

# ZUR BESTIMMUNG DES VERTORFUNGS- GRADES

VON

YRJÖ KAUKO

---

DORPAT 1924

C. Mattiesen, Dorpat.

Nach unserer jetzigen Auffassung besteht die Vertorfung darin, dass die organischen Bestandteile des Torfes, wie Kohlehydrate, Lignin, Eiweisstoffe und Aetherextrakte sich zersetzen. Es entstehen dabei bis jetzt unbekannte Zersetzungsprodukte, die sogen. Humusstoffe. Allerdings wird im allgemeinen angenommen, dass die Eiweisstoffe sowie Aetherextrakte sich verhältnismässig wenig zersetzen, und hauptsächlich die Kohlehydrate die Humusstoffbildung veranlassen.

Noch in der allerletzten Zeit ist von Fischer und Schrader<sup>1)</sup> die Auffassung vertreten worden, dass die Kohlehydrate sehr schnell von dem Luftsauerstoff oxydiert werden, und dass die Humusstoffe hauptsächlich durch die Oxydation von Lignin entstehen.

Die Humusstoffe sind braun gefärbt und lösen sich in  $H_2O$  bis zu einem gewissen Grade auf.

Sven Oden<sup>2)</sup>, der viele eingehende Untersuchungen über verschiedene Humusarten ausgeführt hat, hat auch eine Bestimmung des Vertorfungsgrades vorgeschlagen. Nach ihm werden die relativen Mengen des Humusstoffes nach der Farbentiefe der aus Torf hergestellten Humuslösungen geschätzt. Als Mass wird eine Lösung angewandt, welche aus reinen Humus-säuren nach bestimmten Vorschriften hergestellt wird; dabei wird natürlich vorausgesetzt, dass die Menge der Humusstoffe den Masstab des Vertorfungsgrades bilden.

Vor kurzem ist ein Vorschlag von Keppeler<sup>3)</sup> erschienen, nach welchem nicht die bei der Vertorfung entstehenden, sondern die verzuckerbaren Bestandteile als Masstab für den Vertorfungsgrad benutzt werden. Da die Zersetzung der Kohlehydrate massgebend für die ganze Vertorfung sein soll, so schlägt er vor, dass der Kohlehydratgehalt des Torfes im Vergleich zu dem im unzersetzten Torf vorhandenen auch das Mass des Vertorfungsgrades bilden soll.

---

1) Fischer u. Schrader, Brennstoffchemie 3 (65) 1922. Neue Beitr. z. Entstehung u. chem. Struktur der Kohle.

2) Odén Mellin, Kolorimetr. Untersuchg. über Humus u. Humifizierung.

3) Keppeler, Mitteilung. d. Ver. z. Förderung d. Moorkultur, Berlin, Heft I, 1920.

Keppeler führt seine Bestimmung des Vertorfungsgrades folgenderweise aus: der zu untersuchende Torf wird zuerst mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, nachher wird die Lösung verdünnt und im Autoklav angekocht. In der so entstandenen Lösung wird die Zuckerbestimmung ausgeführt. Nach den Veröffentlichungen Keppelers zu schliessen, nimmt er einen Zuckergehalt von 68% im unzersetzten Torf an und vergleicht den prozentualen Zuckergehalt des Torfes mit demjenigen des unzersetzten Torfes, wobei die Abnahme des Zuckergehalts auch den Zersetzungsgrad des Torfes angeben soll. Auf diese Art hat Keppeler eine grosse Serie von Untersuchungen veröffentlicht, wobei tatsächlich der so berechnete Zersetzungsgrad mit dem wirklichen Zersetzungsgrad des Torfes ziemlich übereinstimmt. Dieses steht in einem gewissen Widerspruch mit den Annahmen von Fischer<sup>1)</sup>.

Man kann Keppelers Ansicht so darstellen, dass sich in erster Linie die Kohlehydrate abbauen, die Zersetzung anderer Torfsubstanzen tritt daneben zurück, oder sie ist derjenigen von Kohlehydraten evtl. proportional zu setzen, so dass der Vertorfungsgrad durch den Zersetzungsgrad der Kohlehydrate gegeben wird. Inwiefern diese Auffassung sich als richtig erweist, ist aus der vorläufigen Mitteilung Keppelers nicht ersichtlich. Nach unserem Ermessen dürfte kaum eine mathematische Abhängigkeit zwischen der Zersetzung der Kohlehydrate, des Lignins und der Humusstoffe bestehen. Diese sind alle von der Zeit abhängig, aber wahrscheinlich voneinander unabhängig. Es dürfte zu erwarten sein, dass schon entstandene Humusstoffe und noch evtl. vorhandenes Lignin sich auch dann weiter zersetzen, wenn die Kohlehydrate schon alle oder beinahe alle verschwunden sind. Es ist ja bekannt, dass Torfarten, welche nur Spuren von Kohlehydraten enthalten, prozentual noch sehr reich an Sauerstoff sind. Andererseits ist der Sauerstoffgehalt auch bei den sozusagen vollkommen zersetzten Torfarten verschieden hoch, welcher Umstand so erklärt werden kann, dass die Humusstoffe, selbst unabhängig vom Kohlehydratgehalt, sich weiter zersetzen. Dessenungeachtet kann man für die erste Orientierung die oben angeführte Annahme von Keppeler gelten lassen.

Die Berechnung des Vertorfungsgrades nach Keppelers Ver-

---

1) Fischer loc. cit.

suchsdaten setzt voraus, dass der Bestandteil im Torf, welcher Fehlingsche Lösung reduziert, von Kohlehydraten her stammt. Kauko und Lange<sup>1)</sup> haben gezeigt, dass auch die Humusstoffe des Torfes bei der Behandlung mit konzentrierten Säuren reduzierende Stoffe geben.

Es ist in der Arbeit der obengenannten Verfasser bewiesen worden, dass die Humusstoffe bis zu 65<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, als Glucose berechnet und auf Torftrockensubstanz bezogen, Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe ergeben. Gleichzeitig entsprach der Kohlehydratgehalt des Torfes nur 45<sup>0</sup>/<sub>0</sub> reduzierender Stoffe als Glucose berechnet. Es ist einleuchtend, dass eine auf diese Weise ausgeführte Kohlehydratbestimmung nicht einwandfreie Resultate ergibt, sondern u. U. zu vollkommen falschen Werten führen kann.

Allerdings geht aus den Untersuchungen von Kauko und Lange nicht hervor, wie sich der Torf bei der Behandlung nach Keppeler verhalten würde, weil die genannten Verfasser den Torf mit Chlorwasserstoff hydrolysiert hatten. Aber die in dem Laboratorium des Technischen Instituts zu Tammerfors später ausgeführten Versuche haben ergeben, dass auch nach der Arbeitsweise von Keppeler u. U. erheblich mehr reduzierende Stoffe entstehen, als nach dem Kohlehydratgehalt des Torfes zu erwarten wäre.

Dass die Analysenergebnisse von Zufälligkeiten bei der Ausführung der Analysen abhängig sind, dürfte damit zusammenhängen, dass die reduzierenden Verbindungen, welche von Humusstoffen herkommen, keine Zucker-, sondern bis jetzt unbekannte, dem Zucker ähnliche, stark Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe sind, die sich wahrscheinlich an der Luft sehr leicht oxydieren, oder sich in allen Fällen sehr leicht zersetzen.

Obgleich die Kohlehydratbestimmung durch die oben erwähnte Zuckerbestimmung auf Schwierigkeiten stösst, so könnte man sich doch denken, dass die relative Kohlehydratmenge des Torfes proportional der entstandenen scheinbaren Zuckermenge ist. Diese Annahme liegt umso näher, als wahrscheinlich die Humusstoffe, welche sich am wenigsten zersetzt haben, reduzierende Stoffe geben. Diese Frage ist aber noch nicht aufgeklärt, und in allen Fällen ist es bedenklich, diese Proportionalität ohne

1) Kauko und Lange, Beiträge zur Kenntnis der Torfhydrolyse, Annalen der Finnischen Akademie d. Wissensch. 1923.

weitere Begründung anzunehmen. Es könnte ja vorkommen, dass ein wenig zersetzter Torf mehr reduzierende Stoffe gäbe, als der ursprünglich unzersetzte Torf. Dieses kann man sich sehr leicht denken, wenn man berücksichtigt, dass die Humusstoffe evtl. stärker Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe ergeben, als es der Zucker ist. Unter dieser Voraussetzung kann nämlich ein bestimmter aus Kohlehydraten entstandener Torf mehr Fehlingsche Lösung nach der Hydrolyse reduzieren, als die ursprünglichen Kohlehydrate. Dieses ist umso mehr der Fall, als bei der Zersetzung das Gewicht der Trockensubstanz abgenommen hat, so dass hierdurch eine scheinbare prozentuelle Erhöhung des Zuckergehalts veranlasst wird. Wir müssen ausserdem bedenken, dass wir gewöhnlich die Reduktionskraft auf Glucose umrechnen, und dadurch den Fehler evtl. vergrössern.

Einige Versuchsergebnisse von Kauko und Lange machen es jedoch wahrscheinlich, dass bei richtiger Wahl der Hydrolysenverhältnisse, der Behandlungszeit und Temperatur die Kohlehydratbestimmung im Torfe als Zucker durchführbar ist. Dieser Umstand muss jedoch erst genau experimentell geprüft werden.

Keppeler berechnet den Vertorfungsgrad direkt aus der Zuckeranalyse. Dieses Verfahren hat bei uns Bedenken erweckt, und wir haben es rechnerisch verfolgt. Wir nehmen für unsere Betrachtungen  $A_0$  gr des unzersetzten Torfes an, welcher  $A$  gr teilweise zersetzten und  $A_0$  gr vollkommen zersetzten Torf ergibt. Nach Keppeler verstehen wir unter dem vollkommen zersetzten Torf ein Produkt, welches kein Kohlehydrat enthält. Wenn man diese drei verschiedenen Vertorfungsstufen hydrolysiert, so erhält man an reduzierenden Stoffen als Glucose berechnet  $a_0$ ,  $a$  und  $o$  gr, also auf 1 gr Torftrockensubstanz in der ersten Stufe  $\frac{a_0}{A_0}$ , in der zweiten Stufe  $\frac{a}{A}$  und in der dritten Stufe  $o$  gr Zucker.

Keppeler nimmt nun an, dass für die Zersetzung der prozentuale Zuckergehalt  $100 \frac{a}{A}$  des Torfes massgebend sei. Da im Anfang der Zuckergehalt  $100 \frac{a_0}{A_0} \%$  war, so ist die Zersetzung:

$$\frac{a}{A} : \frac{a_0}{A_0}$$

falls der unzersetzte Torf in Bezug seines Zuckergehaltes mit 1 bezeichnet wird, oder

$$100 \cdot \frac{a}{A} \cdot \frac{A_0}{a_0}$$

falls derselbe mit 100 bezeichnet wird, der Rest

$$G = 100 - 100 \frac{a}{A} \cdot \frac{A_0}{a_0}$$

gibt also die Zersetzung in einer Skala an, wo 0 die unzersetzte und 100 die vollständig zersetzte Stufe bedeutet.

Der Vertorfungsgrad ist allerdings kein genau definierter Begriff. Da es sich aber bei der Zersetzung um gleichzeitige Gewichtsabnahme des Torfes handelt, so wäre es eindeutig und in den meisten Fällen zweckmässig, den Bruch:  $\frac{A}{A_0}$  als Zersetzungsgrad zu bezeichnen. Es kommen zwar Fälle vor, wo die Vertorfung bei bestimmten Stufen unter Gewichtszunahme stattfinden kann<sup>1)</sup>, aber abgesehen von diesen seltenen Fällen dürften die Zersetzung und die Gewichtsabnahme des Torfes zusammengehen.

Wenn der Zersetzungsgrad im obigen Sinne jetzt durch die Zersetzung der Kohlenwasserstoffe bedingt wird, dann müsste folgendes Verhältnis bestehen:

$$\frac{A - A_v}{A_0 - A_v} = \frac{a}{a_0 - o}$$

Der Einfachheit wegen bezeichnen wir jetzt mit

$$x = \frac{a}{a_0} \cdot \frac{A_0}{A} \quad \text{und} \quad z = \frac{A}{A_0} \quad \text{bzw.} \quad Z = \frac{A_v}{A_0}$$

Unter dieser Annahme ergibt sich:

$$z \cdot x (Z - 1) + x = Z.$$

Offensichtlich ist die nach Keppeler bestimmte Zahl  $x$  dem richtigen Zersetzungsgrad  $z$  nicht proportional. Dessenungeachtet gibt die Keppelersche Zahl, wie aus der analytischen Beziehung ersichtlich ist, ein Bild von der Zersetzung des Torfes.

Der Verfasser<sup>2)</sup> hat jetzt an einer anderen Stelle gezeigt,

1) Berthelot u. André, Recherches calorimétriques 1 — acide humique dérivé du sucre. Ann. d. chim. et de physique (6) 25, 403, 1892.

2) Kauko, Beiträge zur Kenntnis der Torfzersetzung und Vertorfung. Act. et Comment. Univers. Dorpat. A V. 5 S. 1, 1924.

dass die Annahme, die Zersetzung des Torfes bestehe in Wasserabspaltung, nicht richtig sein kann, sondern dass man weiter annehmen muss, dass neben dem Wasser auch Kohlensäure bei der Zersetzung erscheint.

Der Verfasser bekennt sich weiter zu der Annahme, dass ausser Kohlensäure und Wasserabspaltung keine weitere Gewichtsabnahme der organischen Substanz stattfindet, ebenso wie die verschiedenen Stufen des Torfes alle solchen Pflanzenarten entstammen, deren chemische Bruttozusammensetzungen nahezu gleich sind. Unter diesen Voraussetzungen leitet der Verfasser eine Formel ab, durch welche man den Zersetzungsgrad des Torfes aus den Ergebnissen der Elementaranalyse bestimmen kann<sup>1)</sup>.

Bezeichnet man den Zersetzungsgrad mit  $x$ , so ist

$$x = \frac{9h_0 + \frac{11}{3}c_0 - 100}{9h + \frac{11}{3}c - 100}$$

wo  $h_0$  und  $c_0$  den Prozentgehalt an Wasserstoff bzw. Kohlenstoff im Anfang und  $h$  und  $c$  dieselben in der entsprechenden Vertorfungsstufe bedeuten.

Der Verfasser hat die Richtigkeit dieser Formel an der Hand einiger Analysendaten geprüft und gefunden, dass der Vertorfungsgrad bis auf einige Ausnahmen dem Alter des Torfes entspricht.

Offensichtlich basieren die hier angeführten Bestimmungsmethoden auf ganz verschiedenen Annahmen. Es wäre deswegen erwünscht, dass in einigen Versuchen die Ergebnisse der verschiedenen Methoden miteinander verglichen würden. Dadurch gelangten wir vielleicht zu einer Methode, durch die sich mit Sicherheit der Vertorfungsgrad bestimmen liesse; aber auf alle Fälle dürfte man auf diesem Wege über die Vorgänge, welche sich bei der Vertorfung abspielen, Aufschluss erhalten.

1) Kauko, loc. cit.