

**BEITRÄGE  
ZUR KENNTNIS DER TORFZERSETZUNG  
UND VERTORFUNG**

VON

**YRJÖ KAUKO**

---

DORPAT 1924

K. Mattiesen, Dorpat.

## Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung<sup>1)</sup>.

Die Vorgänge der Vertorfungsprozesse sind bisher wenig aufgeklärt. Die Vertorfung an und für sich ist ein sehr komplizierter Prozess und die dabei entstehenden Stoffe ihrer chemischen Natur nach meist unbekannt. Die gewöhnliche Methode über sie Aufschluss zu gewinnen ist die Elementaranalyse des Torfes. Bei der Elementaranalyse werden Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und der Aschengehalt bestimmt. Aus diesem Zahlenmaterial hat man bisher nur schliessen können, dass die Vertorfungsprozesse lediglich darin bestehen, dass der Torf mit der Zeit sauerstoffärmer und kohlenstoffreicher wird.

Die Elementaranalysen der verschiedenen Vertorfungsstufen geben uns die Möglichkeit, einen tieferen Blick in die Vertorfungsprozesse zu tun, und der Zweck dieser Arbeit ist es gerade diesen Umstand klar zu stellen.

Ueber das Wesen der Vertorfung sind bereits verschiedene Annahmen in der Literatur zu finden, so ist z. B. Potonié<sup>2)</sup> der Meinung, dass die Vertorfung eine Selbstzersetzung sei, die man sich so vorstellen kann, dass die chemischen Verbindungen der noch nicht absolut mineralischen organischen Zersetzungsprodukte bei ihrer Labilität unter anderem bestrebt sind, weitere Reduktionen vorzunehmen, sich also gegenseitig des Sauerstoffs zu berauben suchen, wobei Gase entstehen, und die zurückbleibenden festen und flüssigen Verbindungen sich immer mehr den Kohlenwasserstoffen und schliesslich dem reinen Kohlenstoff nähern müssen.

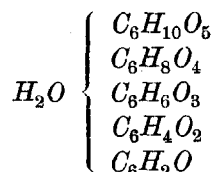
---

1) Eine vorläufige Mitteilung ist in finnischer Sprache im Teknillinen Aikakauslehti 1923 erschienen.

2) Potonié. Sitzungsber. d. preussisch. Akad. d. Wissensch. 1908, 48 u. 1911, 55, II.

Nach Potonié besteht die Verrottung in verschiedenen Prozessen: zuerst kommt der Verbrennungsprozess, dann die Verwesung, dann Fäulnis und Selbstzersetzung.

Früh<sup>1)</sup> hat in seinen Arbeiten die gesamte Erscheinung studiert, und über die Verrottungsprozesse eine Theorie gegeben, der man sich im allgemeinen angeschlossen hat. Nach seinen Auseinandersetzungen steht soviel fest, dass der Verrottungsvorgang nicht in einer Fermentwirkung besteht, sondern in einem sehr langsamen, möglichst unter Abschluss des Sauerstoffs bei mässiger bis niedriger Temperatur stattfindenden Zerfall der Pflanzenstoffe. Dieser Zerfall vollzieht sich wahrscheinlich grösstenteils unter Verwertung des eigenen, in der Pflanzensubstanz enthaltenen Sauerstoffes als innere, hauptsächlich Wasserstoff betreffende Oxydation, vielleicht (nach Merker) unter fortwährender Abspaltung von Wasser aus den Molekülen der Zellulose und anderer Kohlenhydrate nach folgendem Schema:



Im Gegensatz zu Früh hat Aschan<sup>2)</sup> die Beobachtung gemacht, dass die Sauerstoffübertragung auf die durch Verrottungsprozesse entstandenen Humusstoffe unter Umständen durch Mikroorganismen vermittelt wird. Dabei spricht Aschan die Vermutung aus, dass die Humusstoffe wahrscheinlich als Hydratations- und Oxydationsprozesse zu betrachten seien. Diese Aschansche Betrachtungsweise dürfte durch die Arbeit Berthelots und André<sup>3)</sup> unterstützt werden, welche Forscher aus den sogen. Huminen durch Hydratationsprozesse Humussäuren erhielten. In der Zersetzungsstufe der Humusstoffe stehen die Humine den Kohlehydraten näher als der Humussäure. Hoering<sup>4)</sup> führt an, dass besonders in den Anfangsstadien die Zersetzung der Kohlehydrate durch Mikroben unter Bildung von Humusstoffen,

1) Früh. Über Torf und Dopplerit; die Moore der Schweiz.

2) Aschan, O. Bidr. t. kändedom af Finlands natur och folk 66, 1908.

3) Berthelot und André. Ann. de chimie et de physique (6) 25, 403, 1892.

4) Hoering, P. Moornutzung und Torfverwertung.

Kohlensäure und Methan vor sich geht. Für die Verwesung ist die Gegenwart von Luft und Sauerstoff nötig; sobald die Vertorfung unter Umständen stattfinden muss, wo der Luftsauerstoff keinen Zutritt hat, hört auch die Verwesung auf. Die Verwesung selbst ist eine langsame Oxydation, vollzieht sich aber doch genügend schnell, um die Gewächse sogar innerhalb eines Jahres vollkommen in Kohlendioxyd und Wasser zu zersetzen. Die Verwesung tritt bei Moorbildung unter Wasser, wie es oft der Fall ist, nicht ein.

Lang<sup>1)</sup> sagt aus diesem Grunde, dass die Vertorfung als Fäulnis betrachtet werden könne. Bei diesem Prozess zersetzt sich Zellulose durch Abspaltung von Wassermolekülen, wobei an Kohlenstoff reichere Stoffe entstehen. Dieser Prozess findet ausserordentlich langsam statt und soll den geologischen Vorgängen angereicht werden.

Die Untersuchungen von Fischer<sup>2)</sup> und Donath<sup>3)</sup> haben dieselben zu der Auffassung geführt, dass während der Verwesungsperiode die Kohlehydrate sich vollständig und das Lignin teilweise oxydieren, wobei von dem letztgenannten die sogenannten Humusstoffe herkommen. Da nun aber in einer beträchtlichen Tiefe noch Kohlehydrate zu finden sind, und da die Zusammensetzung des Torfes sich noch in einer Tiefe verändert, wo der Luftsauerstoff unmöglich hindiffundieren kann, so sind wohl auch die Meinungen begründet, die nach der Verwesung noch eine Verfäulnis annehmen, d. h. eine intermolekulare Zersetzung.

Wir behandeln im folgenden bloss diejenige Erscheinung, die nach der langsamen Oxydation in der Oberfläche, unter Abschluss des Sauerstoffes in den tieferen Schichten stattfindet.

Von Zailer und Wilk<sup>4)</sup> sind eine grosse Anzahl Elementaranalysen an verschiedenen Vertorfungsstufen und Torfarten ausgeführt worden. Wir entnehmen hier in der Tabelle I aus den Arbeiten dieser Verfasser einige Zahlenergebnisse, die wir in dem folgenden weiter verwerten werden.

Aus der Kolumne 1 ist ersichtlich, dass der Aschengehalt

---

1) Lang. Verwitterung u. Bodenbildung als Einführung i. d. Bodenkunde.

2) Fischer u. Schrader. Brennstoffchemie 3 (65) 1922. Neue Beiträge zur Entstehung u. chem. Struktur d. Kohle.

3) Donath u. Lissner. Brennstoffchemie, S. 231 vom 1. 8. 1922. Zur Frage d. Entstehung d. Kohle.

4) Zailer, V. u. Wilk, L. Ztschrft. f. Moorkultur u. Torfverwertung 5, 111, 1907.

T a b e l l e 1.

Torfarten und Torfbildner	In Trocken- substanzen		In Trockensubstanzen des Torfes				In organischen Substanzen des Torfes						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Organ. Subst.	Asche	C	H	N	O.	C	H	N	O	O=	I	H=I
											C:O	H:O	C=H
Phragm. com.	95.80	4.20	47.74	6.22	1.46	40.38	49.83	6.49	1.53	42.15	1.18	0.15	7.68
unzersetzt	85.35	14.65	47.15	5.12	1.86	31.22	52.24	6.00	2.18	36.58	1.51	0.16	9.21
wenig zersetzt	88.20	11.80	57.37	5.07	2.29	29.46	58.25	5.75	2.60	33.40	1.74	0.17	10.13
stark zersetzt	89.54	10.46	52.04	4.58	3.07	29.86	58.11	5.12	3.43	33.34	1.74	0.15	11.35
vollständig zersetzt	87.15	12.85	52.88	4.65	1.88	27.74	60.67	5.34	2.16	31.83	1.91	0.17	11.36
Carex stricta	93.97	6.03	47.79	5.76	1.26	39.13	50.86	6.13	1.37	41.64	1.22	0.16	8.30
„ acuta	94.42	5.58	47.90	5.51	1.69	39.37	50.13	5.84	1.74	41.69	1.22	0.14	8.69
„ paludosa	96.08	3.92	48.52	5.48	0.96	41.12	50.50	5.71	0.99	42.80	1.18	0.13	8.89
Carex unzersetzt	96.16	3.84	54.58	5.56	2.19	33.83	56.77	5.78	2.28	35.17	1.61	0.16	9.82
wenig zersetzt	96.03	3.97	58.55	5.71	1.63	30.14	60.97	5.95	1.70	31.38	1.94	0.19	10.22
stark zersetzt	96.43	3.51	58.21	5.21	2.10	30.97	60.32	5.40	2.18	32.10	1.88	0.17	11.17
vollständig zersetzt	94.32	5.68	54.25	5.63	1.32	29.13	61.75	5.97	1.40	30.88	2.00	0.19	10.34
Sphagn. acutifolium	97.58	2.42	48.23	5.33	1.21	42.81	49.43	5.46	1.24	43.87	1.13	0.12	9.05
„ cumbifolium	97.13	2.87	48.62	5.31	1.08	42.12	50.05	5.47	1.11	43.37	1.15	0.13	9.15
„ cupsidatum	97.53	2.47	48.45	5.06	1.08	42.94	49.67	5.18	1.11	44.07	1.13	0.12	9.59
Sphagn. unzersetzt	98.07	1.93	48.60	5.12	0.89	43.46	49.55	5.22	0.90	44.33	1.12	0.12	9.49
wenig zersetzt	99.36	0.64	50.25	5.27	0.79	43.05	50.57	5.31	0.80	43.32	1.17	0.12	9.52
stark zersetzt	96.79	3.21	55.54	5.46	1.35	34.44	57.39	5.64	1.40	35.57	1.61	0.16	12.13
vollständig zersetzt	96.08	3.92	59.82	4.93	0.88	30.45	62.26	5.13	0.91	31.70	1.96	0.16	12.13

des Torfes sehr schwankt. Dieses dürfte wohl damit zusammenhängen, dass bei der Zersetzung von Torf die Aschenbestandteile teils lösliche Verbindungen eingehen, teils aus sekundären Gründen bei der Torfbildung in einigen Schichten zufällig aschenbildende Stoffe vorkommen. Deswegen kann man die Aschengehaltstoffe nicht zur Berechnung des Zersetzungsgrades benutzen. Ebenso sind die prozentualen Ergebnisse, die sich auf den ursprünglichen Torf beziehen, nicht massgebend, sondern nur die prozentuale Zusammensetzung der organischen Substanzen kann in Rechnung gezogen werden.

Wir nehmen mit den vorangeführten Verfassern an:

- 1) Die Vertorfung beruht auf der Abspaltung von Wasser.
- 2) Die verschiedenen Torfstufen stammen von Pflanzenarten, die wenig differierende chemische Bruttozusammensetzung haben, ab.
- 3) Ausser dieser Wasserabscheidung finden keine anderen nennenswerten Stoffverluste statt.

Unter diesen Voraussetzungen nehmen wir  $B_0$  gr des unzersetzten Torfes, welcher  $c_0$  % Kohlenstoff,  $h_0$  % Wasserstoff und  $o_0$  % Sauerstoff enthält. Aus diesem Torf entstehen durch Zersetzung  $B$  gr Torf, der  $c$  % Kohlenstoff,  $h$  % Wasserstoff und  $o$  % Sauerstoff enthält.

Im Anfang haben wir also:

$\frac{h_0 \cdot B_0}{100}$  gr Wasserstoff, und bei der späteren Vertorfungsstufe

$\frac{h \cdot B}{100}$  gr Wasserstoff, es haben sich also

$$\left[ \frac{h_0 \cdot B_0}{100} - \frac{h \cdot B}{100} \right] \text{ gr Wasserstoff entfernt,}$$

entsprechend einem Gewichtsverlust des Torfes:

$$9 \cdot \left( \frac{h_0 \cdot B_0}{100} - \frac{h \cdot B}{100} \right) \text{ gr (als Wasser).}$$

Wir erhalten also:

$$B_0 - B = 9 \left( \frac{h_0 \cdot B_0}{100} - \frac{h \cdot B}{100} \right).$$

Es ist jetzt eine allgemein anerkannte Tatsache, dass der Wasserstoffgehalt bei verschiedenen Vertorfungsstufen ziemlich konstant bleibt, und zwar zwischen 5—6 % schwankt, wie sich auch aus der Tabelle I Kolumne 5 ergibt. Zweifelsohne können wir mit grosser Annäherung schreiben:

$$h = h_0$$

unter dieser Voraussetzung erhalten wir aus der Gleichung 3

$$h_0 = 11.$$

Dieses Ergebnis verlangt also, dass die vorhin gemachte Voraussetzung zusammen mit der Tatsache der annähernden Konstanz des Wasserstoffs bloss unter der Bedingung möglich ist, dass der Wasserstoffgehalt

11 % beibehält.

Wir finden aber bloss die Hälfte davon vor, was wohl nicht auf eine Zufälligkeit zurückzuführen ist, sondern uns den Beweis liefert, dass die angegebenen Voraussetzungen nicht stichhaltig sind.

Wenn wir die erwähnten Voraussetzungen betrachten, so sehen wir, dass die Unstimmigkeit im Wasserstoffgehalte nicht durch die Hinfälligkeit der Voraussetzung 2 und 3 erklärt werden kann. Es ist ja möglich, dass der Wasserstoffgehalt von 11 % bis auf 5 % dadurch fallen kann, dass die Masse des Torfes auch durch sekundäre Stoffabscheidung abnimmt, oder dass die verschiedenen Vertorfungsstufen von verschiedenen Pflanzenarten herkommen. Bei dieser Annahme bleibt wieder unbegreiflich, wieso denn der Wasserstoffgehalt doch ziemlich konstant bleibt, und während der Vertorfung höchstens zwischen 5—6 % schwankt. Man müsste den Schluss ziehen, dass die beiden Faktoren, der Zersetzungsprozess und die chemische Zusammensetzung, ganz bestimmten Gesetzen unterworfen sind. Es kann jedoch von solcher Gesetzmässigkeit der beiden Erscheinungen gar keine Rede sein: infolgedessen ist die Erklärung der Unstimmigkeit zwischen Rechnung und Experiment einzig und allein die, dass die Zersetzung des Torfes durch Wasserabscheidung **nicht** erklärt werden kann. Es liegt hier der Gedanke nahe, dass die Vertorfung ihrer chemischen Natur nach eine intermolekulare Oxydation sei, wobei nicht nur der Wasserstoff, sondern auch der Kohlenstoff angegriffen wird, und diesem Grundge-

danken folgend, werden wir die in der Tabelle I angeführten Zahlenmaterialien bearbeiten.

Im folgenden setzen wir also voraus:

1) Die verschiedenen Vertorfungsstufen stammen von Pflanzenarten ab, die wenig differierende chemische Bruttozusammensetzungen haben.

2) Die Vertorfung besteht darin, dass sich bei der Zersetzung Kohlensäure und Wasser abscheidet.

3) Ausser Kohlensäure und Wasserabscheidungen finden keine anderen Gewichtsabnahmen statt.

Wir betrachten jetzt  $B$  gr des unzersetzten Torfes, welcher  $c_0$  % Kohlenstoff und  $h_0$  % Wasserstoff enthält.

Diesen Torf zersetzen wir, und bei einer Zersetzungsstufe haben wir dann  $B$  gr übrig, welches

$c$  % Kohlenstoff und

$h$  % Wasserstoff

enthält.

Bei der Vertorfung haben sich  $Y$  % Kohlenstoff und  $Z$  % Wasserstoff in Bezug auf  $B_0$  entfernt.

Wir greifen jetzt zwei naheliegende Vertorfungsstufen  $B$  und  $B'$  heraus, dann ist:

$$4) (c_0 - y) B_0 = c \cdot B \text{ und}$$

$$(c_0 - y_1) B_0 = c_1 B_1, \text{ d. h.}$$

$$(y - y_1) B_0 = cB - c_1 B_1$$

oder anders geschrieben:

$$5) B_0 dy = d(Bc), \text{ ebenso erhalten wir}$$

$$6) B_0 dz = d(Bh).$$

Der Sauerstoff soll sich zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff im Verhältnis von  $n : m$  verteilen.

Bei einer kleinen Verschiebung der Vertorfung werden:

$$7) \frac{dy \cdot B_0}{100} \text{ gr Kohlenstoff und}$$

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{dy \cdot B_0}{100} \text{ gr Sauerstoff mit Kohlenstoff,}$$

$$\frac{8m}{3n} \cdot \frac{dy \cdot B_0}{100} \text{ gr Sauerstoff mit Wasserstoff und}$$

$\frac{m}{3n} \cdot \frac{dy \cdot B_0}{100}$  gr Wasserstoff entfernt, d. h.

$\frac{9m+11n}{n} \cdot \frac{B_0}{300} \cdot dy$  gr ist die Gewichtsabnahme des Stoffes.

Also:

$$8) \quad d B = - \frac{9m+11n}{n} \frac{B_0}{300} dy.$$

Und ebenso:

$$9) \quad d B = - \frac{9m+11n}{m} \frac{B_0}{100} dz.$$

Mit Hilfe der Gleichungen 5) und 6) können wir aus den Gleichungen 8) und 9)  $dy$  und  $dz$  eliminieren.

$$10) \quad d B = \frac{9m+11n}{m} \frac{d(Bc)}{300}$$

$$11) \quad d B = \frac{9m+11n}{m} \frac{d(Bh)}{100}$$

Aus diesen Gleichungen erhalten wir:

$$12) \quad \frac{n}{m} = \frac{d(Bc)}{3d(Bh)}$$

diesen Wert setzen wir für  $\frac{n}{m}$  in Formel 11) ein:

$$d B = \left[ 9 + 11 \cdot \frac{d(Bc)}{3 \cdot d(Bh)} \right] \frac{d(Bh)}{100}$$

$$13) \quad d B = \frac{27 \cdot d(Bh) + 11d(Bc)}{300}$$

und durch Integrieren und Umformen erhalten wir:

$$14) \quad \frac{B}{B_0} = \frac{27h_0 + 11c_0 - 300}{27h + 11c - 300}$$

Bezeichnen wir den Quotienten

$\frac{B}{B_0} = \eta$  als Vertorfungsgrad, so erhalten wir:

$$15) \quad \eta = \frac{27h_0 + 11c_0 - 300}{27h + 11c - 300}$$

In der Tabelle II haben wir in den Kolonnen 1 und 2 die Werte für  $\eta$  aus den Analysendaten der Tabelle I berechnet. In Kolonne 1 sind die  $\eta$ -Werte auf den unzersetzten Torf, und in Kolonne 2 auf die vorangegangene Vertorfungsstufe bezogen. In den Kolonnen 3 und 4 haben wir die Produkte  $\eta c$  und  $\eta \cdot h$  mit Zuhilfenahme des  $\eta$ -Werts aus Kolonne 1 berechnet, und in Kolonne 5 haben wir das Verhältnis  $\frac{n}{m}$  zwischen der vorhergegangenen und nachfolgenden Stufe mit Hilfe der Formel 12 berechnet.

Tabelle 2.

Die Werte in den Kolonnen 2, 4, 5, bezeichnet ( $\eta$ ), sind zwischen vorangehenden und folgenden Torfarten berechnet. In den Kolonnen 1, 3, 6 sind die Analysendaten des unzersetzten Torfes als Ausgangspunkt benutzt worden.

Torfarten	$\eta$	( $\eta$ )	$\eta c$	( $\eta h$ )	(n/m)	n/m
	1	2	3	4	5	6
<b>Sphagnum:</b>						
unzersetzt	1	1	49.55	5.22	—	—
wenig zersetzt	0.9961	0.9961	50.4	5.29	2.444	2.4437
stark zersetzt	0.7984	0.8264	45.8	4.5	1.613	1.7363
vollständig zersetzt	0.7315	0.9162	45.6	3.8	0.035	0.80896
<b>Phragmites:</b>						
unzersetzt	1	1	55.24	6	—	—
wenig zersetzt	0.9469	0.9469	55.2	5.44	—	0.13471
stark zersetzt	0.9837	1.0388	57.2	5.04	—	2.2323
vollständig zersetzt	0.9181	0.9333	55.8	4.9	—	negat.
<b>Carex:</b>						
unzersetzt	1	1	56.77	5.78	—	—
wenig zersetzt	0.9044	0.9044	55	5.38	—	1.3611
stark zersetzt	0.9434	1.0432	57.4	5.1	—	negat.
vollständig zersetzt	0.8891	0.9424	54.8	5.3	—	negat.

Betrachten wir jetzt die  $\eta$ -Werte bei Sphagnum-Torf, so können wir einen ziemlich regelmässigen Gang verfolgen, dagegen haben Phragmites und Carextorf eine Unregelmässigkeit, welche wir in einem höheren  $\eta$ -Werte bei dem starkzersetzten Torfe

beobachten. Wenn wir in Kolumne 2 die entsprechenden  $\eta$ -Werte betrachten, so fallen sie grösser als 1 aus, was darauf zurückzuführen wäre, dass bei der Vertorfung bei bestimmten Stufen eine starke Zunahme des Gesamtgewichtes stattfand. Um diesen Unregelmässigkeiten Rechnung zu tragen, betrachten wir die Mengen von Kohlenstoff  $c$  und Wasserstoff  $h$ , welche sich bei der Zersetzung des Torfes entfernt haben. Wenn wir mit  $y$  und  $z$  die Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffprocente, auf den unzersetzten Torf bezogen, bezeichnen, so lässt sich zeigen, dass

$$16) \quad y = c_0 - \eta c.$$

$$17) \quad z = h_0 - \eta h.$$

Aus den Gleichungen 16 und 17 ist ersichtlich, dass die Abnahme von  $\eta c$  und  $\eta h$  gleichzeitig die Ausscheidung des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs bedeutet und umgekehrt.

Aus Kolumne 4 ersehen wir, dass der Wasserstoff, von einigen Ausnahmen abgesehen, ziemlich regelmässig abnimmt. Die ganze Abnahme des Wasserstoffes, bezogen auf den ursprünglichen Stoff, in % ausgedrückt, beträgt allerdings höchstens 2 %, dagegen ersehen wir in der Kolumne 3 beträchtliche Unregelmässigkeiten. Sphagnumtorf verhält sich noch ziemlich regelmässig, obgleich bei dem wenig zersetzten Torf der Kohlenstoff scheinbar zugenommen hat. Dagegen finden wir beim Phragmites und Carex-torf bei der stark zersetzten Stufe eine starke Zunahme des Kohlenstoffes. Wenn die Veränderungen des Kohlen- und Wasserstoffes mit Hilfe der Verhältniszahlen  $\frac{n}{m}$  beobachtet werden, so ist ersichtlich, dass Kohlenstoff im Anfang der Vertorfung verhältnismässig mehr ausgeschieden wird als Wasserstoff. Dagegen ist am Ende der Vertorfung die Abnahme des Wasserstoffes bedeutender.

Es ist zu bemerken, dass die Unregelmässigkeiten der Kohlenstoffabnahme bei dem stark zersetzten Torf sehr zum Vorschein kommen. Es ist nicht möglich, dass bei der Vertorfung tatsächlich der Kohlenstoff zugenommen hätte, sondern es muss hier ein bisher **unberücksichtigter Fall** eingetreten sein.

Ehe wir aber diesen Umstand näher untersuchen, wollen wir prüfen, inwiefern unsere jetzige Annahme über den Wasserstoffgehalt des Torfes Aufklärung gibt.

Zu diesem Zwecke nehmen wir

$B'$  gr schon teils zersetzten Torfes, welcher  
 $c'$  ‰ Kohlenstoff,  
 $h'$  ‰ Wasserstoff,  
 $o'$  ‰ Sauerstoff enthält.

Wenn die Vertorfung weiter fortschreitet, so nimmt das Gesamtgewicht ab. Wir haben auf einer späteren Vertorfungsstufe von den oben angeführten  $B'$  gr nur  $B''$  gr Torf, welcher  $c''$  ‰ Kohlenstoff,  $h''$  ‰ Wasserstoff und  $o''$  ‰ Sauerstoff enthält.

Wenn der Torf von der Stufe  $B'$  zur Stufe  $B''$  übergeht, sollen  $z$  ‰ Wasserstoff, auf  $B'$  bezogen, fortgegangen sein. Der Torf hat also:

$$9 \cdot \frac{z \cdot B'}{100} \text{ gr Wasser verloren.}$$

Berücksichtigen wir das Verhältnis, in dem Sauerstoff zu Kohlenstoff und Wasserstoff steht, so erhalten wir:

$$11 \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{z \cdot B_1}{100} \text{ gr Kohlensäure und:}$$

$$18) \quad B'' = B' - \frac{z \cdot B'}{100} \cdot \frac{9m + 11n}{m}$$

Wenn die entfernte Kohlenstoffmenge mit  $y$  bezeichnet wird, so erhalten wir:

$$19) \quad B'' = B' - \frac{y \cdot B'}{300} \cdot \frac{9m + 11n}{n}$$

Wie ersichtlich, haben wir nach der Vertorfung noch an Kohlenstoff übrig

$$\frac{(c' - y)B'}{100} \text{ gr}$$

oder auch:

$$\frac{c''B''}{100} \text{ g,}$$

wodurch die Gleichung entsteht:

$$(c' - y)B' = c''B''.$$

Wenn wir jetzt den Wert von  $B''$  aus dieser Gleichung in Gleichung 19) einsetzen, so erhalten wir:

$$20) \quad y = \frac{300 \cdot (c'' - c')}{\frac{11n + 9m}{n} \cdot c'' - 300}$$

ebenso erhalten wir:

$$21) \quad z = \frac{100 \cdot (h'' - h')}{\frac{9m + 11n}{m} \cdot h'' - 100}$$

aus der Gleichung 18) und 19) erhalten wir:

$$\frac{z \cdot B'}{100} \cdot \frac{9m + 11n}{m} = \frac{yB'}{300} \cdot \frac{11n + 9m}{n}$$

wenn hier die Werte von  $y$  und  $z$  aus den Gleichungen 20) und 21) eingesetzt werden und die so entstandene Gleichung nach  $\frac{n}{m}$  aufgelöst wird, so ergibt sich:

$$22) \quad \frac{n}{m} = \frac{100 - 9h'' + 9c'' \frac{h'' - h'}{c'' - c'}}{11h'' - (11c'' - 300) \frac{h'' - h'}{c'' - c'}}$$

Aus Kolumne 5 ist ersichtlich, dass bei Sphagnumtorf, wo sich die Vertorfung regelmässig erhält, das Verhältnis den Mittelwert ca. 1 hat.

Wenn wir diesen Mittelwert  $\frac{n}{m} = 1$  in die Gleichung 22) einsetzen, so erhalten wir:

$$h'' - 5 = (c'' - 15) \frac{h'' - h'}{c'' - c'}$$

Aus dieser Gleichung sehen wir, dass, falls  $h'' = 5$  ist,  $h'' = h$  wird und umgekehrt. Dieses Ergebnis stimmt mit den experimentellen Daten vorzüglich überein.  $h''$  ist ja bekanntlich = ca. 5 %, und daher kommt es, dass  $h$  so konstant bleibt. Danach zu urteilen, würde sich also durchschnittlich ebensoviel Sauerstoff in Kohlensäure, wie in Wasser entfernen.

Auch durch eine andere Methode haben wir dasselbe Endziel erreicht. In den ursprünglichen  $A$  gr Torf, welcher  $a$  gr Wasserstoff enthält und von welchem  $b$  gr Wasserstoff sich entfernen, ist, wenn Sauerstoff zwischen Wasserstoff und Kohlenstoff in einem konstanten Verhältnis steht, die Gewichtsabnahme während der Vertorfung für den Torf gleich  $n \cdot b$  gr, wobei  $n$  eine konstante Zahl ist. Bezeichnen wir den prozentualen Gehalt an Wasserstoff in der vertorften Substanz mit  $s$ , so können wir schreiben:

$$23) \frac{100(a-b)}{A-n \cdot b} = s, \quad 100a - As = b(100 - ns)$$

Aus der letzten Gleichung ist unter der Voraussetzung, dass  $s$  konst. bleibt, ersichtlich, dass der Faktor

$$(100 - ns) = 0$$

sein muss, da ja die linke Seite der Gleichung konst. und  $b$  eine variable Grösse ist, d. h. es ist  $n = \frac{100}{s}$ , da aber  $s = \text{ca. } 5\%$  ist, so ist  $n = \text{ca. } 20\%$ . Es entfernen sich also  $9b$  gr Wasser und  $11b$  gr Kohlensäure. Das Wasser enthält  $8b$  gr Sauerstoff und die Kohlensäure ebenso  $8b$  gr Sauerstoff. Also auch unter dieser Voraussetzung hat sich ebensoviel Sauerstoff in Kohlensäure, wie in Wasser entfernt.

Auch hier treffen wir Unregelmässigkeiten bei Phragmites und Carexorf, so z. B. bekommt  $\frac{n}{m}$  in einigen Fällen einen negativen Wert, welcher Umstand darauf schliessen lässt, dass absolut genommen entweder Kohlenstoff oder Wasserstoff hinzugekommen ist. Dieses sehen wir z. B. aus den Kolumnen 3 und 4, wo tatsächlich die Produkte  $\eta \cdot c$  und  $\eta \cdot h$  in einigen Fällen zunehmen statt abzunehmen.

Dieser Umstand lässt sich kaum anders erklären, als dass unsere Annahme, die wir an die Spitze der theoretischen Betrachtung stellten, in diesem Falle nicht stichhaltig ist.

$\eta$  ist zu gross geworden, wodurch die oben erwähnten Produkte auch zu gross werden; diese Erscheinung tritt in den Kolumnen 1 und 2 sehr stark hervor. Der stark zersetzte Torf bei Phragmites und Carex scheint zugenommen zu haben, weil  $\eta > 1$  ist.

Wenn wir überlegen, unter welchen Umständen  $\eta$  zu gross werden kann, so kehren wir zu der Gleichung 15) zurück. Die Faktoren von  $c$  und  $h$  zeigen an, wie hoch die Gewichtsabnahme pro 1 gr Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffverlust ist. Es ist möglich, dass jetzt tatsächlich bei dem starkzersetzten Torfe nicht Kohlenstoff und Wasserstoff als Kohlensäure und Wasser allein abscheiden, sondern auch Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Methan. Dann kommt auf Kohlen- und Wasserstoff weniger Sauerstoff, so dass die oben erwähnten Faktoren zu gross sind. Dieses sollte auch darin zum Vorschein kommen, dass der Kohlenstoff prozentual weniger zunimmt oder gar abnimmt, weil sich die Kohlenstoffmenge vermindert. Dieser Fall ist aus Tabelle I ersichtlich.

Um diesen Fall klarzulegen, müssen wir annehmen, dass die Gewichtsabnahme nicht 9. Wasserstoff bzw.  $\frac{11}{3}$  Kohlenstoff, sondern  $b$ . Wasserstoff bzw.  $a$ . Kohlenstoff beträgt, wo  $b < 9$  und  $a < \frac{11}{3}$  ist.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich ähnlich wie vorher:

$$24) \quad \eta = \frac{\frac{a}{a-1} \cdot c_0 + \frac{b}{b-1} h_0 - 100}{\frac{a}{a-1} \cdot c + \frac{b}{b-1} h - 100}.$$

Wenn wir jetzt bezeichnen:

$$25) \quad A = \frac{a}{a-1}, \quad B = \frac{b}{b-1}$$

können wir die obige Gleichung schreiben:

$$26) \quad \eta = \frac{Ac_0 + Bh_0 - 100}{Ac + Bh - 100}.$$

Wenn wir also  $A$  und  $B$  zu hoch nehmen, so ist der Fehler:

$$27) \quad d\eta = \frac{B(c_0 h - c h_0) + 100(c - c_0)}{(Ac + Bh - 100)^2} dA + \\ + \frac{A(ch_0 - c_0 h) + 100(h - h_0)}{(Ac + Bh - 100)^2} dB.$$

Wenn wir jetzt mit Hilfe der Analysendaten in der Gleichung 27) die Koeffizienten von  $dA$  und  $dB$  berechnen, so finden wir, dass diese Koeffizienten im allgemeinen positiv sind, d. h. wenn  $A$  und  $B$  zu gross genommen werden, so wird der Zersetzungsgrad zu klein; bloss in den Fällen, wo wir schon Unregelmässigkeiten trafen, erhalten wir die Koeffizienten von  $dA$  negativ, aber nur unter der Voraussetzung, dass von  $B$  der grösstmögliche Wert 9 eingesetzt wird. Dieses ist aber nicht möglich, daher ist es wahrscheinlich, dass auch in diesen Fällen der Koeffizient positiv wird.

Dass tatsächlich die Koeffizienten von  $A$  und  $B$  gerade in den Fällen, wo Unregelmässigkeiten vorkommen, kleiner als  $\frac{11}{3}$  bzw. 9 sein müssen, geht auch aus dem Umstand hervor, dass falls

$$A = \frac{11}{3}, \quad B = 9$$

die Koeffizienten von  $dA$  und  $dB$  der Grössenordnung nach etwa:

$$\frac{1}{100} \text{ bis } \frac{1}{1000} \text{ sind.}$$

Der Fehler ist aber wenigstens  $\frac{1}{10}$ , so dass  $A$  und  $B$  kleiner als  $\frac{11}{2}$  bzw. 9 sein müssen.

Bei dieser Stufe können sich Kohlenstoff und Wasserstoff als Kohlenwasserstoff entfernen.

Ferner folgt aus den oben angeführten Daten, dass unter Umständen beim Sphagnumtorf die Methanausscheidung vollkommen in den Hintergrund tritt, und erst Kohlensäure und dann später beinahe ausschliesslich Wasser entweicht.

Die Zahlen, an welchen wir unsere Berechnung geprüft haben, sind nicht für diesen Zweck experimentell ermittelt worden; es müssten für weitere Schlüsse Elementaranalysen nebst botanischer Untersuchung in verschiedenen Torflagen vorgenommen werden.

Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Versuche

von Sven Oden<sup>1)</sup> und Keppler<sup>2)</sup>, welche beide experimentelle Methoden zur Bestimmung des Vertorfungsgrades vorgeschlagen haben.

Diese Methoden haben einen qualitativen Charakter, da ja kein absoluter Masstab für die Zersetzung vorhanden ist. Aber zusammen mit dem oben angeführten werden sie hoffentlich dazu beitragen, in den Vertorfungsvorgang Klarheit zu bringen.

### Zusammenfassung.

1. Es wird gezeigt, dass bei der Vertorfung sich sowohl Wasser wie Kohlensäure bilden muss, und zwar zeitlich so, dass am Anfange mehr  $CO_2$  und später mehr  $H_2O$  entsteht.
2. Es wird eine Formel aus den Ergebnissen der Elementaranalysen für den Vertorfungsgrad abgeleitet, die zum Teil eine gute Uebereinstimmung mit der Erfahrung zeigt.
3. Die vorkommenden Abweichungen werden durch Entstehung von Kohlenwasserstoffen bei der Vertorfung erklärt.

1) Mellin, Oden. Kalorimetr. Untersuchungen über Humus und Humifizierung. Sveriges geol. årsbok 10, 1916, № 4.

2) Keppler. Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur Berlin, Heft 1, 1920.

### Berichtigungen.

- Auf Seite 5 steht: Donath<sup>3)</sup> — es soll sein: Schrader.
- „ „ 5 „ intermolekulare Zersetzung — es soll sein: intermolekulare Zersetzung<sup>3)</sup>.
- „ „ 9 „  $Y\%$  Kohlenstoff und  $Z\%$  Wasserstoff — es soll sein:  $y\%$  Kohlenstoff und  $z\%$  Wasserstoff.
- „ „ 10 „ 10)  $dB = \frac{9m + 11n}{m} \frac{d(Bc)}{300}$ .  
— es soll sein: 10)  $dB = \frac{9m + 11n}{n} \frac{d(Bc)}{300}$ .
- „ „ 15 „  $n = \text{ca. } 20\%$ , — es soll sein:  $n = \text{ca. } 20$ .