bekannt.

Von anderer Seite wurde aber ihre Möglichkeit immer wieder nachdrücklich bestritten, auch in neuerer Zeit, mitunter auf Grund ganz unzulänglich angestellter Versuche. Thatsächlich sind viele Brände entstanden, nach deren Ursache man vergeblich geforscht hat, und die, da Brandstiftung hier auszuschliessen ist, keine andere Erklärung zu lassen, als die Selbstentzündung. Das in verschiedenen Schriften über diesen Gegenstand gesammelte Material ist reichhaltig⁹⁾. Es bezieht sich auf die Selbstentzündung der verschiedensten Stoffe. In hervorragender Weise findet man drei Gruppen von Körpern betheiligt:

- a) Ölhaltige Stoffe.
- b) Pflanzennährstoffe.
- c) Brennmaterialien.

a) Geölzte Stoffe.

§ 11. Die eigentliche Geschichte der Selbstentzündungsfrage beginnt mit dem Brande, welcher im April des Jahres 1781 in Kronstadt auf der russischen Kriegsflagge Maria ausbrach. Ein Gemisch von Öl und Kienruss, welches zum Anstreichen dienen sollte, hatte man in Segeltuch eingewickelt und mit Stricken umbunden liegen lassen. Das Bündel geriet in Brand. Die Kaiserin Katharina erfuhr davon und um Aufklärung darüber zu erhalten, ob wirklich Selbstentzündung vorliege, beauftragte sie die Admiralität, in Verbindung mit der Akademie der Wissenschaften zu Petersburg nach dieser Richtung hin Versuche anzustellen. Gleich der erste Versuch mit Kienruss und Öl gelang, ebenso verschiedene andere¹⁰⁾.

§ 12. Von grösster Wichtigkeit sind die Versuche des Pfarrers Sommer in Königsberg in Pr. mit ölichen Stoffen¹¹⁾). In dem sehr heissen Jahre 1811 waren mehrfach ölhaltige Strohreste, Bastmatten und Kleider in Brand gerathen; man war allgemein der Ansicht, dass Fahrlässigkeit vorliege, während Sommer an die Möglichkeit der Selbstent-

⁹⁾ Besonders hervorzuheben sind: W. Döring: Feuerlösch- und Rettungswesen.

Dr. L. Häpke. Die Selbstentzündung, Bremen 1893.

Prof. Dr. Medem, Landgerichtsrath. Die Selbstentzündung von Heu, Steinkohle und geölten Stoffen. Greifswald 1895. Neue Folge 1898.

¹⁰⁾ Diese Versuche sind veröffentlicht in den Act. Petrop. 1779 und 1781.

In dankenswerther Weise hat Medem in der zweiten Folge seiner Schrift (vergl. vorhergehende Anmerkung) das gesamme Material ausführlich niedergelegt und es so der unverdienten Vergessenheit entrissen.

¹¹⁾ Sommer. Die durch grosse Sonnenwärme veranlasste Selbstentzündung mit Öl befeuchteter brennbarer Körper, Gilbert's Annalen der Physik 1819 Bd. 63.

zündung durch grosse Sonnenhitze glaubte. Er tränkte mehrere Ellen Leinwand und Flanell mit Öl und breitete das Zeug auf dem Dache des Hauses in der Sonne aus. Zugleich wurden auch andere Zeugstoffe und Stroh der Sonnenhitze ausgesetzt, welches dazu dienen sollte, die mit Öl getränkten Stoffe einzwickeln und vor Wärmeverlust zu schützen. Etwa 1 Stunde nach dem Ausbreiten der Leinwand zeigte ein darunter liegendes Thermometer eine Temperatur von 65° C. Alsdann wurde das geölte Zeug zusammengewickelt, in die anderen warmen Stoffe und das Stroh gehüllt, und das Bündel in einen Kessel gelegt, wo es noch mit einem Kissen bedeckt wurde.

Bereits nach drei Stunden trat ein brandiger Geruch auf, der sich beständig verstärkte; als am nächsten Tage das Kissen gelüftet wurde, schlügen aus dem Stroh die hellen Flammen heraus. Durch diesen Versuch, der mehrfach mit demselben Erfolge wiederholt wurde, hatte Sommer die Gefährlichkeit der Sonnenwirkung auf geölte organische Stoffe bewiesen.

§ 13. Ferner ist bekannt, dass in früheren Jahren viele Fabrikbrände durch Putzlappen und Putzwolle herbeigeführt wurden, die unbeachtet in den Winkeln herumlagen. Erst die strengen Vorschriften der Polizei haben hierin Wandel geschaffen.

b) Pflanzennährstoffe.

§ 14. Für unsere Betrachtungen sind diese Körper die wichtigsten. Sie sind es auch, welche am meisten zu Meinungsverschiedenheiten über die Möglichkeit der Selbstentzündung geführt haben.

Am häufigsten beobachtet ist die Selbstentzündung beim Heu. In grossen Heuhaufen tritt oft eine meist erwünschte Gährung ein, die zur Wasserdampfbildung und zum Auftreten von Geruch Veranlassung gibt. Das Vieh frisst ein derartiges Material ausserordentlich gern. Eine gewisse Temperatur darf im Innern des Haufens nicht überschritten werden, weil sonst die Nährstoffe in ihrem Werthe leiden. Steigt die Temperatur weiter, dann entwickeln sich reichlicher Wasserdämpfe, der Geruch wird stärker, der Haufen ändert seine Gestalt und sinkt allmählich zusammen bis auf die Hälfte, ja bis auf ein Viertel seiner ursprünglichen Höhe¹²⁾.

Die Temperaturen im Innern solcher Haufen sind nicht gemessen worden. Man hat aber mehrfach spitze eiserne Stangen hineingetrieben und fand dann mitunter nach

¹²⁾ Vergl. Anm. 2. Medem.

einiger Zeit das aussen befindliche Ende so stark erhitzt, dass man es nicht mit blosen Händen anfassen konnte. Das andere Ende war unter solchen Umständen nach dem Herausnehmen glühend. Selbst dann kann der Vorgang ruhig ohne Feuererscheinung verlaufen, indem nach beendeter Reaction Abkühlung eintritt. Ist letztere vollständig eingetreten und besichtigt man den Haufen in seinen einzelnen Teilen, dann findet man alle Übergänge von der unveränderten Pflanzensubstanz aussen bis zur reinen festgebackenen Kohle im Innern.

In der Absicht, den Ausbruch eines Feuers zu vermeiden, hat man zuweilen die stark dampfenden Haufen auseinander gerissen und dadurch gerade das Gegenteil erzielt; denn die hinzutretende Luft setzte das Material in Flammen. Solche Brände sind schwer zu löschen und führen ausserdem eine andere grosse Gefahr mit sich, nämlich eine bedeutende Entwicklung von Kohlenoxyd.

§ 15. Seltener als bei Heu sind die Fälle von Selbsterwärmung und Selbstentzündung bei Getreide, Mehl und Kleie. Da aber gerade ein Kleiebrand dem Verfasser die Veranlassung zum Studium dieser Vorgänge gab, so soll an dieser Stelle auf die Selbsterwärmung in ihren einzelnen Phasen näher eingegangen werden.

Die Pflanzensubstanz athmet, auch im zerkleinerten Zustande. Der hierfür nötige Sauerstoff wird gewöhnlich der Luft entnommen. Wenn diese aber keinen Zutritt hat, wird der in den chemischen Verbindungen der Pflanzensubstanz aufgespeicherte Sauerstoff dafür verwendet¹³⁾; in diesem Falle haben wir die sogenannte intramolekulare Athmung, welche nach neueren Untersuchungen französischer Forscher genau so verläuft, wie der Vorgang der alkoholischen Gährung mittels Hefe. In beiden Fällen ist der Verlauf von einer Wärmeentwicklung begleitet, welche von der Verbrennung der organischen Substanz zu Kohlensäure und Wasser beziehungsweise der Alkoholbildung herröhrt. Wärme und Feuchtigkeit verstärken die Athmung, wodurch eine weitere Wärme- und Wasserbildung auftritt.

Die erhöhte Temperatur des Materials und die allmähliche Anreicherung der Feuchtigkeit bildet einen willkommenen Nährboden für die überall vorhandenen Gährungserreger, durch deren Wachsthum aber ebenfalls Wärme frei wird.

Die organischen Substanzen besitzen ein schlechtes Leitungsvermögen für Wärme, so

dass diese nach ihrer Entstehung nur langsam entweichen kann. Die Temperatur wird daher im Haufen steigen, und zwar so lange, bis ein stationärer Gleichgewichtszustand eingetreten ist, d. h. bis an die Umgebung ebensoviel Wärme abgegeben, als im Inneren gebildet wird. Im Verlaufe der Gährung wird den Mikroben die von ihnen selbst gebildete Wärme unbequem. Sie ziehen sich in kühlere Theile zurück, wodurch immer grössere Kugelschalen in Mitleidenschaft gerathen und das Entweichen der Wärme aus dem Innern durch die Bakterien selbst gehindert wird. Die hierbei erzeugte Temperatur kann etwa bis 70°, vielleicht auch bis 80° C. steigen.

Nun setzt eine stärkere Oxydation ein, indem der Sauerstoff der Luft, wenn er Zutritt hat, lebhafter aufgenommen wird, während auch diese Wärmequelle bei 90° C. plötzlich zu wirken aufhört. Der eingeleitete Zerfall nimmt aber, wenn auch langsam, seinen Fortgang, sei es in Folge der durch die Mikroben ausgeschiedenen Enzyme, sei es durch andere noch nicht bekannte Processe. Bei allen diesen Zersetzung wird Wärme frei, welche die Temperatur langsam steigert. Ist sie auf etwa 130° C. angelangt, dann findet eine sehr schnelle Selbsterwärmung statt, welche unter rascher Verkohlung und durch diese veranlasst sich vollzieht¹⁴⁾.

¹⁴⁾ Es wird zweckmässig sein, die Hauptversuche mitzutheilen, welche mit Kleie angestellt wurden, weil sie das merkwürdige Verhalten der organisierten Körper zeigen.

a) Man füllt einen Glaskolben von 200 ccm dicht mit Kleie und erhitzt im Trockenschränke mehrere Stunden mindestens auf 200° C. Zerschlägt man nun den Kolben, so rollt eine schwarze Kugel heraus. Sie kann ohne Gefahr in die Hand genommen werden, weil das Material die Wärme ausserordentlich schlecht leitet. Lässt man die Kugel bis zum nächsten Tage liegen, so macht sich keine äusserliche Änderung bemerkbar. Bei der Berührung fällt sie aber auseinander und man findet nur reine Asche und eine dünne Kohlenhaut: Sie ist vollständig bis auf die Haut ausgebrannt. Bläst man eine frisch bereitete Kugel an, dann schlägt eine grosse Flamme heraus, welche bald erlischt.

b) Ein kg Kleie, in einem Pappkasten befindlich, wurde in einen Trockenschränke gestellt, der etwa eine Temperatur von 150° C. dauernd anzeigen. Abends wurde die Flamme abgestellt, als das Thermometer in der Kleie 87° C. angab. Am nächsten Morgen erwartete man natürlich vollständige Abkühlung; zum hohen Erstaunen des Beobachters zeigte das Thermometer 238° C. an. In einem anderen Falle war die Temperatur so hoch gestiegen, dass nicht nur das Thermometer zerstört, sondern das Glas an der abgesprengten Stelle rund geschmolzen war. Der Trockenschränke stand unter einem Abzug auf Kacheln, von welchen die Kleie etwa 33—34 cm entfernt war. Trotzdem war die Hitzewirkung eine so riesige, dass in dem unter den Kacheln befindlichen Aufbewahrungschränke eine Menge Harz aus dem Holz heraus ge-

¹³⁾ Die Stärke $C_6(H_2O)_5$ hat das Molekulargewicht 162, hiervon sind 80 also fast die Hälfte Sauerstoff.

Wie hoch die Temperatur unter diesen Umständen steigen kann, haben wir bereits im ersten Capitel auseinander gesetzt. In ähnlicher Weise werden sich auch andere organisierte Stoffe verhalten.

§ 16. Die Selbsterwärmung grosser Getreidemassen bis zu einer gefährlichen Höhe hat in der Praxis mehrfach stattgefunden. Verfasser hat Gelegenheit gehabt, eine derartige Selbsterwärmung in einem Kornhause zu beobachten. Die 15 m hohen Siloschächte lagen in mehreren Reihen nebeneinander, so dass nach ihrer Füllung im Ganzen ein Getreidewürfel von mehr als 12 m Seite entstand. Der Inhalt konnte demnach etwa 1500 cbm betragen oder wenn wir das Gewicht des Getreides pro 1 cbm mit 800 kg. annehmen, konnten 1200 t oder 24000 Centner Getreide in Frage kommen.

Das aus den Siloschächten abgelassene Getreide war zunächst normal, dann bemerkte man der Reihe nach Warmwerden, Schimmelbildung, säuerlichen Geruch, später Röstgeruch und Dunkelwerden, schliesslich Schwarzwerden der Körner. Dabei wurde das Getreide so heiss, dass man es nicht in der Hand halten konnte. Übrigens lief es nur zu einem Theile aus, so dass es von oben mit Hacken und Schaufeln losgemacht und herausbefördert werden musste, eine sehr gefährliche Arbeit wegen der Entwicklung erstickender Gase.

Auf dem obersten Boden des Kornhauses sah Verfasser vielleicht 1000 Centner Getreide liegen, welches auf die eben beschriebene Weise aus den Siloschächten herausbefördert worden war und welches ganz den Eindruck eines Kohlenhaufens machte. Man befürchtete stets das Ausbrechen eines Brandes, der glücklicherweise durch Arbeiten bei Tag und bei Nacht vermieden wurde.

schwitzt und herab getränkt war. Obgleich keine Flamme brannte, lag eine Feuersgefahr bei diesen Versuchen durchaus im Bereiche der Möglichkeit.

c) Die wesentliche Aufklärung gab folgender Versuch: Eine Glühlampe wurde in Kleie gepackt, nachdem die Metalltheile sorgfältig in Asbest eingehüllt waren, um ihre Berührung mit der organischen Substanz zu verhindern. Ein Thermometer wurde so eingeführt, dass die Quecksilberkugel sich an der wärmsten Stelle der Lampe befand. Das Ganze wurde mit viel Wolle umgeben zur möglichsten Vermeidung von Wärmeverlusten. Nun wurde ein Strom durch die Lampe geschickt, den man jeden Tag verstärkte. Die Temperatur stieg zunächst in derselben Weise wie bei einem Controlversuche mit Kreidepulver, dessen Wärmeleitungsfähigkeit ungefähr derjenigen der Kleie gleicht. Bei einer Stromstärke, welche im Controlversuch im Kreidepulver eine Temperatur von 130—140° C. verursachte, stieg die Temperatur in der Kleie so hoch, dass das Thermometer, welches bis 240° C. ging, nicht ausreichte. Zwischen 130 und 140° C. fand also die mit Wärmeentwicklung verbundene Zersetzung des Materials statt.

Als Ursache dieser wie eine höhere Gewalt aufgetretenen Selbstentzündung wurde gefunden, dass das Gebäude zu früh bezogen worden war. Die grossen Wassermassen des neuen Baues, welche sich auf hunderte von Centnern belaufen haben können, wurden von dem guten Getreide begierig aufgenommen, und sofort begann eine verstärkte Athmung, welche Wärmeanstauungen und weitere Wasserbildung hervorrief, die wiederum die Wärmeentwicklung vermehrten.

Ferner veranlasste die aus dem Getreide frei werdende Kohlensäure eine Umsetzung des im Mauerwerk reichlich vorhandenen Calciumhydrates in Calciumcarbonat und Wasser. Das Letztere diffundierte in das Getreide und verstärkte abermals die Athmung und damit die Wärmebildung.

Die maschinelle Anlage, welche ausser anderen Zwecken dazu dienen sollte, das Getreide zu lüften und zu kühlen, erwies sich dieser bedeutenden Wärmeentwicklung gegenüber als zu klein.

§ 17. Einen anderen bemerkenswerthen Fall bot der Brand der Borsigmühle in Berlin. Hier waren grosse Massen Getreide und Mehl verbrannt, und es liess sich nicht entscheiden, in wieweit dieses durch Selbsterwärmung und Selbstentzündung oder durch äussere Flammenwirkung geschehen war.

Verf. erhielt einige Proben, welche von einer grossen Masse herrührten, die in die Spree gestürzt war und hier einen Berg bildete, der im Innern vielleicht noch eine Woche lang glühte. Die Proben dieses ausserordentlich fest zusammen gebackenen Materials ergaben eine ausgezeichnete Reihenfolge von unverändertem Getreide bez. Mehl, von Braunkohle, Steinkohle und Anthracit; sogar der glänzende Graphit war reichlich vertreten. Die äussere Flammenwirkung wird die Vorgänge im Innern dieses Haufens mehr oder weniger beeinflusst haben. Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass die freiwillige Zersetzung der organisierten Substanz ohne Zutritt des Luftsauerstoffs und die freigewordene Wärme an der Bildung der eben genannten Körper den hervorragendsten Anteil hatten.

§ 18. Als letztes Beispiel seien die in den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts in Königsberg in Pr. aufgetretenen Flachsbrände erwähnt.

Der Flachs wird im Sommer im Freien ausgebreitet und bearbeitet; dann wird er zu grossen Ballen zusammengeschnürt und in den Speichern aufgestapelt. Während er im Freien lag, konnten plötzlich Regengüsse den Flachs anfeuchten. Gelangte er dann in den Speicher, dann konnten die überall vorhandenen Gährungserreger ihre zerstörende Thä-

tigkeit beginnen und Wärme erzeugen, welche wegen der ausserordentlich schlechten Wärmeleitfähigkeit des Flachs nicht zu entweichen vermochte. Die Wärmeanstauungen erfolgten dann weiter in der Weise, wie bei der Kleie geschildert wurde. Der Zutritt des Luftsauerstoffs brachte das Material zur Entflammung.

Der Anstoss zur Selbsterwärmung konnte aber auch von der Sonne ausgegangen sein, welche das im Freien liegende Material bestrahlte. Wenn dann der Flachs zusammengewickelt in den Speicher gethan wurde, vermochte die Wärme nicht schnell genug zu entweichen, sondern veranlasste weiter chemische Zersetzung. Hierdurch wurde aber Wärme und Wasser frei, wodurch die Zersetzung und die Wärmeerhöhungen sich beschleunigten, bis schliesslich Selbstentzündung auftrat.

Der Vorgang erlangte damit eine gewisse Ähnlichkeit mit jenen vom Pfarrer Sommer angestellten Versuchen. Allerdings nur in den ersten Anfängen. Der weitere Verlauf ist so, wie er bei den anderen Selbsterwärmungen geschildert wurde.

Zum Eintritt der Selbstentzündung sind drei Bedingungen nötig: Der Wärmeinhalt des Materials, das aus sich selbst Wärme erzeugt, dann seine schlechte Wärmeleitfähigkeit und schliesslich eine nicht zu geringe aufgehäufte Masse, deren Grösse von der Wärmeleitfähigkeit abhängt.

c) Brennstoffe.

§ 19. Hier sind zwei verschiedene Prozesse auseinander zu halten.

Der Vorgang verläuft in Torf, Braunkohlen, Presskohlen und dergl. im Wesentlichen ebenso wie in den eben geschilderten Fällen. Unterschiede ergeben sich insofern, als die Wärmeleitung dieser Stoffe wegen des festeren Gefüges besser ist, was die Gefahr der Selbstentzündung herabsetzt. Auch das Fehlen der ölichen Bestandtheile hat dieselbe Wirkung. Dagegen würde die Gegenwart von Eisenverbindungen die Gefahr erhöhen.

Eine wesentlich andere Zusammensetzung hat die Steinkohle. Die Vorgänge der Selbsterwärmung und Selbstentzündung werden daher durch ganz andere chemische Umsetzungen veranlasst werden. Die Atmungs- und Gährungsscheinungen fallen hier fort. Dagegen besitzen die Steinkohlen eine Menge Wasserstoffverbindungen, welche sich leicht oxydieren, und dieser Vorgang erzeugt grosse Wärmemengen. Werden beim Herabstürzen aus den Förderwagen die Kohlen zerkleinert, dann wird der Luft eine grössere Oberfläche geboten und die Oxydation verstärkt sich.

Schon das Herabstürzen allein erzeugt Wärme, welche nun durch jenen chemischen Vorgang vermehrt wird. Die Wärme aber veranlasst weitere Druck- und Reibungswirkungen, welche abermals vermehrt werden durch die in Folge der Erwärmung sich steigernde Spannung der eingeschlossenen Gase.

Die Gegenwart von Wasser ist nicht in dem Sinne förderlich, wie bei der Selbsterwärmung organisirter Stoffe, weil eben Atmung und Gährung nicht in Frage kommen. Im Gegentheil soll sogar meistens die Gefahr durch Wasser verringert werden. Man vergl. hierzu die Untersuchungen von Ferd. Fischer, welche in dieser Zeitschrift veröffentlicht worden sind. Die betreffenden Arbeiten haben zur Klärung der hier in Betracht kommenden Verhältnisse vieles beigetragen.

Dagegen würde in eisenkieshaltigen Kohlen die Selbsterwärmung durch Feuchtigkeit beschleunigt werden, weil sich durch Sauerstoffaufsaugung Eisenvitriol bildet, ein mit sehr grosser Wärmeabgabe verbundener Vorgang. Alle diese Prozesse werden um so schneller verlaufen, je feiner zertheilt die Kohle ist. Die feinere Vertheilung verschlechtert aber ausserdem auch noch die Wärmeleitfähigkeit, ein Umstand, welcher die Wärmeanstauungen befördert.

Ob mit den angegebenen Ursachen alle Umstände erschöpft sind, welche bei der Selbsterwärmung und Selbstentzündung der Steinkohlen in Betracht kommen, kann hier nicht entschieden werden, weil noch eingehende Untersuchungen fehlen. Es ist möglich, dass auch hier bei höheren Temperaturen solche Zersetzung auftreten, die ohne den Zutritt des Luftsauerstoffs Wärme entwickeln. Nach den Betrachtungen des 1. Capitels sind in den Steinkohlen wahrscheinlich eine Menge endothermischer Verbindungen vorhanden, und viele derselben können bei höheren Temperaturen das Bestreben haben, in exothermische Verbindungen zu zerfallen, weil sie nicht mehr unter dem ungeheuren Drucke stehen, bei dem sie gebildet wurden. Gesetzt, diese Vermuthungen wären richtig, dann könnte man sagen: Die physikalischen, sinnfälligen Erscheinungen sind bei der Selbsterwärmung organisirter und kohlinger Stoffe die gleichen. Die chemischen Vorgänge dagegen sind im Wesentlichen verschieden von einander.

4. Geologische Gründe für die Mitwirkung hoher Temperaturen bei der Steinkohlenbildung. Wahrscheinlicher Verlauf einer Kohlenbildung in einzelnen Fällen. Folgerungen.

§ 20. Die bisher angeführten Gründe gaben der Annahme, dass bei der Stein-

kohlenbildung höhere Temperaturen mitgewirkt haben, eine hohe Wahrscheinlichkeit. Gewissheit würde man erhalten, wenn es gelänge, auch geologische Anzeichen hierfür zu erhalten. Wir zweifeln nicht daran, dass solche in reichlichem Maasse vorhanden sind, nur haben sie noch nicht die Aufmerksamkeit der Geologen erweckt. Dem Verfasser ist nur ein einziger bestimmter Fall bekannt und zwar aus den Kohlengruben von Pottschappel bei Dresden, wo man Frittungen des den Flötzen anliegenden Gesteines bemerkte hat.

§ 21. Ausser den in dem vorigen Kapitel betrachteten Wärmequellen rein chemischer Natur haben in vielen Fällen dynamische Vorgänge zweifellos ebenfalls Wärme geliefert. Die hierbei eintretenden Temperaturerhöhungen waren natürlich abhängig von der Zeit, in welcher sie stattfanden, von dem Ausmaass der Bewegungen und von den Massen, welche betroffen wurden.

„Obgleich ein jeder Abschnitt der Erdgeschichte mancherlei Schwankungen der Uferlinien oder der Bewegungen der Erdrinde zu verzeichnen hat, so scheint aus allen Beobachtungen hervorzugehen, dass das Ende der Carbonzeit eine Periode lebhaftester Gebirgsbildung und grosser tektonischer Umbildung gewesen ist.“

Jedenfalls bemerkte man an den Kohlenflötzen Störungen in ganz ungewöhnlichem Maasse. Es sei nur verwiesen auf die Zerklüftungen, welche man bei den Anthracitlagern bemerkte. Bei der Erwärmung der organischen Massen werden die Änderungen in der Erdrinde, z. B. die Wellenbildung, zunächst ruhig verlaufen sein, durch den Ausbruch von Gasen wird es dann bedeutende Umwälzungen gegeben haben, welche wesentlichere Temperaturerhöhungen veranlassen konnten. Die durch Wärme erfolgenden Ausdehnungen mussten ungeheure Drucke verursachen und es kann angenommen werden, dass diese beiden Einflüsse zusammengekommen Wirkungen hervorriefen, welche die Wärme oder der Druck allein nicht zu erreichen vermocht hätte.

§ 22. Wir wollen nun ein grosses Lager abgestorbener organischer Substanzen betrachten, welches allmählich mit Sedimenten bedeckt wird.

Durch letztere wird das Wasser herausgedrückt bis auf einen geringen Rest, der aber gross genug ist, die mit Wärmeabgabe verbundenen Umsetzungen im Lager weiter zu unterhalten. Die im vorigen Capitel geschilderten Vorgänge der Selbsterwärmung steigerten die Temperatur, bis schliesslich bei etwa 130° C. die Verkohlung eintrat. Ein solches im Verkohlungszustande befindliches

Flötz konnte auch andere Lager in Mitleidenschaft ziehen, welche mit ihm nur durch schwache Flötze verbunden sind.

Man denke sich einen Pulverhaufen, welcher durch einen dünnen Pulverfaden mit einem andern in Verbindung steht. Geräth der eine Haufen in Brand, so schreitet die Reaction auf dem Faden vorwärts und entzündet auch den anderen Haufen. In ähnlicher Weise konnte ein Kohlenlager andere zur Verkohlung bringen, vorausgesetzt, dass die letzteren genügend vorbereitet waren.

§ 23. Auf diese Weise würde sich aber nur die Verkohlung grosser Flötze und solcher, die mit ihnen in Verbindung stehen, erklären lassen. Es ist anzunehmen, dass die kleineren organischen Lager, besonders die schmalen Streifen, bei den hier betrachteten Vorgängen ihren ganzen Wärmeinhalt an das anliegende, gutleitende Gestein schnell abgaben, so dass es zu keiner wesentlichen Temperaturerhöhung kommen konnte. Ferner mussten nach den obigen Entwicklungen gerade den tertiären organischen Lagerstätten besonders leicht zur Steinkohlenbildung befähigt gewesen sein, weil die organischen Reste örtlich massenhafter aufgehäuft sind. Denn in Folge dessen standen Wärmeanstauungen im höheren Grade zu erwarten, als in den durchschnittlich dünneren Carbonlagerstätten. Thatächlich haben wir aber im Tertiär ein weniger verkohlt Material.

Wir können uns wohl vorstellen, dass die Braunkohlen nur theilweise in wirkliche Steinkohle verwandelt worden und andere Theile wegen der Wärmeabgabe nach aussen im Wesentlichen unverändert geblieben sind. Wir können uns aber von den bisher erlangten Gesichtspunkten aus keine Vorstellung davon machen, wie die gesammten Flötze der Carbonformation bis in die äussersten Ausläufer in wirkliche Steinkohle verwandelt sein sollten.

Schluss.

Die obigen Ausführungen leiten ebenfalls zu keiner befriedigenden Vorstellung der Steinkohlenbildung. Es müssen noch andere Vorgänge in Frage kommen, auf deren Untersuchung wir uns hier nicht einlassen können, da sie zu weit in das Gebiet der Hypothese führen würden.

Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass die Vorgänge der Selbsterwärmung und Selbstentzündung bei der Steinkohlenbildung von grosser Bedeutung gewesen sind, und wir glauben, dass ein weiteres Zusammenarbeiten von Geologen und Chemikern bez. Physikern in dieser Angelegenheit schliesslich Klarheit schaffen wird.