

Die Beschaffenheit unter erhöhtem Druck thermisch beanspruchter Lycopodium-Sporen

Autor(en): **Kirchheimer, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin
de la Société Botanique Suisse**

Band (Jahr): **43 (1934)**

Heft 1

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-29091>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Beschaffenheit unter erhöhtem Druck thermisch beanspruchter *Lycopodium*-Sporen.¹

(Mit zwei Diagrammen)

Von F. Kirchheimer, Giessen.

Eingegangen am 9. November 1933.

Seit längerer Zeit beschäftigt mich der Erhaltungszustand von Sporen bzw. Pollenkörnern aus Stein- und Braunkohlen. Sie zeigen morphologische Veränderungen, die entweder während der Isolierung entstanden sind (sog. Aufbereitungsschädigung) oder der Beanspruchung im Verlaufe der Inkohlung des Trägergesteines entspringen (sog. Primärdestruktion). In enger Zusammenarbeit mit ZETSCHE (Bern) und seinen Schülern, soll die sich morphologisch auswirkende chemische Veränderung der Membransubstanz von Sporen und Pollenkörnern erforscht werden. Experimentelle Behandlung rezenten Materials durch schädigende Agenzien (KOH, HNO₃ usw.) und physikalische Einflüsse (Wärme, Druck usw.) ruft an den Membranen Erscheinungen hervor, die den Aufbereitungsschädigungen oder der Primärdestruktion entsprechen und analytisch erfasst werden können.

So wurden bereits Sporen von *Lycopodium clavatum* L. in Glycerin oder Paraffin auf 200°—340° unter Atmosphärendruck erhitzt. ZETSCHE und KÄLIN (1932a, S. 671 ff.) haben als Folge dieser thermischen Beanspruchung einen ihr korrelativen weitgehenden Abbau (Depolymerisation) der Exosporsubstanz nachgewiesen. Die morphologische Untersuchung (KIRCHHEIMER 1933a, S. 154 ff.) ergab eine mit der Temperaturzunahme fortschreitende Reduktion der Sporengrösse, unter progressiven physikalischen Veränderungen und kennzeichnender Destruktion der Membran. Durch Erhitzung wird die Widerstandsfähigkeit der Sporen gegenüber den gewöhnlich zur Kohleaufbereitung dienenden Chemikalien herabgesetzt; besonders Mazeration mit HNO₃ bewirkt erhebliche Schädigung der Exospore, die sich den spezifisch thermischen Veränderungen beigesellen.

Diese Untersuchungen haben zur Deutung der Erhaltung des Pollens einiger Braunkohlen verholfen. Die Membranbeschaffenheit der Pollenkörner aus der Stangenkohle vom Meissner ist auf Grund der mit den thermisch veränderten *Lycopodium*-Sporen übereinstimmenden Schädigungsstruktur, als durch die Hitze einwirkung des die Kohle intrudierenden basaltischen Magmas bedingt anzusehen (vgl. KIRCHHEIMER 1933 b, S. 23 ff.). Schädigungserscheinungen an den Pollen-

¹ In Zusammenarbeit mit F. ZETSCHE, Bern.

exinen mancher Glanzbraunkohlen sind wohl unter dem Einfluss der bei ihrer kinetischen Metamorphose entwickelten Druckbeanspruchung und geringen Erhitzung entstanden (vgl. KIRCHHEIMER 1933 c, S. 246).

Da die gekennzeichnete Arbeitsrichtung manche Fragen der genetischen Kohlenpetrographie zu klären verspricht, wurden weitere experimentelle Untersuchungen eingeleitet. Abgeschlossen sind zurzeit Erhebungen über das Verhalten von *Lycopodium*-Sporen, die erhöhtem Druck durch Erhitzen im Einschlussrohr innerhalb wässrigen Mediums unterlagen. Die chemischen Ergebnisse erläutert KÄLIN (1933) im Rahmen einer zusammenfassenden Darstellung über rezente und fossile Sporopollenine. Hier werden vorwiegend die morphologischen Veränderungen der Sporen infolge der noch näher anzugebenden Beanspruchung geschildert; sie sind sehr wesentlich und haben häufig erst eine Klärung des chemischen Verhaltens der Membransubstanz ermöglicht (I). Die Ergebnisse seien mit den früheren Feststellungen an den unter Atmosphärendruck thermisch beanspruchten *Lycopodium*-Sporen verglichen (II), anschliessend wird ihrer Bedeutung für die Frage der Inkohlungstemperatur der Steinkohlen nachgegangen (III).

I.

ZETZSCHE und KÄLIN haben drei Versuchsfolgen (A, B, C) durchgeführt. Es wurden stets 0.5 g Sporen von *Lycopodium clavatum* L. in zugeschmolzenen Glasröhren mit der für jede Folge besonders angegebenen Wasser- und Gasbeschickung in verschiedener Stufung erhitzt. Unter dem Einfluss der thermischen Beanspruchung bilden sich saure Abbauprodukte. Das Depolymerisat wurde mit Pyridin extrahiert und quantitativ bestimmt, aus dem Gewichtsverlust liess sich der prozentuale Abbau der Sporen errechnen. Von den Folgen B und C lagen mir auch bromierte und durch anschliessende Behandlung mit HNO₃ nitrierte Proben vor (vgl. ZETZSCHE und KÄLIN 1932 b, S. 365 ff.).

Zur Feststellung der morphologischen Veränderungen gegenüber dem Ausgangsmaterial, diente die bei früheren Untersuchungen bewährte Methodik (vgl. KIRCHHEIMER 1933 a, S. 137).² Von einer durchgehenden Angabe der Brechungsindices konnte Abstand genommen

² Die Standart-Werte (Sporen von *Lycopodium clavatum* L.) seien hier nochmals zusammengestellt:

	Farbwert (nach OSTWALD)	Brechungsindex	Mittelgrösse (in μ)
Rein-Sporen	3 e a	1.51	28.1
Brom-Nitro-Sporen .	3 i c	1.54	28.2
Sporonin	3 n e	1.54	28.4

Die Fehlergrenze der Messungen wurde bei $V = 700 \times$ mit $\pm 0.3 \mu$ bestimmt.

werden; denn das Lichtbrechungsvermögen steigt nach meinen Erfahrungen lediglich mit der Höhe der Erhitzung, ohne Beziehungen zu den im Verlaufe der thermischen Exposition sich entwickelnden physikalischen Zuständen.³

Die zunehmende Erhitzung bewirkt eine fortschreitende Depolymerisation der Membransubstanz. Dieser Vorgang wird nicht nur von der Höhe der Temperatur und dem Medium (Phase des Wassers) bestimmt, sondern auch durch den jeweiligen Druck beeinflusst; er wirkt dem Abbau entgegen, ohne ihn indessen aufheben zu können. Die näheren Beziehungen der Depolymerisationsvorgänge zur Temperatur- und Drucksteigerung bzw. deren Relation, können hier übergangen werden; KÄLIN (1933) hat sie sehr anschaulich dargestellt.

F o l g e A : Die mit den Sporen und 3 cm³ H₂O beschickten Röhren enthalten Luft, die Dauer der Erhitzung beträgt 2½ Stunden. Leider wurden Druck und flüssige Phase nicht bestimmt; doch nimmt KÄLIN an, dass bei 315° noch Wasser vorhanden war. Mit zunehmender Temperatur erfolgt Steigerung der Depolymerisation, die sich in einer Erhöhung des Abbauprozentsatzes äussert (vgl. Tafel 1). Indessen lässt der Vorgang keine lineare Proportion zur Temperaturzunahme erkennen.

Tafel 1.

Chemische und physikalisch-morphologische Daten für die Proben der Versuchsfolge A.

Temperatur (C)	Abbau (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse μ	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)	Verhältnis von Grössen zu Gewichtsabnahme
130°	4.16	3 l e	28.1	keine	—
160°	7.26	3 i c	28.6	+ 1.8	—
200°	8.68	3 p e	26.4	— 6.1	1 : 1.4
230°	19.40	3 n e	26.0	— 7.4	1 : 2.6
260°	30.04	3 n g	25.2	—10.4	1 : 2.9
315°	38.52	3 n e	22.7	—19.3	1 : 2.0

Die auf 130° erhitzten Sporen zeigen keine Schädigung der Exospore, deren Skulptur (Wabensystem) unverändert regelmässig ist. Bei 160° treten wellige Verbiegungen der Wabenwände (Leisten) auf (vgl. KIRCHHEIMER 1933 a, S. 162; Fig. 25), die wohl in Zusammenhang mit der nahe dieser Temperatur einsetzenden Schrumpfung infolge Wasserabspaltung der Exosporsubstanz (vgl. ZETZSCHE und

³ Es gelten folgende Indices : 100°—130° n = 1.56
 160°—300° n = 1.58
 300°—330° n = 1.64.

KALIN 1932 b, S. 672) stehen; sie steigern sich mit der Erhitzung, gemäss dem durch Bildung extrahierbarer Depolymerisate bedingten Substanzverlust. Die auf 200° erhitzten Sporen sind stärker geschädigt, als es ihrer thermischen Beanspruchung und nur geringen Zunahme der Depolymerisation gegenüber der um 40° weniger erhitzten Probe entspricht; es wurden viele erheblich geschädigte, auch deformierte Exospore beobachtet.

Noch stärker ist die *D e f o r m a t i o n* innerhalb der Probe 260°. Nur sehr wenige Sporen zeigen noch kugelig-tetraëdrische Gestalt, die selbst das in Paraffin auf 340° erhitzte Material besitzt (vgl. KIRCHHEIMER 1933 a, Fig. 20). Tetraëderleisten sind kaum erhalten, die Oberfläche der Exospore ist von Falten bedeckt. Mit *W ü l s t e n* und *K n o t e n* versehene Gebilde, geben sich als noch mehr veränderte Individuen zu erkennen (vgl. KIRCHHEIMER 1933 b, S. 24; Abb. 1). Trotz dieser hochgradigen Schädigung ist die Grössenreduktion gegenüber dem hohen prozentualen Abbau nicht erheblich, wie die diesbezügliche Proportion lehrt. Die auf 315° erhitzten Sporen sind ebenfalls stark deformiert, ihr Exospor zeigt wulstig-knotige Beschaffenheit.

F o l g e B: Die 22½ Stunden erhitzten Röhren enthalten ausser den Sporen 2 cm³ H₂O, zur Vermeidung von Oxydationsvorgängen wurde die Luft durch N₂ verdrängt. Den gleichen Bedingungen unterlagen zwei Röhrensätze verschiedenen Volumens. In den weiten Röhren (W-Sporen) verdampft schon bei Beginn der Erhitzung mehr Wasser; solange aber noch eine flüssige Phase vorhanden ist, herrscht in beiden Röhrenarten der gleiche Druck. Die engen Röhren (E-Sporen) enthalten noch um 260° Wasser, in den weiten Röhren verschwindet die flüssige Phase bei 210°—215°. Die Depolymerisation geht in den engen und weiten Röhren nicht parallel. Bis zu 160° ist im engen Rohr der Abbau stärker, erst bei 200° etwa gleich und über dieser Temperatur im weiten Rohr grösser (vgl. Tafel 2). Vom Zeitpunkt der völligen Verdampfung des eingeschlossenen Wassers, nimmt der Abbau unvermittelt erheblich zu.

Die während der thermischen Exposition den Röhrenwandungen anliegenden Teile der Proben dieser Folge sind gegenüber ihrem Innern dunkler nuanciert. Die aus ihnen entnommenen Sporen zeigen besonders schlechten Erhaltungszustand, sie können meist nicht voneinander isoliert und ausgemessen werden. Die auf 130° erhitzten E-Sporen sind zu körnigen braunen Massen zersetzt, nur wenige geringer geschädigte Exospore wurden festgestellt. Die Erhaltung der entsprechenden W-Sporen ist besser, wenngleich auch sie wulstige Oberflächenbeschaffenheit erkennen lassen. Das Aussehen der auf 160° erhitzten Sporen beider Rohrkaliber schliesst sich den nur 130° ausgesetzten Proben an. Die Erhaltung der auf 200°—260° erhitzten E- und W-Sporen ist ziemlich gleichartig, und zwar infolge der erheblichen Drucksteigerung besser,

als bei geringerer thermischer Beanspruchung. Die E-Sporen von 300° und 330° sind stark deformiert, ihre Exospore erscheinen dunkel und weisen körnig-wulstige Beschaffenheit auf. W-Sporen dieser Temperaturstufe waren vollständig destruiert und nicht auszumessen, der Abbau der Sporensubstanz ist besonders weit fortgeschritten. Die Ursache der sehr starken Schädigung der auf 130° und 160° erhitzten Sporen erblicken ZETZSCHE und KÄLIN in keiner Kontrolle zugänglichen Oberflächenreaktionen. Das Diagramm 1 lässt erkennen, dass mit dem Verschwinden der flüssigen Phase (E-260°, W-210°—215°) die an der Zunahme des Abbauprozentsatzes und der Grössenreduktion kenntliche Destruktion verstärkt einsetzt.

Tafel 2.
Chemische und physikalisch-morphologische Daten für die Proben der Versuchsfolge B.

E-Sporen						
Temperatur (C)	Druck (At.)	Abbau (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)	Verhältnis von Grössen- zu Gewichtsabnahme
130°	4.175	8.82	{3ic, 3pg, 3ng}	28.2	+ 0.4	—
160°	7.837	14.24	3pg	26.7	— 5.0	1:2.8
200°	17.531	19.52	3le	26.3	— 6.4	1:3.1
230°	30.321	25.80	3nc	25.5	— 9.3	1:2.8
260°	39.542	36.45	3pi	24.7	—12.1	1:3.0
300°	57.540	44.20	4pl	24.6	—12.9	1:3.4
330°	70.669	50.10	4pn	21.9	—22.2	1:3.2
W-Sporen						
Temperatur (C)	Druck (At.)	Abbau (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)	Verhältnis von Grössen- zu Gewichtsabnahme
130°	4.175	7.88	3ic	28.6	+ 1.4	—
160°	7.837	10.96	3le	26.8	— 4.6	1:2.4
200°	17.531	19.92	3ng	27.5	— 2.1	1:9.5
230°	30.321	28.56	3ng	25.6	— 5.3	1:5.4
260°	36.005	38.65	3pg	24.3	—13.4	1:2.9
300°	39.862	89.68	} schwarz {	—	—	—
330°	68.135	67.86		—	—	—

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe weisen ohne Rücksicht auf das Volumen der benutzten Röhren gewisse Analogien zur Folge A auf, da gleichfalls mit steigender Temperatur dem fortschreitenden Abbau folgend die Mittelgrösse der

Sporen abnimmt. Bemerkenswert ist das Verhältnis von Grössen- zu Gewichtsabnahme (Abbau). Es beträgt im E-Rohr mit ziemlicher Regelmässigkeit für alle Erhitzungsstufen 1 : 3; Abbau und Grössenreduktion schreiten hier ja im Gegensatz zu den W-Proben durchgehend fort. Bis 230° ist Grössenabnahme und Gewichtsverlust der E-Sporen beträchtlicher, bei 260° und den höheren Staffeln überwiegt die Destruktion der W-Sporen. Dieses Verhalten beweist die enge kausale Beziehung der morphologischen und chemischen Veränderungen.

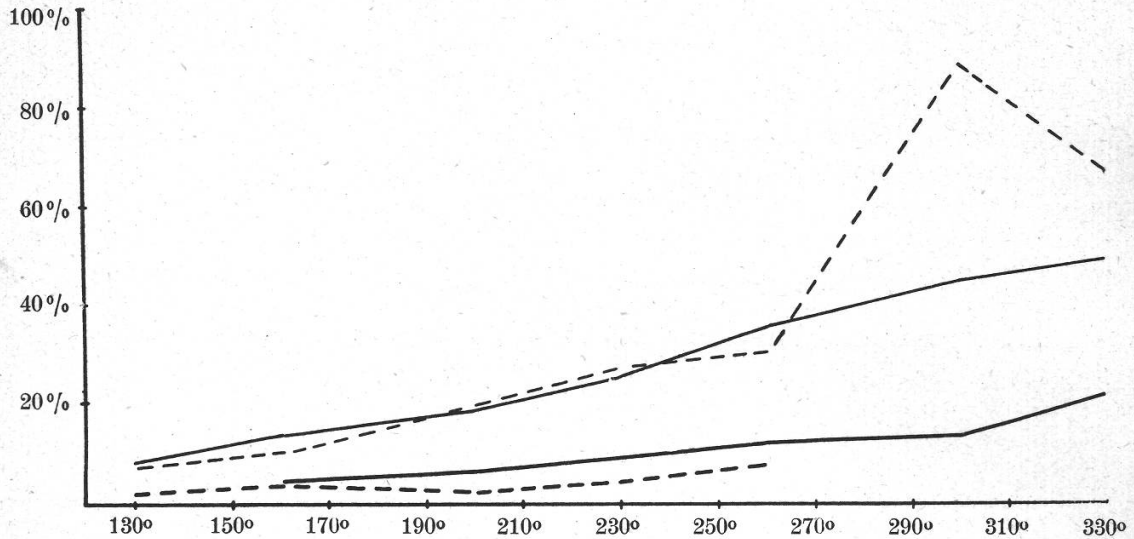
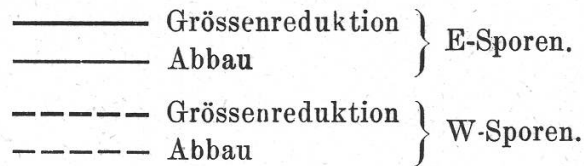


Diagramm 1.

Grössenreduktion und Abbau von *Lycopodium*-Sporen der Versuchsfolge B.



Tafel 3.

Physikalisch-morphologische Daten von Brom-nitro-Sporen der Versuchsfolge B.

E-Sporen				W-Sporen		
Temperatur (C)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)
130°	3 i a, 3 l c	29.6	+5.4	3 g a	28.7	+2.1
160°	3 i c, 3 l c	28.9	+2.8	3 l c	27.1	-3.6
200°	3 i c, 3 l c	28.8	+2.5	3 i a	27.9	-0.7
230°	3 n e	26.9	-4.3	3 n e	26.9	-4.3
260°	3 n e	26.3	-6.4	3 n c	26.6	-7.0
300°	4 p i	25.5	-9.3	} schwarz {	—	—
330°	{ 5 p e }	—	—		—	—

Die bromierten und nitrierten Sporen der Folge (vgl. Tafel 3) sind gegenüber dem nicht in dieser Weise behandelten Material aufgehellt. Die Sporengrösse hat relativ stark zugenommen; ihre Reduktion erreicht selbst nach thermischer Beanspruchung von 300° noch keine 10 %. Brom-nitro-Produkte der auf 130° und 160° erhitzten Proben sind gleichfalls sehr schlecht erhalten, die Messungen erforderten langes

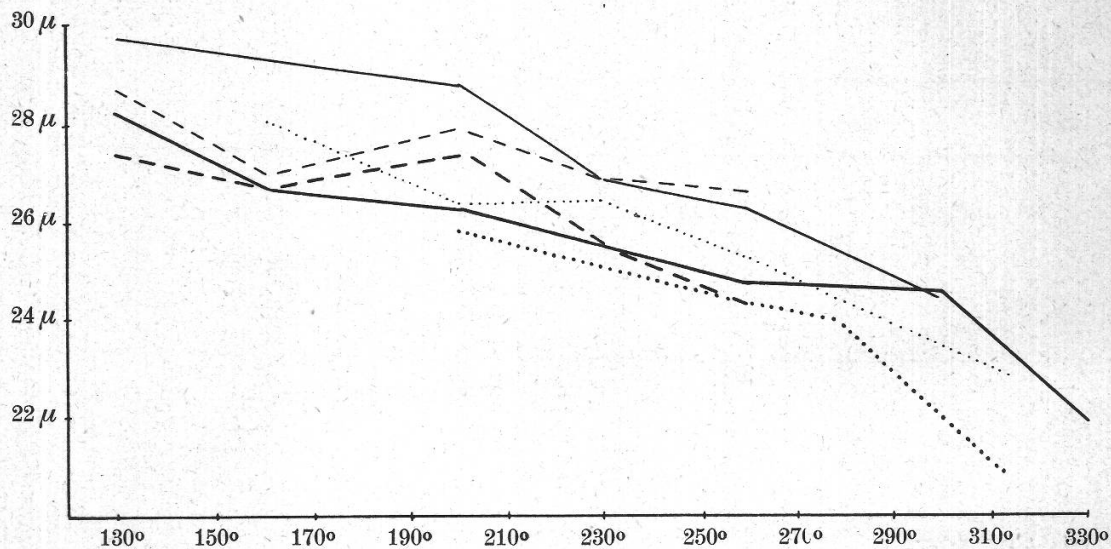


Diagramm 2.

Grössenreduktion von *Lycopodium*-Sporen durch Paraffinerhitzung (KIRCHHEIMER 1933 a, S. 168) und der Versuchsfolgen A und B.

- Paraffinerhitzung.
- Folge A.
- Folge B
- Folge B (Brom-nitro) } E-Sporen.
- Folge B
- Folge B (Brom-nitro) } W-Sporen.

Suchen nach geeigneten Sporen. Auch die Schädigungserscheinungen der höher erhitzten Proben entsprechen den an nicht bromnitrierten Sporen beobachteten Veränderungen; sie sind jedoch bei der guten Aufhellung der Exospore besser festzustellen. Die Einzelheiten der Beziehungen zwischen den beiden Probenarten gehen aus dem Diagramm 2 hervor. Die Vergrößerung der E-Sporen ist innerhalb der niedrigen Temperaturstufen bis 200° am beträchtlichsten, während innerhalb der W-Proben das umgekehrte Verhältnis herrscht.

Folge C : E- und W-Röhren mit einem der Folge B entsprechenden Inhalt wurden 12 Tage auf 130° erhitzt. Gemäss der geringen thermischen Beanspruchung war während dieser Zeit noch Wasser vorhanden. Der prozentuale Abbau der Sporensubstanz ist kaum verschieden von den gleich hoch, aber kürzer erhitzten Proben der Folgen A und B.

Tafel 4.

Chemische und physikalisch-morphologische Daten für die Proben der Versuchsfolge C.

E-Sporen					
Temperatur (C)	Druck (At.)	Abbau (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)
130°	4.175	8.45	3 l e	28.4	+1.0
W-Sporen					
Temperatur (C)	Druck (At.)	Abbau (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)
130°	4.175	8.80	3 p g	28.4	+1.0

Verglichen mit dem besonders aussen verbackenen Material der Folge B, sind diese Proben locker zu nennen. Der Erhaltungszustand ist gleichmässiger, hochgradig deformierte Exospore fehlen fast. Die Grössenveränderung der Sporen bewegt sich innerhalb der Fehlergrenze der Messungen. Die W-Sporen sind stärker verändert, auf den Exosporen lagern braune Körnchen.

Die Brom-nitro-Sporen (Tafel 5) zeigen schlechtere Erhaltung, sie haben starke Aufhellung und erhebliche Grössenzunahme erfahren. Im Vergleich mit der entsprechenden Probe der Folge B, ist die Vergrösserung der weitgehend destruierten W-Sporen besonders stark. Gegenüber der sehr kurz erhitzten Folge A zeigen B und C, dass die Sporen mit zunehmender Dauer der Beanspruchung schon bei unerwartet niedriger Temperatur bedeutende morphologische Veränderungen erleiden. Es hat den Anschein, dass schnelle hochgradige Erhitzung durch langfristige thermische Exposition bei niedrigen Temperaturen zu ersetzen ist.

Tafel 5.

Physikalisch-morphologische Daten von Brom-nitro-Sporen der Versuchsfolge C.

E-Sporen				W-Sporen		
Temperatur (C)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)	Farbwert (nach OSTWALD)	Mittelgrösse (μ)	Grössenänderung gegenüber dem Ausgangsmaterial (%)
130°	3 i c	28.7	+2.0	3 l c	30.2	+7.0

II.

Die neu untersuchten Folgen A—C haben mit den in Paraffin oder Glycerin bei Atmosphärendruck erhitzten Proben (vgl. KIRCHHEIMER 1933 a, S. 154 ff.) gemein, dass steigende thermische Beanspruchung eine zunehmende Schädigung der Exospore bewirkt. Sie äussert sich gleichfalls in einer progressiven Zunahme der Bildung löslicher Depolymerisate (Abbau), unter ständiger Verringerung der Sporengrösse. Das Verhältnis von Grössenreduktion und Abbau beträgt für Paraffin- oder Glycerinerhitzung 1 : 2, die unter Druck thermisch beanspruchten E-Sporen der Folge B ergaben 1 : 3. Da die nur 2½ Stunden erhitzte Folge A eine der Grössenverringering wesentlich günstigere Proportion (etwa 1 : 2.4) zeigt, dürfte dieser auffällige Unterschied seine Erklärung in der kürzeren thermischen Exposition (im Mittel 7 Stunden gegen 22½ Stunden) der Paraffin- und Glycerinproben finden. Die Grössenabnahme der in Paraffin erhitzten Sporen und einer in die diagrammatische Darstellung 2 nicht aufgenommenen Glycerinreihe (200°—280°), übertrifft die Veränderung des unter erhöhtem Druck in gleichem Maße thermisch beanspruchten Materials. Diese Erscheinung beruht wohl auf der Hemmung des Depolymerisationsvorganges durch den sich im Einschlussrohr entwickelnden Druck.

Der Erhaltungszustand der druckbeanspruchten Sporen ist schlechter, als innerhalb der Paraffin- und Glycerinproben. Besonders erheblich ist die Destruktion bei Erhitzen auf 300° oder 330°; entsprechend behandelte Sporen der Paraffinreihe haben zwar etwa 18 % bzw. nahezu ein Drittel der Grösse eingebüsst, sind aber weniger geschädigt. Auch sonst treten innerhalb der Versuchsfolgen A—C besonders weitgehende Veränderungen der Exosporbeschaffenheit auf, die das Maß der nach ihrer thermischen Beanspruchung zu erwartenden Schädigung übertreffen; so innerhalb der auf 260° erhitzten Probe der Folge A (vgl. S. 22). Dieses Verhalten zeigen auch zwei in Glycerin auf 260° bzw. 280° erhitzte Proben mit normaler Abbauzahl (etwa 30 %); viele Exospore waren hochgradig korrodiert, die Ausmessung gestaltete sich daher schwierig (vgl. KIRCHHEIMER 1933 a, S. 162). Obwohl bei der mikroskopischen Untersuchung gewöhnlich die weitgehend abgebauten Sporen sich als besonders stark geschädigt erweisen, sind diese Erhaltungszustände nicht von Grössenreduktion und Abbaufortschritt abhängig.

Manche Schädigungserscheinungen (z. B. wellige Verbiegungen der Exospor-skulptur) an druckerhitzten Sporen entsprechen den morphologischen Veränderungen des in Paraffin oder Glycerin unter Atmosphärendruck erhitzten Materials. Sie sind daher ausschliesslich thermisch bedingt und so in ihrer Progression von der Steigerung der Erhitzung abhängig, ohne Rücksicht auf besondere physikalische Zustände während der Exposition. Dagegen können die erwähnten braunen Granula als spezifische Schädigung der langfristig unter Druck erhitzten Sporen betrachtet werden; sie sind in KOH oder HNO₃ löslich und vielleicht voluminöse Zerfallsprodukte des feinen wachsartigen Häutchens, das die

Waben des Exospors überspannt. Auch die Wulstbildungen finden sich ausschliesslich bei den Exosporen der Versuchsfolgen A—C. Sie sind meines Erachtens als Schmelzerscheinungen zu deuten, die sich an den Sporen der unter Atmosphärendruck erhitzten Proben nicht entwickelt haben. Dieser Befund veranlasst die Vermutung, dass der Schmelzpunkt des *Lycopodium*-Sporonins in Uebereinstimmung mit einigen wenigen Stoffen unter Druck wesentlich erniedrigt wird.

III.

Für die genetische Kohlenpetrographie ist die Feststellung wichtig, dass Sporen bei kurzfristiger Beanspruchung durch wenig über 100° liegende Erhitzung (130° und 160°) unter 10 Atmosphären noch nicht erreichendem Druck, weitgehende morphologische Veränderungen erleiden und bereits ansehnliche Mengen in Pyridin löslicher Depolymerisate (etwa 10 %) liefern.

ZETZSCHE und KÄLIN (1932 c, S. 677/678) haben auf Grund des thermischen Verhaltens der Sporopollenine eine Inkohlungstemperatur der Steinkohlen von wenig über 100° angenommen, und zwar entgegen der auch in letzter Zeit mehrfach vertretenen Anschauung von ERDMANN (1924, S. 262), die für das Inkohlungsstadium der Steinkohle mindestens 325° forderte. STACH (1932, S. 912) hat aus den chemischen Eigenschaften der Huminsäuren geschlossen, dass die oberbayrische Pechkohle (Glanzbraunkohle) niemals einer höheren Temperatur als 180° ausgesetzt war; dagegen glaubte in diesem Falle ERDMANN etwa 250° ansetzen zu müssen. Meine Studien an thermisch beanspruchten rezenten Sporen lassen erkennen, dass die morphologischen Veränderungen der Steinkohlensporen sehr wohl unter dem Einfluss einer nur geringfügigen Erhitzung entstanden sein können. Falls die thermische Beanspruchung 300° erreicht hätte, würden die Steinkohlensporen selbst unter hohem, der Depolymerisation entgegenwirkenden Druck bei Berücksichtigung der langfristigen Exposition, mindestens das Destruktionsstadium der auf 300° druckerhitzten Proben (Folge A—C) zeigen. Die einschlägigen Untersuchungen von LANGE, ZERNDT u. a. haben jedoch ergeben, dass stärkere Schädigungen der Sporen im allgemeinen erst in Fettkohlen aufzutreten pflegen und in den Magerkohlen zur nahezu vollständigen Zerstörung führen (vgl. KÄLIN 1933). Die Feststellungen an experimentell thermisch beanspruchten Sporen stützen mithin die Auffassung von einer niedrigen Inkohlungstemperatur der Steinkohlen.

Zusammenfassung.

Sporen von *Lycopodium clavatum* L. wurden im Einschlussrohr auf 130°—330° erhitzt, unter gleichzeitiger Druckbeanspruchung von 4—70 Atmosphären. Die Membran wird abgebaut und liefert eine mit der Erhitzung sowie den physikalischen Verhältnissen steigende Menge von Depolymerisaten (8—90 %). Der zunehmenden thermischen Bean-

sprechung folgt eine fortschreitende Verringerung der Sporengrösse. Gleichzeitig erleiden die Exospore morphologische Veränderungen bis zur völligen Destruktion. Die relativ geringe Schädigung der Sporen in den Steinkohlen spricht für eine niedrige Inkohlungstemperatur, die wesentlich unter den von ERDMANN u. a. angegebenen Werten liegen dürfte.⁴

Schriftennachweis.

- ERDMANN 1924: Der genetische Zusammenhang von Braunkohle und Steinkohle auf Grund neuer Versuche. — Jahrb. d. Halle'schen Verb. zur Erf. d. Mitteldeutsch. Bodensch. **4** (1924).
- KÄLIN 1933: Rezente und fossile Sporopollenine. — Dissertation, Bern 1933.
- KIRCHHEIMER 1933 a: Die Erhaltung der Sporen und Pollenkörner in den Kohlen, sowie ihre Veränderungen durch die Aufbereitung. — Botan. Archiv **35** (1933).
- 1933 b: Die thermische Schädigung des Pollens in den Kohlen. — Ber. Schweiz. Botan. Ges. **42** (1933).
- 1933 c: Der Erhaltungszustand des Pollens in den Glanzbraunkohlen. — Ber. Schweiz. Botan. Ges. **42** (1933).
- STACH (H.) 1932: Ueber die Metamorphose der Kohlen und das Problem der künstlichen Inkohlung. — Braunkohle **31** (1932).
- ZETSCHE u. KÄLIN 1932 a: Das thermische Verhalten der Sporopollenine. — Helv. Chimica Acta **15** (1932).
- 1932 b: Eine Methode zur Isolierung des Polymerbitumens (Sporenmembranen, Kutikeln usw.) aus Kohlen. — Braunkohle **31** (1932).
- 1932 c: Die Inkohlungstemperatur der Steinkohlen. — Helv. Chimica Acta **15** (1932).

⁴ Vgl. hierzu auch KIRCHHEIMER 1934: Fossile Sporen und Pollenkörner als Thermometer der Inkohlung. — Brennstoff-Chemie **15** (1934); S. 21—25, Abb. 1—11 (Schrifttum).
