Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik
in Schleswig-Holstein und Hamburg
(AG Floristik . . . von 1922)
Herausgegeben von Prof. Dr. E.-W. Raabe

Heft 25

Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen an zwei Spätglazial-Vorkommen in Schleswig-Holstein

von

Hartmut Usinger

Kiel 1975

Bisher sind folgende Hefte erschienen:
(vergriffene Hefte in Klammern)

(Heft 1, 1950) RAABE, E.-W., Fehmarn
(Heft 2, 1950) RUNDESHAGEN, E., Dänischer Wohld
(Heft 3, 1951) RAABE, E.-W., Über die Gräser in Schleswig-Holstein 133 S. mit Nachträgen. DM 4, - (3, -)
Heft 4, 1952 JENSEN, N., Die Moosflora von Schleswig-Holstein. 240 S. DM 8,40 (6,30)
Heft 5, 1955 Festschrift für Dr.h.c. Willi CHRISTIANSEN zur Vollendung des 70. Lebensjahres. Mit 32 Beiträgen. 325 S. DM 12,80 (10,30)
Heft 6, 1956 RAABE, E.-W., Bericht über die Arbeitstagung in Lauenburg an der Elbe. 39 S. DM 1, - (-,80)
(Heft 7, 1959) HORSTMANN, H., Flora des Kreises Husum
Heft 8, 1959 SCHREITLING, K.-Th., Beiträge zur Erklärung der Salzvegetation in den nordfriesischen Kögen, 98 S.
MENZEL, Fr., Die Verbreitung der Röhrlinge, Blätter- und Bauchpilze in Südtondern. 17 S. DM 4, - (3, -)
(Heft 9, 1961) MÖLLER, H., Floristisch-soziologische Untersuchungen im Scharnhagener Moor (Dänischer Wohld). 64 S.
GAERTNER, K.-H., Die Vegetationsverhältnisse der Wiesen am Barsbeker See. 110 S. DM 8. - (6,40)
Heft 10, 1962 MANG, Fr., Zur Kenntnis der gegenwärtigen Vertreter der Salix-Sektion INCUBACEA DUMORTIER und ihrer häufigsten Bastarde in Schleswig-Holstein, Hamburg und den angrenzenden Gebieten. 79 S. DM 7,50 (5,80)
Heft 11, 1963 SCHREITLING, K.-Th., Im Spülsaum der nordwestdeutschen Flachküste. 105 S. DM 5. - (4. -)
Heft 12, 1963 VOGEL, H., Moorstratigraphische und pollenanalytische Untersuchungen am Himmelmoor bei Quickborn. 35 S. DM 2,80 (2, -)
Heft 13, 1965 HEYKENA, A., Vegetationstypen der Küstendünen an der östlichen und südlichen Nordsee. 135 S. DM 13. - (10,40)
Heft 14, 1966 SCHLOTTMANN, C.P., Die Pflanzengesellschaften des Gaarder Bauernwaldes (Kreis Südtondern). 129 S.
MENZEL, Fr., Die Verbreitung der Moose in Südtondern. 8 S. DM 10, - (7,50)
Heft 15, 1967 WEBER, H.E., Über die Vegetation der Knicks in Schleswig-Holstein. 196 S. Text und 43 Tab. DM 21, - (16,90)
Heft 16, 1968 SCHREITLING, K.-Th., Wir bestimmen Laubbäume im Winter. 53 S. DM 5. - (4. -)
Heft 17, 1969 EGGERS, Th., Über die Vegetation im Gotteskoog (Nordfriesland) nach der Melioration. 103 S. DM 16, - (13,25)
Heft 18, 1970 PIONTKOWSKI, H.U., Untersuchungen zum Problem des Atlantischen Klimakeils. 217 S. DM 14, - (10,30)
Heft 19, 1970 MÖLLER, H., Soziologisch-ökologische Untersuchungen in Erlenwäldern Holsteins. 109 S. DM 14, - (10,20)

Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik
in Schleswig-Holstein und Hamburg
(AG. Floristik . . . von 1922)
Herausgegeben von Prof. Dr. E.-W. Raabe

Heft 25

Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen an zwei Spätglazial-Vorkommen in Schleswig-Holstein

(mit besonderer Berücksichtigung
der pollenanalytischen Birken-Differenzierung)

von

Hartmut Usinger

Kiel 1975

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I	EINLEITUNG	7
II	METHODEN	
	A Profil- und Probenentnahme	9
	B Pollenanalyse	
	1 Aufbereitung	10
	2 Präparation (Einbettung)	11
	3 Mikroskopie, Photographie, Pollenzählung	13
	4 Pollendiagramme	14
	C Sedimentanalysen	14
III	IDENTIFIKATIONEN (excl. Betula)	17
	A Spermatophyta	17
	B Pteridophyta	21
	C Umgelagerte Sporomorphen und "Hystrix"	22
IV	DIE POLLENANALYTISCHE DIFFERENZIERUNG DER BIRKEN	
	A Vorbemerkungen	24
	B Methoden und Problematik der pollenanalytischen Birken-Differenzierung	25
	C Die PGH-Verteilung fossiler Birkenpollen-Kollektive als Kriterium für die pollenanalytische Differenzierung der Birken	
	1 Voraussetzungen	27
	a Zur Frage nach "gleichen relativen Größenveränderungen" und einem "einheitlichen Größenstatus" bei Pollen	27
	b Der Relative Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten	33
	c Streuung bzw. Variationskoeffizient und Formmaße der PGH-Verteilungen der Birken-Arten	37
	d Pollen von Birken-Hybriden	41
	2 Die Auswertung der PGH-Verteilung fossiler Birkenpollen-Kollektive	
	a Die mathematischen bzw. "halbmathematischen" Verfahren	43
	b Die Bewertung des Variationskoeffizienten	43
	c Die Bewertung von mehrgipfeligen PGH-Verteilungen; Sattelpunkte	44
	d Die Auswertung der Schiefe (Asymmetrie) von PGH-Verteilungen	48
	D Die Analyse der Birkenpollen-Kollektive der Profile Kubitzbergmoor und Rabensbergmoor	
	1 Die Messung der Größe von Birkenpollen	54
	2 Zur morphologischen (habituellen) Differenzierung von Birkenpollen	54
	3 Die Ergebnisse der Birkenpollen-Differenzierung	
	a Profil Kubitzbergmoor	57
	b Profil Rabensbergmoor	62
	4 Der Fehler der PEARSON-Schiefe	75

Seite

E Anhang
1 Symbole, Definitionen und Berechnung der Statistiken 78
2 Transformation von PGH-Verteilungen 79

V DIE UNTERSUCHUNGSGEBIETE 81
A Das Rabensbergmoor
1 Topographie und Geologie 82
2 a Sedimentationsraum und Sedimente 83
b Seespiegelschwankungen und Sedimentationsstörungen 88
B Das Kubitzbergmoor
1 Topographie und Geologie 94
2 a Sedimentationsraum und Sedimente 94
b Sedimentationsstörungen und Seespiegelschwankungen 98

VI POLLENANALYTISCHE KONSEQUENZEN SPÄTGLAZIALER SEESPIEGELSCHWANKUNGEN 109

VII DIE ERGEBNISSE DER POLLENANALYSE
A Die Gliederung der Pollendiagramme 111
1 Das Diagramm Rabensbergmoor 112
2 Das Diagramm Kubitzbergmoor 114
B Gliederung und Zonen des Spätglazials in Schleswig-Holstein 115
1 Das vor-allerödzeitliche Spätglazial und das Problem der Bölling-Schwankung 116
a Die Diagramme aus der schleswig-holsteinischen Jungmoräne 117
(I) Die Diagramme aus dem Meiendorf-Ahrensburger "Tunneltal" (SCHÜTRUMPF 1935 - 1955) 117
(II) Die Diagramme Dätgen (ALETSEE 1959), Trent- und Köhlmoor (TIDELSKI 1960) und Kubitzbergmoor (mit einer Bewertung des spätglazialen Artemisia-Verhaltens im nördlichen Mitteleuropa) 124
(III) Das Diagramm Großer Segeberger See (AVERDIECK / ERLENKEUSER / WILLKOMM 1972) 133
(IV) Das Diagramm Eichholz-Ost/Heiligenhafen (SCHMITZ 1954) 134
b Zur pollenanalytischen und vegetationskundlichen Realisierung der Bölling-Schwankung in der schleswig-holsteinischen Jungmoräne 134
c Die Diagramme aus der schleswig-holsteinischen Altmoräne 140
2 Das Alleröd 140
(Bemerkungen zur klimatischen Differenzierung des Alleröd) 146
3 Die Jüngere Tundrenzeit - DR 3 148
4 Die DR 3/Präboreal-Übergangszone 150
C Seespiegelschwankungen 151
D Vegetationskundliche Unterschiede der spätglazialen Alt- und Jungmoränen-Landschaften Schleswig-Holsteins 154
E Die Entwicklung der spätglazialen Seen vom Rabensberg- und Kubitzbergmoor 157

		Seite
VIII	^{14}C-DATIERUNG	160
IX	ZUSAMMENFASSUNG	162
	SUMMARY	164
X	LITERATUR	167
XI	PHOTOGRAPHIEN	175

Abkürzungen

a	Betula alba coll.
Abb.	Abbildung
AL	Alleröd
BÖ	Bölling
BP	Baumpollen
DR 1	Älteste Tundrenzeit (Dryas 1)
DR 1+2	Ältere Tundrenzeit s.l.
DR 2	Mittlere Tundrenzeit (Dryas 2)
DR 3	Jüngere Tundrenzeit (Dryas 3)
f.	folgende
KBM	Kubitzbergmoor
Koll.	Kollektiv
l.c.	loco citato
MPG	Mittlere Pollengröße
n	Betula nana
NBP	Nichtbaumpollen
p	Betula pubescens
p.	Seite (pagina)
PB	Präboreal
PGH	Pollengrößenhäufigkeit
Phot.	Photographie
PK	Pollenkorn
RBM	Rabensbergmoor
s.	siehe
s.l.	sensu lato, im weiteren Sinne
s.o.	siehe oben
Spektr.	Spektrum
s.str.	sensu stricto, im engeren Sinne
s.u.	siehe unten
t	Betula "tortuosa"
Tab.	Tabelle
v	Betula pendula (verrucosa)
vgl.	vergleiche

Symbole der Statistiken: p. 78/79

I EINLEITUNG

Fortschritte in der Diagnostik der Nichtbaumpollen haben während der letzten Jahrzehnte das Wissen über die spätglaziale Flora und Vegetation Europas erheblich erweitert. Eine Reihe sorgfältig analysierter Profile hat zu einer differenzierteren Gliederung der spätglazialen Vegetations- und Klimaentwicklung geführt. So war vor allem mit der Bölling-Schwankung eine weitere spätglaziale Wärmeschwankung bekannt geworden, die sich nach ihrer Entdeckung im mittleren Jütland (IVERSEN 1942) bald als ein offenbar regional gültiges Phänomen erwies.

In Schleswig-Holstein sind spätglaziale Sedimente zwar schon frühzeitig und wiederholt pollenanalytisch untersucht worden, doch blieben selbst bei den meisten jüngeren Untersuchungen längst erkannte pollendiagnostische Möglichkeiten, die wesentliche Informationen hätten bringen können, ungenutzt. Schleswig-holsteinische Bölling-Nachweise waren fast ausnahmslos mehr als problematisch.

Diese Situation war Anlaß zu der vorliegenden Arbeit: Anhand von pollendiagnostisch "modernen" Diagrammen sollten genauere Vorstellungen über die spätglaziale Vegetation und Vegetationsentwicklung in Schleswig-Holstein gewonnen und speziell der Frage nach der Bölling-Schwankung nachgegangen werden.

Weitere Probleme ergaben sich im Verlauf der Arbeit: Zur Klärung der Frage nach der Bölling-Schwankung schien eine Differenzierung der Pollen von Baum- und Zwergbirke unumgänglich; sie wurde trotz zahlreicher mehr oder minder fehlgeschlagener Versuche in der Vergangenheit mit neuen bzw. modifizierten Methoden erneut angestrebt. Die eigenartige Gestalt des Sedimentationsraumes[1] Rabensbergmoor war ohne genauere morphologische Analyse nicht zu deuten. Hinweise auf Lagerungsstörungen bei den pollenanalytisch untersuchten Sedimenten (deren Bestätigung bzw. Widerlegung erhebliche Konsequenzen für die Deutung der Pollendiagramme haben mußte) führten zur eingehenden stratigraphisch-morphologischen Untersuchung der Sedimentationsräume. Dabei ergaben sich Anzeichen für klimatisch deutbare Seespiegel-Schwankungen, die ihrerseits nur durch weitere Untersuchungen abgesichert werden konnten. -

Meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. F. Overbeck danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit, für seine Hilfe und zugleich für sein Verständnis, das er meinen (botanischen) Interessen auch dann entgegenbrachte, wenn sie nicht dieser Arbeit galten.

Mein Dank für Hilfe in mancherlei Weise gilt auch den Herren Prof. Dr. E. W. Raabe, Prof. Dr. Dr. h.c. H. Straka, Prof. Dr. E. Weber und meinen

---

1) die das Sediment enthaltende Hohlform

Freunden und Kollegen Dr. D. Mossakowski, Dr. U. Treter und cand. rer. nat. E. Waldvogel.

Dank gilt schließlich auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die meine Arbeit zeitweise finanziell unterstützte. -

II METHODEN

II A PROFIL- UND PROBENENTNAHME

Vor der Entnahme der Profile zur Pollen- und Sedimentanalyse wurde der Sedimentationsraum (d. h. die das Sediment enthaltende Hohlform) stratigraphisch und morphologisch untersucht. So konnten die Profile dort entnommen werden, wo sich die spätglazialen Sedimente als besonders mächtig und vollständig bzw. gut erreichbar erwiesen.

Im Sedimentationsraum Rabensbergmoor (RBM) fand sich eine vollständige spätglaziale Sedimentabfolge nur im tiefen zentralen Bereich (Abb. 28, p.91). Zwischen 1.5 und 5 m unter Flur gelegen und ohne aufwändige Grundwassersenkung nicht durch Grabung zu erschließen, wurde sie mit der DACHNOWSKY-Sonde erbohrt.

Deren Verwendung bedeutet allerdings in vielen Fällen Verzicht auf geringen und lückenlosen Probenabstand: Da die Kerne durch Stauchung und Abriß unterschiedlich verkürzt sein können, ist die erforderliche eindeutige Konnektierung zumeist nicht möglich.

Wenn das Profil RBM dennoch bedenkenlos in dichter und lückenloser Probenfolge analysiert werden konnte, dann dank der Möglichkeit, die überlappend erbohrten Kerne aufgrund einer charakteristischen Schichtung der Sedimente zu konnektieren. Vor allem ließen die Sedimente des frühen Spätglazials – durch unterschiedlichen Kalkgehalt gelblich gebändert – eine so eindeutige Konnektierung zu (Phot. 3), daß eine kontinuierliche Probenentnahme im 2 (bzw. 1) cm-Abstand möglich war. Wo hingegen die Konnektierung der Kerne allein nach der Entnahmetiefe erfolgen mußte, wurde ihre Richtigkeit in wesentlichen Fällen durch überlappende Zählung überprüft.

Bei charakteristisch geschichteten Sedimenten ist auch eine Beurteilung der Lagerungsverhältnisse mit Hilfe der DACHNOWSKY-Sonde möglich. Lagerungsstörungen, die in der Schichtung zum Ausdruck kommen, können erkannt werden. Voraussetzung sind dicht beieinander liegende Parallelbohrungen mit Kernen aus weitgehend übereinstimmenden Tiefen. Bei ungestörter (und ± horizontaler) Lagerung müssen diese Kerne jeweils etwa dieselbe Schichtenabfolge umfassen.

Im Entnahmebereich des Profiles RBM, wo auf wenigen m^2 etwa 30 parallele Bohrungen ausgeführt wurden, war das der Fall. Anzeichen für eine Lagerungsstörung wurden vor allem in den Sedimenten des frühen Spätglazials nicht beobachtet, wo sie am ehesten denkbar, doch aufgrund der distinkten Schichtung zugleich am leichtesten erkennbar gewesen wären (vgl. aber p.90).

Um Kerne aus weitgehend übereinstimmenden Tiefen zu erhalten, wurde ein verstellbarer Anschlag am Bohrgestänge in Verbindung mit einem im Niveau der lokalen Oberfläche fest montierten Brett als Widerlager verwendet. Unter dieser Voraussetzung sind die Abweichungen der tatsächlichen Entnahmetiefe der Kerne gegenüber ihrem Sollwert allein von den Winkeln abhängig, um die die Richtung der Bohrungen von der Senkrechten abweicht; sie können vernachlässigt werden, solange diese Winkel klein sind. Bei einer Abweichung von der

Senkrechten bis zu 5°, wie sie in der Praxis eher zu unterbieten ist, errechnet sich beispielsweise für eine Entnahmetiefe von 5 m eine Verringerung um maximal 2 cm; Kerne aus dieser Tiefe sind also maximal um 2 cm gegeneinander versetzt. Krümmung des (verwendeten) Bohrgestänges in größerer Tiefe erhöht diesen Betrag nur um mm.

Die Konnektierung von Kernen und die Beurteilung der Sedimentlagerung auf Grund der Sedimentschichtung setzt selbstverständlich voraus, daß die einzelnen Schichten synchrone Lagen, d.h. Horizonte im geologischen Sinne sind. In Zweifelsfällen ist also durch pollenanalytische Paralleluntersuchungen zu überprüfen, ob diese Voraussetzung erfüllt ist.

Im Fall der spätglazialen Sedimente aus dem Rabensbergmoor bestand kaum ein Zweifel daran, daß die einzelnen Schichten synchrone Horizonte seien. Eine Bestätigung ergab sich, als ein Profilabschnitt, bei dem die pollenanalytische Untersuchung stark oszillierende Verläufe der Pollenkurven ergeben hatte (Diagramm Rabensbergmoor, Spektren 12 - 16) nachanalysiert wurde. Die beiden Analysen - an schichtungs-konnektierten, im Abstand von ca. 30 cm erbohrten Kernen durchgeführt - lieferten weitgehend übereinstimmende Ergebnisse (Abb. 27, p. 90).

Am Süd-Rand des Sedimentationsraumes Kubitzbergmoor fand sich eine vollständige spätglaziale Sedimentabfolge in so geringer Tiefe, daß sie aufgegraben werden konnte. In größerer Tiefe waren dieselben (bzw. vikariierende) Sedimente zwar in weitaus größerer Mächtigkeit erbohrt worden, doch lohnte sich der für deren Bergung zusätzliche Aufwand nicht; denn als mächtiger erwiesen sich im wesentlichen die Sedimente des Alleröd und der Jüngeren Tundrenzeit, nicht hingegen die des frühen Spätglazials (vgl. Abb. 31, p.105 f.).

Die Lagerung der Sedimente - an den Grabungswänden gut beurteilbar - erwies sich aufgrund durchlaufender Schichtung als ungestört (Phot. 4). Die sedimentologisch auffallend scharfe Grenze zwischen Alleröd-Feindetritus-Gyttja und den tonigen Schluffen der Jüngeren Tundrenzeit wurde als das Ergebnis von Sedimentationsunterbrechung und Erosion spät-allerödzeitlichen Sediments gedeutet (s. p. 98, Abschnitt 2b).

Die Entnahme des Sedimentprofiles aus der Grabungswand erfolgte mit Stechkästen in praktisch lückenloser Folge. Die Sedimentklötze mit den Maßen 300 x 150 x 100 mm wurden auf Hartpapierunterlagen liegend in Plastiktüten aufbewahrt. So konnten noch nach Jahren Proben zu Nachuntersuchungen aus bestimmten Niveaus exakt entnommen werden. Die Probenentnahme erfolgte im gesamten Profil in lückenlosem 1cm-Abstand.

II B POLLENANALYSE

B 1 Aufbereitung

Der Pollengehalt erwies sich selbst in den ältesten Proben beider Profile als so hoch, daß die Aufbereitung auf die üblichen rein chemischen Anreicherungen beschränkt bleiben konnte. Zusätzlich vorgenommen wurde allerdings eine Behandlung mit HNO_3; sie führt zu einer weiteren, bis zu mehr als zweifachen

Konzentrierung der Pollen und beseitigt vor allem sehr fein verteilte, optisch stark störende Substanzen unbekannter Zusammensetzung, die bei der Aufbereitung vorwiegend mineralischer Sedimente andernfalls erhalten bleiben.

Die HNO_3-Behandlung muß mit Vorsicht erfolgen, da Sporopollenin von oxydierenden Reagenzien angegriffen werden kann (FAEGRI / IVERSEN 1964, p. 71). Bei einer HNO_3-Konzentration von 10% und 5-minütigem Erhitzen bis zum Sieden zeigten sich aber gegenüber Kontrollen weder Veränderungen im Erhaltungszustand der Pollen noch Abweichungen im Spektrum als Folge selektiver Zersetzung.

Da die Größe von Pollen durch chemische Behandlung erheblich beeinflußt werden kann, wurden in Hinsicht auf die größenstatistischen Untersuchungen an Birkenpollen alle Proben eines Profiles unabhängig vom Sedimentcharakter in der selben Weise behandelt. Zwar sind für Pollen, die verschiedenen Sedimenten entstammen, bereits unterschiedliche Größenveränderungen anzunehmen; die Größenveränderungen durch Aufbereitung sollten aber nach Möglichkeit konstant gehalten werden.

Die Aufbereitung umfaßte folgende Schritte:

(1) Profil Rabensbergmoor

	Reagenz	Konz.	Zeitdauer	Bemerkungen
1.	KOH	10%	5 min.	Siedehitze
2.	HF	38%	20 min.	Siedehitze
3.	HCl	10%	5 min.	Siedehitze
4.	H_2O			Waschen
5.	HNO_3	10%	5 min.	bis zum schwachen Sieden
6.	H_2O			Waschen
7.	Eisessig			zum Entwässern
8.	Azetolyse-Gemisch $H_2SO_4/(CH_3CO)_2O$	1 : 9	3.5 min.	im Wasserbad
9.	H_2O			Waschen
10./11.	Propanol-(2)			zur Überführung
12./13.	Benzol			in Siliconöl
14.	Siliconöl			12500 cSt

(2) Profil Kubitzbergmoor wie (1), doch ohne KOH-Behandlung.

B 2 Präparation (Einbettung)

Um Kontrollen zu ermöglichen, wurden Pollenzählungen und -messungen grundsätzlich an Dauerpräparaten durchgeführt. Um Veränderungen der Pollengröße nach der Präparation klein zu halten, wurde als Einbettungsmittel (Medium) Siliconöl verwendet (ANDERSEN 1960). Siliconöl mit einer Viskosität von 12500 cSt erwies sich als geeignet. Bei höherer Viskosität (z. B. 30000 cSt) ist die zur Bestimmung gelegentlich erforderliche Möglichkeit, Pollenkörner durch Druck auf das Deckglas zu bewegen, erheblich eingeschränkt.

Die Herstellung von Dauerpräparaten

(1) Ein Tropfen des pollenführenden Siliconöls wird auf einen Objektträger gebracht und mit einem Deckglas (24 x 32 mm) bedeckt. Der Tropfen ist so zu bemessen, daß er nach Ausbreitung die Ränder des Deckglases nicht erreicht oder noch nicht erreicht hat, wenn

(2) festes Paraffin (Schmelzpunkt ca. 57° C) an den Rand des Deckglases gelegt und durch Erwärmen des Objektträgers zum Schmelzen gebracht wird. Das Paraffin umfließt das Siliconölfeld.

(3) Die Schichtdicke des Siliconölfeldes kann durch flächigen Druck auf das Deckglas unmittelbar vor dem Erstarren des Paraffins reduziert werden.

Bei dieser Präparation ist zu berücksichtigen, daß die Schrumpfung von Pollen in Siliconöl durch höhere Temperaturen forciert wird. Die Schrumpfungsbeträge sind indessen gering. Für eine Temperatur von 100° C wurden an Corylus-Pollen nach 10 min. ca. 1 %, nach 30 min. ca. 2.5 % ermittelt.

Wesentlicher ist die Tatsache, daß Paraffin in heißem Siliconöl löslich ist und beim Erkalten ausfällt. Dadurch werden Zählungen und Messungen im Randbereich des Siliconölfeldes problematisch bis unmöglich. Andererseits kann auf die Berücksichtigung randlich liegender Pollen nicht verzichtet werden, da die Verteilung von Pollen unterschiedlicher Größe und Form im Siliconölfeld nicht statistisch zu sein braucht (ENEROTH 1951, p. 352; eigene Messungen). Da ein günstigeres Einschlußmittel nicht gefunden werden konnte, wurde folgendermaßen verfahren: Der pollenführende Siliconöltropfen wird vor der Umrahmung mit Paraffin mit einem Ring reinen Siliconöls umgeben. Dieser Ring wandert vor dem sich unter dem Deckglas ausbreitenden pollenführenden Tropfen her, sofern er aus geringer viskosem Siliconöl besteht (z. B. 8000 cSt).

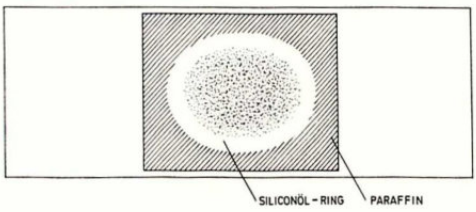


Abb. 1 Dauerpräparat zur Pollenzählung und -messung.

Um im fertigen Präparat die Bildung von Gasblasen zu vermeiden, die bei Bewegungen bemerkenswerte Pollen überdecken oder deren Kreuztisch-Koordinaten verändern können, wurde das pollenführende Siliconöl unmittelbar vor der Präparation im Vakuum entgast.

B 3 Mikroskopie, Photographie und Pollenzählung

Den mikroskopischen und photographischen Arbeiten diente das Photomikroskop der Firma Carl Zeiss mit der folgenden optischen Ausrüstung: Okulare: 8fach; Optovar: 1.25, 1.6, 2fach; Objektive: Neofluar 100/1.30 Oel, 40/0.85 Oel, 16/0.4 usw. Die Zählung erfolgte bei 40facher, eine zusätzliche Durchmusterung auf seltene, aber bemerkenswerte und zugleich große Sporomorphen (z. B. Ephedra, Selaginella) bei 16facher Objektiv-Vergrößerung. (Die Häufigkeit dieser Typen in Bezug auf die Grundsumme wurde ermittelt, indem Pinus mitgezählt wurde.)

Zur Photographie, Messung und Untersuchung von pollenmorphologischen Details wurde das 100fache Objektiv verwendet. (Näheres zum Meßvorgang p. 54, Abschnitt D 1). Als Vergleichs-Mikroskop diente das Zeiss Standard-Mikroskop GFL 655-632.

Zählgerät. Realisiert wurde der unter Pollenanalytikern oftmals erwogene Plan, den Zählvorgang durch ein Zählgerät zu beschleunigen. Anstoß hierzu waren die auf den Fernmeldeämtern billig zu erwerbenden elektrischen Gesprächszähler. Derartige Zähler wurden zu einem Gerät mit Tastaturen für Hand- und Fußbetrieb zusammengefaßt (Phot. 1).

Gegenüber herkömmlichen Strichlisten bieten bereits handbediente Zählgeräte erhebliche Vorteile: Die Zählwerte sind unmittelbar ablesbar. Die Höhe der Grundsumme (die bei der Berechnung der prozentualen Anteile der einzelnen Pollentypen als Bezugssumme dient) läßt sich auf einem Summenzähler ständig verfolgen, die Zählung kann also dann abgebrochen werden, wenn diese Summe einen statistisch und rechnerisch sinnvollen Wert (z. B. 1000) erreicht hat. Andererseits bleibt bei Verwendung handbedienter Zählgeräte der ständige und lästige Wechsel zwischen mikroskopischer Beobachtung und Blick auf die Handtastatur.

Abhilfe schafft hier die Registrierung über eine Fußtastatur. Sie muß sich allerdings auf die häufigsten Pollentypen eines Spektrums beschränken, da nur eine begrenzte Anzahl von Fußtastern ohne Verwechslungsgefahr bedient werden kann. Seltenere Typen müssen nach wie vor über die Handtastatur bzw. eine Strichliste registriert werden. Andererseits lassen sich bereits mit relativ wenigen Fußtastern die weitaus meisten Pollen eines Spektrums erfassen: nur wenige Handregistrierungen unterbrechen also die sonst nun kontinuierliche mikroskopische Beobachtung.

In der Praxis erwies sich eine Fußtastatur mit 12 Tastern als optimal: Die Anzahl der Taster gestattet bei entsprechender "Programmierung" rund 95% der Pollen zu erfassen. Die Anordnung der Taster ermöglicht eine verwechslungsfreie und bequeme Bedienung. Endlagentaster verhindern ungewollte Mehrfachimpulse. Die Konstruktionsmerkmale der Fußtastatur zeigt Abb. 2 (als Beilage).

Phot. 2 zeigt Einzelheiten des Zählgerätes. Zwanzig der Zähler dienen der Registrierung einzelner Typen; drei weitere können wahlweise zur Einzelregistrierung oder zur Summenbildung eingesetzt werden. Ein in den Zählerstrom einschaltbarer Unterbrecher ermöglicht, die Zähler, denen ein Nullsteller fehlt, vor jeder Zählung auf den nächsten vollen Hunderter vorlaufen

zu lassen.

Durch Einsatz des Zählgerätes wird der Zählvorgang (einschließlich Berechnung der Pollenhäufigkeiten) um das 2 - 3fache beschleunigt.

B 4 Pollendiagramme

Die Häufigkeitsangaben für alle Pollen- und Sporentypen beziehen sich auf dieselbe Grundsumme: die Summe aller primären Pollen ausschließlich jener von eindeutigen Wasser- und Sumpfpflanzen. (Im Abschnitt Dryas 3 des Diagrammes Kubitzbergmoor sind jeweils 2 Grundsummen angegeben; die 2. Angabe bezieht sich auf die im vorigen Abschnitt erläuterte zusätzliche Zählung auffälliger Pollentypen).

Die Teilstriche der Häufigkeitsskalen markieren 1, 10 oder 100%-Intervalle, jenachdem, ob die Häufigkeiten durch weiße oder schwarze Flächen oder weiße Linien innerhalb schwarzer Flächen dargestellt sind. Häufigkeiten $\leq$ 0.1 % sind als schwarze Geraden wiedergegeben. Sind diese Geraden gepunktet, so markieren sie Pollenfunde, die erst bei der zusätzlichen Zählung der auffälligen Pollentypen gemacht wurden. Einzelfunde von Pollen- und Sporentypen, die nur in sehr wenigen Spektren beobachtet wurden, sind gesondert aufgeführt.

Die grobe Gliederung der Diagramme erfolgte in der üblichen Weise. Innerhalb der Gruppen: Sträucher / Ericales / Gras- und Krautartige wurde soweit möglich und sinnvoll folgende Anordnung vorgenommen: (1) Taxa mit Höchstwerten während der Kaltzeiten (Dryas 1, 2, 3) / (2) Taxa mit Höchstwerten in Dryas 1 bzw. 2 / (3) Taxa mit Höchstwerten in Dryas 3 / (4) Taxa mit Höchstwerten während der Warmzeiten bzw. zu deren Beginn und Ende / (5) Indifferente Taxa.

Die Häufigkeitsangaben für Betula alba und B. nana-Pollen beziehen sich auf die Ergebnisse der morphologischen Differenzierung. Häufigkeitsschwankungen, die sich nicht über objektive Kriterien bestätigen ließen (Abschnitt IV), stehen zwischen Fragezeichen.

Im Diagramm Rabensbergmoor sind von Spektrum Nr. 39 bis 112 je zwei aufeinanderfolgende Spektren durch Bildung der arithmetischen Mittel der Einzelhäufigkeiten zu einem Spektrum zusammengefaßt. Werden für die Dauer von Alleröd und Dryas 3 800 bzw. 700 Jahre angenommen, umfassen die so erhaltenen Spektren Zeiträume von jeweils etwa 30 Jahren. Ergebnis sind also Häufigkeitskurven mit ausreichender Auflösung und ohne überflüssige Kurzzeitschwankungen ("short-term fluctuations", s. FAEGRI / IVERSEN 1964, p. 128.)

II C SEDIMENTANALYSEN

Sie galten vor allem zwei Sedimentmerkmalen, die Funktion klimatischer Veränderungen sein können und dann zur Beurteilbarkeit pollenanalytischer Befunde beitragen: dem Gehalt an organischer Substanz und Kalk bzw. Carbonaten. Die Gyttjen des Alleröd wurden zusätzlich auf ihren Gehalt an Lauge-

löslichen Huminstoffen untersucht - zur sedimentologischen Charakterisierung und Beurteilung der Trophie ihres Bildungsraumes. Korngrößenanalysen der anorganischen Sedimentkomponenten galten ebenfalls der Charakterisierung der Sedimente und ihrer Bildungsbedingungen.

Ferner wurden die mittleren Alleröd-Sedimente des Profiles Kubitzbergmoor auf vulkanischen Tuff hin untersucht.

Die Bestimmung der Gehalte an organischer Substanz und Carbonaten erfolgte zur Absicherung der Ergebnisse an parallelen, bis zu mehreren dm von einander entfernten Probenserien. Dabei ergab sich stets Identität in der Tendenz der ermittelten Veränderungen und weitgehende Übereinstimmung in der absoluten Größe der Parallelwerte. Mithin lieferten die jeweils nur wenige ml umfassenden Einzelproben auf kleinem Raum Horizont-repräsentative Werte. Wie sehr andererseits die Carbonat-Gehalte gleichaltriger Schichten schon in Abständen von wenigen m wechseln können, wie vorsichtig also nur lokal erfaßte Veränderungen im Carbonat-Gehalt interpretiert werden müssen, ergab die Untersuchung des Sedimentationsraumes Kubitzbergmoor (vgl. p. 102).

Der Gehalt an organischer Substanz wurde durch Bestimmung des Glühverlustes bei 500° C an den zuvor bei 105° C getrockneten Proben ermittelt. Da aber auf diese Weise nur dann verläßliche Werte zu erzielen sind, wenn die Proben keine größeren Anteile an Ton- und anderen Mineralien enthalten, die Kristallwasser auch oberhalb von 105° C abgeben, wurde ein Teil der vorwiegend mineralischen Sedimente zusätzlich nach der LICHTERFELDER Methode untersucht: der organische Kohlenstoff wird in schwefelsaurer Lösung mit Kaliumdichromat oxydiert und über das in stöchiometrischem Verhältnis entstehende Cr^{3+} photometrisch bestimmt. Der Gehalt an organischer Substanz ergibt sich aus dem Gehalt an organischem C durch Multiplikation mit einem konventionellen Faktor (Näheres bei SCHLICHTING / BLUME 1966, p. 121).

Anlaß zur Anwendung der LICHTERFELDER Methode war, daß ein Horizont unterhalb der Alleröd-Mudde des Profiles Kubitzbergmoor, dessen deutlich dunklere Färbung höhere Gehalte an organischer Substanz vermuten ließ, keine höheren Glühverluste ergeben hatte. Indessen bestätigten die Ergebnisse der LICHTERFELDER Methode die der Glühverlust-Bestimmung (vgl. p. 114: Ältere Tundrenzeit).

Der Gehalt an Kalk bzw. Carbonaten wurde durch Umsatz mit HCl und volumetrische Bestimmung des gebildeten CO_2 nach SCHEIBLER ermittelt (Näheres bei SCHLICHTING / BLUME 1966, p. 107).

Der Gehalt an Lauge-löslichen Huminstoffen wurde nach Extraktion mit NaOH und $Na_2C_2O_4$ bei 530 nm photometrisch bestimmt (Näheres bei SCHLICHTING / BLUME 1966, p. 125). Als Vergleichssubstanz diente FLUKA-Huminsäure, die allerdings nicht quantitativ in Lösung ging.

Die Bestimmung der Korngrößen erfolgte nach Zerstörung der organischen Substanz (H_2O_2) mit einem kombinierten Sieb- und Sedimentationsverfahren: Die Fraktionen 0.06 - 2 mm wurden naß gesiebt, die Fraktionen kleiner 0.02 mm mit der Pipettanalyse nach ANDREASEN (modifiziert nach

KÖHN) bestimmt (Näheres bei SCHLICHTING / BLUME 1966, p. 77).

Die Untersuchung auf v u l k a n i s c h e n T u f f erfolgte mikroskopisch nach Zerstörung der organischen Sedimentkomponente mit H_2O_2 sowie an Quetschpräparaten von dünnen Schnitten frischen Sediments.

III IDENTIFIKATIONEN (Betula: siehe Abschnitt IV)

Nach Orientierung anhand der bekannten Bestimmungsschlüssel (BEUG 1961, ERDTMAN et al. 1963, FAEGRI / IVERSEN 1964) bzw. der unten genannten Spezialarbeiten erfolgte die Bestimmung der Pollen und Sporen mit Hilfe rezenten Vergleichsmaterials, das nach KOH-Behandlung und Azetolyse in Glyzerin und/oder Siliconöl eingebettet worden war. Die Unvollständigkeit der Vergleichssammlung, die erst aufgebaut werden mußte, schloß allerdings innerhalb mancher Familien (z. B. Fabaceae, Gentianaceae) prinzipiell mögliche Diagnosen aus.

Von kritischen oder bemerkenswerten Sporomorphen wurden die Kreuztisch-Koordinaten festgehalten und Photographien angefertigt. Von diesen Photographien ist hier nur ein kleiner Teil wiedergegeben.

Die Nomenklatur richtet sich im wesentlichen nach OBERDORFER (1970). Die Abkürzung "cf." (für confer) vor Gattungs- oder Artnamen bedeutet, daß zwar pollenmorphologische Übereinstimmung besteht, doch möglicherweise auch andere Gattungen oder Arten infrage kommen.

III A SPERMATOPHYTA

Apiaceae (Umbelliferae)

Nicht differenziert. Lediglich die auffälligen und nach CERCEAU (1959) leicht und eindeutig zu bestimmenden PK von Hydrocotyle (RBM) und Pleurospermum austriacum (KBM, Spektr. 70; Phot. 7) wurden registriert. Zum spätglazialen Vorkommen von Pleurospermum vgl. vor allem IVERSEN (1954).

Asteraceae (Compositae)

Von Artemisia abgesehen, sind unter den Funden von Pollen tubuliflorer Compositen 2 PK vom Centaurea jacea-Typ sensu WAGENITZ (1955) und mehrere vom Saussurea-Typ sensu STIX (1960) von Interesse. Der Centaurea jacea-Typ umfaßt nach BEUG (1957, p. 202) 13 mitteleuropäische Arten. So kann die gute Übereinstimmung der beiden PK mit rezentem Material der Centaurea jacea selbst nur als Hinweis gewertet werden. Die PK vom Saussurea-Typ stimmen zumindest größtenteils mit Saussurea alpina so weitgehend überein, daß Zugehörigkeit zu dieser Art sehr wahrscheinlich ist. Das spätglaziale Vorkommen von Saussurea alpina stünde in Einklang mit dem standörtlichen Verhalten der Art im heutigen N-Europa, nicht aber mit dem in den Alpen (vgl. z. B. HEGI). PK vom Saussurea-Typ wurden in spätglazialen Sedimenten wiederholt gefunden und zum Teil auch mit S. alpina identifiziert (IVERSEN 1954, KROG 1954).

Campanulaceae

Ein Teil der 3-poraten PK gehört mit großer Wahrscheinlichkeit zu Jasione (vgl. BERGLUND 1966).

Caryophyllaceae

Der größte Teil der in beiden Profilen beobachteten rund 160 Caryophyllaceen-

Pollen gehört zum Cerastium- und Lychnis-Typ sensu FAEGRI / IVERSEN (1964). Pollen vom Dianthus-Typ und von Gypsophila sind nur in der Zone Dryas 1 u. 2 des Profiles KBM häufig (10 bzw. 30 PK). Unter den PK vom Lychnis-Typ herrscht offensichtlich Viscaria: die Übereinstimmung mit rezentem Material ist zumindest teilweise so gut, daß die Bestimmung der Gattung als gesichert gelten kann. Ob aber Viscaria vulgaris oder V. alpina vorliegt, konnte nicht entschieden werden (vgl. BERGLUND 1966). Ein PK vom Lychnis-Typ gehört in Übereinstimmung mit den Angaben bei CHANDA 1962) sehr wahrscheinlich zu Melandrium rubrum (KBM, Spektr. 59). Unter den PK vom Cerastium-Typ gehören 3 zum Cerastium alpinum-Typ sensu BERGLUND (1966) (KBM, DR 3; Phot. 8).

Die Gypsophila-Pollen können nach morphologischen Kriterien sowohl von G. fastigiata wie G. muralis stammen. IVERSEN (1954), KROG (1954) und BERGLUND (1966) geben aus spätglazialen Sedimenten N-Europas G. fastigiata an, doch wohl in erster Linie aufgrund pflanzengeographischer Erwägungen.

Cistaceae

In Übereinstimmung mit den Befunden von IVERSEN (1954), BERGLUND (1966) und anderen gehören die Helianthemum-Pollen fast ausschließlich zum H. oelandicum-Typ sensu FAEGRI / IVERSEN (1964). Vom H. nummularium-Typ wurden lediglich 2 PK gefunden (KBM, DR 3).

Empetraceae

Messungen zur größenstatistischen Unterscheidung der Pollen von Empetrum nigrum und E. hermaphroditum sind von mehreren Autoren vorgenommen worden (Zusammenfassung bei ANDERSEN 1961). Danach liegt der Relative Unterschied der Mittleren Pollengrößen $Q_{herm./nigr.}$ (vgl. p. 33 , Abschnitt 1 b) zwischen 1.2 und 1.4. Eigene orientierende Messungen sprechen für den niedrigeren Wert von $Q = 1.2$. Selbst in diesem Fall sind für Empetrum herm./nigr.-Mischkollektive Pollengrößen-Häufigkeitsverteilungen zu erwarten, die je nach Mischungsverhältnis deutlich bimodal oder doch deutlich unsymmetrisch

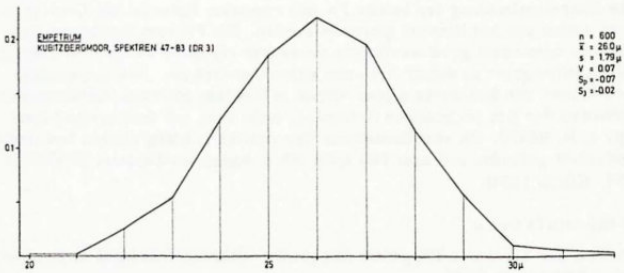


Abb. 3 PGH-Verteilung von Empetrum aus den DR 3-zeitlichen Sedimenten des Kubitzbergmoores.

(schief) sind (vgl. p. 48, Abschnitt 2 d mit Abb. 14 und 15 sowie die Pollengrößen-Häufigkeitsverteilungen bei ANDERSEN l. c. p. 39).

Messungen an Empetrum-Pollen der Zone DR 3 des Profiles KBM (Spektr. 47 - 83) ergeben zusammengefaßt die Größenverteilungskurve in Abb. 3. Der Mittelwert der Verteilung weist mit $\bar{x} = 26\mu$ eindeutig auf E. nigrum. Die Form der Kurve - angenähert symmetrisch - liefert keinen Hinweis auf Beteiligung von E. hermaphroditum. Dennoch wurden einige auffällig große und derbwandige PK als E. cf. hermaphroditum registriert.

Ephedraceae

(Sub-)fossile Ephedra-Pollen aus spät- und postglazialen Sedimenten nördlich der Alpen sind nach WELTEN (1957) 3 Typen zuzuordnen: dem Distachya-, Strobilacea- und Fragilis-Typ. Der Distachya-Typ ist durch ± verzweigte Längsfurchen und geringe Rippenzahl gut charakterisiert. Er umfaßt neben Ephedra distachya s. l. mit großer Wahrscheinlichkeit E. nebrodensis. Dem Strobilacea- und Fragilis-Typ sind gerade Längsfurchen und höhere Rippenzahl gemeinsam. Unterschiede liegen in der Zahl der Rippen (9 - 15 bzw. 14 - 20) und deren Bau. Aufgrund pflanzengeographischer Erwägungen gehört der Strobilacea-Typ sehr wahrscheinlich zu der heute außereuropäischen E. strobilacea, der Fragilis-Typ zu E. fragilis var. campylopoda.

Im Profil Kubitzbergmoor gehören von insgesamt 45 PK 30 zum Distachya-Typ, darunter 2 der von WELTEN beschriebenen Walnuß-artigen Kleinformen und einige mit nur schwach verzweigten Längsfurchen (Phot. 9). 2 PK mit ca. 18 bzw. 20 flachen Rippen wurden als Strobilacea-Typ bestimmt (Spektr. Nr. 70 und 89) und 3 mit ca. 9, 10 bzw. 13 ± scharfen Rippen als Fragilis-Typ (Spektr. Nr. 57, 70 und 73). Darüber hinaus wurden 10 z. T. sehr gut erhaltene PK von anscheinend einheitlichem Bau gefunden, die sich mit einer Zahl von 6 - 8 scharfen Rippen und geraden oder allenfalls ganz schwach welligen Längsfurchen (Phot. 10) keinem der von WELTEN beschriebenen Typen zuordnen lassen (wenngleich große Ähnlichkeit mit der auf Phot. 9 wiedergegebenen Ausbildung des Distachya-Typs besteht). Sie sind im Diagramm zusammen mit dem Fragilis- und Strobilacea-Typ als Ephedra ≠ Distachya-Typ aufgeführt.

Im Profil Rabensbergmoor wurden neben 2 PK vom Distachya-Typ ein PK mit 12 scharfen Rippen als Fragilis-Typ notiert. Ein weiteres gehört zu dem beschriebenen fraglichen Typ.

Ericaceae

Neben Calluna konnte die Gattung Arctostaphylos bestimmt werden. Die 11 PK stammen anscheinend teils von A. alpina, teils von A. uva-ursi.

Plantaginaceae

Die Unterscheidung von Plantago major und P. media, die von vielen Autoren als Plantago major-media-Typ zusammengefaßt werden, ist bei Phasenkontrast möglich (s. ANDERSEN 1961, FAEGRI / IVERSEN 1964). Allerdings konnte bei den hier vorliegenden fossilen PK nicht in allen Fällen eine sichere Bestimmung erzielt werden.

Bei Pollen von Plantago maritima s.l. wurde die Unterscheidung der Typen

mit anulatem bzw. nicht-anulatem Porenrand, die weiteren Aufschluß hätte bringen können (vgl. ANDERSEN l. c.), versäumt. Nachträgliche Stichproben ergaben, daß der zur nord-europäischen Plantago maritima gehörige nicht-anulate Typ weit vorherrscht. Von Plantago lanceolata wurde nur ein PK gefunden (RBM, Spektr. 37), das - da deutlich deformiert - kaum als Verunreinigung aufzufassen ist. Litorella-Pollen, der zur Zeit reichlichen Vorkommens der Litorellion-Arten Isoëtes setaceum und Myriophyllum alterniflorum (RBM) zu erwarten war, wurde nicht gefunden.

Polemoniaceae

Von den 6 Polemonium-Pollen gehören 5 sehr wahrscheinlich zu Polemonium coeruleum. Ein PK (KBM, Spektr. 74) entspricht dagegen in Porengröße und Skulptur (vgl. BEUG 1957) Vergleichsmaterial des Polemonium boreale von Spitzbergen.

Polygonaceae

Die Gattung Polygonum ist nur durch den Polygonum bistorta-Typ und Polygonum amphibium sicher vertreten. - Eine morphologische Unterscheidung der im Polygonum bistorta-Typ vereinigten P. bistorta und P. viviparum ist auch nach eigenen Versuchen nicht möglich (vgl. HEDBERG 1946). Standörtlich kommen beide Arten in Frage.

Der Rumex-Pollen beider Profile gehört offenbar fast ausschließlich zum R. acetosa-Typ, d. h. zu den Sektionen Acetosa und Acetosella. (Zur Unterscheidbarkeit dieses Typs vgl. ANDERSEN 1961, FAEGRI / IVERSEN 1964 aber auch BEUG 1957). - Ein PK wurde aufgrund von Übereinstimmung in Größe und Skulptur als cf. Oxyria notiert (KBM, Spektr. 11).

Rosaceae

Die pollenanalytische Trennung von Filipendula ulmaria und F. vulgaris ist bislang nicht möglich. Aufgrund ökologischer Erwägungen dürften aber zumindest die hohen Werte des Alleröds und frühen Präboreals auf Filipendula ulmaria zurückzuführen sein (vgl. IVERSEN 1954, BERGLUND 1966). GODWIN (1956) gibt Funde von Früchten dieser Art aus spätglazialen Sedimenten Englands an.

Sichere Funde von Dryas-Pollen wurden nur im Profil KBM gemacht. Von ca. 40 Rosaceen-Pollen, die zunächst als Dryas-verdächtig notiert worden waren, zeigten bei späterem kritischen Vergleich nur 11 PK völlige Übereinstimmung in Gestalt, Bau der Apertur und Skulptur (Phasenkontrast).

Sanguisorba officinalis zerfällt in zwei chromosomale Rassen, eine tetraploide mit 2n = 28 und eine oktoploide mit 2n = 56. Nach ERDTMAN / NORDBORG (1961) und NORDBORG (1963) sind diese Rassen auch pollenmorphologisch zu unterscheiden. BERGLUND (1966) gibt eine Zusammenstellung der differenzierenden Merkmale. Anhand dieser Zusammenstellung und von Vergleichsmaterial ließen sich die hier vorliegenden fossilen PK von Sanguisorba officinalis fast ausnahmslos der einen oder anderen Rasse zuordnen: Von den 17 PK des Profiles KBM gehören nur 3 zur tetraploiden Rasse; im Profil RBM (8 PK) sind die beiden Rassen anscheinend etwa gleich stark vertreten. (Als Mittlere Pollengröße (Länge der Polachse) wurde für fossile PK der beiden

Rassen 22 - 23µ bzw. 26 - 27µ ermittelt. Unter Berücksichtigung von Aufbereitung (HF!) und Einbettungsmedium (Siliconöl) entsprechen diese Werte den von BERGLUND (l.c.) angegebenen. Demgegenüber wurden bei anfänglichen Zählungen in Glyzerin 2 PK gefunden, die zwar morphologisch anscheinend zur tetraploiden Rasse gehören (Phot. 11), die aber mit 32 bzw. 34µ so lang bzw. länger sind als die unter denselben Bedingungen beobachteten PK der oktoploiden Rasse.)

Salicaceae

Die Pollen von Populus wurden erst im Verlauf der Zählungen mit Sicherheit erkannt. Anfänglich waren sie offenbar für Cyperaceen-Pollen gehalten worden. Daher beziehen sich die Populus-Häufigkeitsangaben des Diagrammes KBM nicht auf die volle Grundsumme, sondern auf die einer nachträglichen Zählung (= 1000). Die Populus-Pollen zeigten sich in unterschiedlichem Erhaltungszustand. Vielfach sind sie als Folge von Anlösung (?) kollabiert. Die LO-Analyse gestattete aber auch bei diesen PK zumeist eine sichere Bestimmung. Unsicher ist dagegen die Bestimmung von ganz vereinzelten Funden in der Zone DR 3 beider Profile.

Saxifragaceae

Neben den charakteristischen Pollen von Parnassia wurden zahlreiche PK vom Saxifraga oppositifolia-Typ sensu FAEGRI / IVERSEN (1964) gefunden. Von diesen stimmt der größte Teil mit rezentem Material von Saxifraga aizoides so weitgehend überein (Phot. 12), daß Zugehörigkeit zu dieser Art angenommen werden kann. Zwei PK vom S. oppositifolia-Typ wurden aufgrund morphologischer Übereinstimmung als S. cf. oppositifolia notiert (KBM); einige zumeist weniger gut erhaltene blieben unbestimmt (vgl. auch BERGLUND 1966).

Valerianaceae

In Übereinstimmung mit dem Bestimmungs-Schlüssel bei WAGENITZ (1956) ließen sich die Valeriana-Pollen Valeriana dioica (KBM, Spektr. 77) und V. officinalis s. l. zuzuordnen. Aufgrund ihrer erheblichen Größe (um 50µ in Siliconöl) sind die PK vom V. officinalis-Typ zumindest größtenteils den oktoploiden Sambucifoliae WALTHER mit V. sambucifolia und V. procurrens zuzurechnen (vgl. WAGENITZ l. c.).

III B PTERIDOPHYTA

Isoëtaceae

Infolge erheblicher Größenunterschiede ist die Unterscheidung der Mikrosporen von Isoëtes lacustre und setaceum (= echinosporum) unproblematisch (vgl. ANDERSEN 1961). Mit Mittleren Größen zwischen 20 und 22µ und maximalen bis zu 25µ gehören die Isoëtes-Mikrosporen des Profiles RBM wohl ausnahmslos zu I. setaceum.

Polypodiaceae

Die vor allem vom mittleren Alleröd an häufigen Polypodiaceen-Sporen erwiesen sich fast ausnahmslos als Perispor-los und damit als großenteils un-

bestimmbar. Unterschieden wurden lediglich Polypodium und Pteridium.

III C UMGELAGERTE SPOROMORPHEN UND "HYSTRIX"

Zusammen mit Hystrichosphaerideen-Zysten ("Hystrix", vgl. IVERSEN 1936) spielen umgelagerte ("sekundäre") Sporomorphen in den vorwiegend mineralischen Sedimenten des Profiles Kubitzbergmoor eine erhebliche Rolle. Von primären Sporomorphen wurden sie unterschieden durch ihre Zugehörigkeit zu sicher nicht spät- bzw. postglazialen Taxa und/oder ihren Erhaltungszustand: alle Sporomorphen mit deutlichen Anzeichen von Korrosion wurden als umgelagert aufgefaßt.

Die Verwendbarkeit des Kriteriums "Erhaltungszustand" basiert auf der Tatsache, daß in den genannten Sedimenten die weitaus meisten der potentiell primären Sporomorphen, von Folgen rein mechanischer Einwirkungen abgesehen, ausgezeichnet erhalten sind. Die Erhaltungsbedingungen in den (durchweg limnischen) Sedimenten waren also stets so günstig, daß deutliche Anzeichen von Korrosion nicht postsedimentär entstanden sein können und daher als Beweis für Umlagerung gewertet werden müssen. (Als umgelagert gewertet wurde also auch ein Großteil jener Sporomorphen, die zunächst in terrestre oder semiterrestre Bodenbildung geraten waren und erst infolge von Bodenerosion ± korrodiert und ± verzögert in limnisches Sediment gelangt sind.)

Umlagerung bringt natürlich nicht zwangsläufig Korrosion mit sich. Das beweisen z. B. gut erhaltene Pollenkörner von Parthenocissus, Nyssa oder gar präquartären Taxa in spätglazialen Sedimenten. Der Ausschluß von Korrodierten bedeutet also nur Ausschluß eines Mindestanteils von Umgelagerten. Andererseits liefert das Diagramm KBM Hinweise darauf, daß mit den korrodierten Sporomorphen die Umgelagerten zumindest weitgehend ausgeschlossen sind: (1) Obwohl die Anteile an Umgelagerten und "Hystrix" während der Zone DR 1+2 gegenüber der Zone DR 3 ungleich höher sind, scheint keiner der Pollentypen in der Zone DR 1+2 stärker vertreten zu sein, als aus vegetationsgeschichtlichen und ökologischen Gründen ohne weiteres verständlich ist. (Als Ausnahme könnten Picea, Abies und Alnus aufgefaßt werden, wenn nicht die sicher offenere und damit weniger pollenproduktive Vegetation von DR 1+2 höhere Anteile an Ferntransportierten erklären würde. (2) Die Häufigkeitsveränderungen der meisten Pollen-Typen erweisen sich auch während der Tundrenzeiten gegenüber den Häufigkeitsveränderungen der Umgelagerten einschließlich "Hystrix" als deutlich unabhängig.

Dagegen lassen die Häufigkeitsveränderungen von Sphagnum-Sporen und Umgelagerten einschließlich "Hystrix" während DR 1+2 angenähert Parallelität erkennen. Die Sphagnum-Anteile dieser Zeit scheinen danach wenigstens teilweise auf Umlagerungen zu beruhen (vgl. p. 144: Zu Sphagnum). Auf die auffällige Paralellität der Häufigkeitsveränderungen von Polypodiaceen und Umgelagerten + "Hystrix" während DR 3 sei hingewiesen. -

Beim Profil Rabensbergmoor spielen Umgelagerte und "Hystrix" selbst in den vorwiegend mineralischen, vor-allerödzeitlichen Sedimenten eine ganz unbedeutende Rolle (maximal < 1 %). Korrodierte Pollen, die vom mittleren Alleröd an häufig sind (vgl. Abb. 21, letzte Spalte), gehören fast durchweg zu potentiell primären Typen. Da sie nicht unbedingt umgelagert sein müssen,

sondern ihre Korrosion auch auf ungünstigeren Erhaltungsbedingungen beruhen kann, wurden sie mitgezählt.

IV DIE POLLENANALYTISCHE DIFFERENZIERUNG DER BIRKEN

IV A VORBEMERKUNGEN

Fossiler Birkenpollen kann in Europa von folgenden Arten stammen: den "Baumbirken" Betula pendula ROTH und B. pubescens EHRH. und den strauchigen Betula nana L. und B. humilis SCHRANK. Die beiden Baumbirken sind nahverwandte, formenreiche Sammelarten, von denen zahlreiche mehr oder minder selbständige Sippen abgetrennt worden sind (so von B. pubescens die pflanzengeographisch bemerkenswerte und damit pollenanalytisch interessante "B. tortuosa")[1]. Betula nana und B. humilis sind dagegen wenig gegliederte und - zumindest in Europa - scharf begrenzte Arten. Da fast alle Birken-Arten bastardieren und z. T. durch introgressive Hybridisierung Hybriden-Schwärme bilden können (vgl. z. B. ELKINGTON 1968), muß damit gerechnet werden, daß ein bedeutender Anteil des Birkenpollen-Niederschlags von verschiedenen Hybriden stammen kann. - Die Baumbirken werden im folgenden als Betula alba coll. bezeichnet.

An eine pollenanalytische Differenzierung aller europäischen Birken ist zur Zeit nicht zu denken. Daher ist wesentlich, daß einige Arten aufgrund pflanzengeographischer Erwägungen zumindest als r e g i o n a l bedeutsame Pollenlieferanten zeitlich oder räumlich ausgeschlossen werden können: So ist anzunehmen, daß Betula humilis als Art nordöstlicher Verbreitung und spezieller Ökologie nie wesentliche Komponente der Vegetation (W-) Europas gewesen ist und stets nur geringen Anteil am regionalen Pollenniederschlag gehabt hat. Ebenso kann B. nana bei der Deutung postglazialer Pollenspektren aus Mitteleuropa und dem südlichen Nordeuropa in der Regel unberücksichtigt bleiben: die Art war hier seit dem Präboreal auf Sonderstandorte eingeschränkt (vgl. OVERBECK / SCHNEIDER 1938).

Damit gehört Birkenpollen im regionalen Pollenniederschlag des postglazialen Mittel- und südlichen Nordeuropa zu Betula alba coll. Da die Anteile zumeist gering und die wesentlichen Komponenten der B. alba coll. hier weder standörtlich noch geographisch klar geschieden sind, lohnt sich ihre pollenanalytische Differenzierung kaum. Daß sie überhaupt möglich ist, muß nach Abschnitt C 2, p. 43, bezweifelt werden.

Von großem Interesse ist dagegen die pollenanalytische Birken-Differenzierung für die Deutung der Spektren aus dem spätglazialen Mittel- und südlichen Nordeuropa und dem postglazialen mittleren und nördlichen Nordeuropa: Die

---

1) Inwiefern die in Mitteleuropa anscheinend weit verbreitete Betula excelsa DRYAND in AITON = B. concinna GUNNARSSON der B. pubescens zuzuordnen ist oder als eine dritte selbständige Baumbirkensippe aufgefaßt werden muß (vgl. HERMANN 1956, MANG 1968), ist offen. - Zumindest die "B. tortuosa" Skandinaviens und der Britischen Inseln dürfte durchweg als B. pubescens ssp. odorata (BECHST.) E. F. WARBURG zu bezeichnen sein (MANG mündl. ; CLAPHAM / TUTIN / WARBURG 1962).

oft hohen Birkenpollen-Anteile können von B. alba coll. und B. nana stammen. Als pollenliefernde Vegetation kommen baumfreie aber B. nana-reiche Tundren, von B. alba coll. beherrschte Wälder und Übergänge zwischen Wald und Tundra ("Park-Tundren" sensu IVERSEN) infrage.

Ohne eine Differenzierung der Birkenpollen ist vielfach kaum zu entscheiden, welche dieser Vegetationsformen bestimmten Spektren bzw. Diagrammabschnitten zugrunde liegt. Zwar kann u. a. aufgrund der Häufigkeit (bzw. der Häufigkeitsveränderung) von Arten lichtoffener Standorte zwischen ± geschlossenem Wald und ± offener Tundra unterschieden werden, eine genauere Bestimmung der Bewaldungsdichte, wie sie vor allem zur Beurteilung klimatischer Verhältnisse und deren Veränderung wünschenswert wäre, ist aber nicht möglich. Eine solche Bestimmung müßte über das Baumpollen/Nichtbaumpollen-Verhältnis erfolgen; dieses Verhältnis kann aber nicht angegeben werden, solange Betula unbekannte Anteile von B. nana umfaßt. So sind die zahlreichen Versuche zu verstehen, bei Pollenspektren, deren Zusammensetzung B. nana-Beteiligung vermuten läßt, zumindest diese Art abzutrennen (JENTYS-SZAFER 1928, BERTSCH 1931, SCHUBERT 1933, ENEROTH 1935/1951, FAEGRI 1935, 1936, 1940, AARIO 1941, WELTEN 1944, KROG 1954, HALLIK / GRUBE 1954, ANDERSEN 1961, SALMI 1962, BERGLUND 1966, BERGLUND / DIGERFELDT 1970 u. a.).

Auch für die vorliegende Untersuchung, bei der unter anderem nach sicheren Belegen für die Bölling-Wärmeschwankung in Schleswig-Holstein gesucht und eine Gliederung der Jüngeren Tundrenzeit angestrebt wurde, mußte eine pollenanalytische Differenzierung der Birken von großem Wert sein: Vor-alleröd-zeitliche Birken-Maxima können bislang nur dann der Bölling-Zeit sicher zugerechnet werden, wenn sie auf B. alba coll. zurückzuführen sind. Klimatische Veränderungen während der Jüngeren Tundrenzeit dürften pollenanalytisch vor allem in Veränderungen des B. alba/nana-Verhältnisses zum Ausdruck kommen.

IV B METHODEN UND PROBLEMATIK DER POLLENANALYTISCHEN BIRKEN-DIFFERENZIERUNG

Die Unterscheidung fossiler Birkenpollen ist vor allem auf zweierlei Weise versucht worden: (1) mit statistischen Verfahren und (2) aufgrund der allgemeinen Morphologie (dem "Habitus") des einzelnen Pollenkornes.

(1) Die statistischen Verfahren beziehen sich fast ausnahmslos auf das Merkmal Pollengröße (= Pollendurchmesser) bzw. auf dessen Häufigkeitsverteilung, die in Pollengrößenhäufigkeits-Verteilungskurven (kurz: PGH-Verteilungskurven) dargestellt wird (als Beispiel Abb. 4, p. 29). Ausgangspunkt der Verfahren ist die Tatsache, daß die PGH-Verteilungen der einzelnen Birken-Arten - an rezentem Material ermittelt - bestimmte Form und von einander unterschiedene Mittelwerte haben. Die an fossilen Birkenpollen-Kollektiven ermittelten PGH-Verteilungen werden als Mischverteilungen aus den PGH-Verteilungen der beteiligten Arten aufgefaßt. Problem ist also die Auflösung dieser Mischverteilungen in ihre Komponenten mit dem Ziel einer wenigstens groben Abschätzung der Anteile.

Bei der Lösung dieses Problems kann nicht von der direkten Vergleichbarkeit der Größen fossiler und rezenter Pollen, wie sie von JENTYS-SZAFER 1928, SCHUBERT 1933, ENEROTH 1935/51 u. a. noch angenommen wurde, ausgegangen werden. Vielmehr ist die heute hinlänglich bekannte Tatsache zu berücksichtigen, daß die Größe der Pollen durch Fossilisierung, Aufbereitung und Einbettung verändert werden kann (vgl. z. B. FIRBAS / FIRBAS 1935, AARIO 1941, WENNER 1953), und daß bislang kaum eine Chance bestehen dürfte, den Betrag der Größenveränderung anhand ihrer Ursachen näher zu bestimmen. Vor allem 3 Verfahren tragen diesem Umstand Rechnung:

Bei dem einen Verfahren wird versucht, die Größenveränderung, die sich an den Birkenpollen einer Probe vollzogen haben, durch Bestimmung der Größenveränderung, die Pollen bekannter Größe ("Eichpollen") in derselben Probe erfahren haben, abzuschätzen. Man geht dabei von der Annahme aus, daß verschieden-artige Pollen unter chemisch und physikalisch identischen Bedingungen gleiche oder zumindest gleichsinnige Größenveränderungen erfahren, daß also alle Pollen einer Probe einen ± "einheitlichen Größenstatus" aufweisen (vgl. CHRISTENSEN 1946 und p. 27, Abschnitt 1 a). Aus Mangel an wirklich geeigneten Eichpollen sind dem Verfahren allerdings Grenzen gesetzt (vgl. WENNER 1953, PRAGLOWSKY 1966).

Ein zweites Verfahren verwendet Merkmale der PGH-Verteilung, die von Veränderungen der Pollengröße nicht oder nur wenig beeinflußt werden. Bildlich gesprochen sind dies Formmerkmale der PGH-Verteilungskurve, wie deren Variationskoeffizient, Schiefe und Gipfelzahl. Dem Merkmal Gipfelzahl ist dabei besonders große Aufmerksamkeit zugewandt worden, denn bi- oder gar trimodale Verteilungen sind nicht nur ein besonders sinnfälliger Hinweis auf das Vorliegen einer Mischverteilung, sie lassen über die Höhe ihrer Gipfel auch eine leichte Abschätzung der Anteile ihrer Komponenten zu (vgl. WELTEN 1944, ANDERSEN 1961). Auch dieses Verfahren setzt einen einheitlichen Größenstatus voraus, der aber nur für Pollen der beteiligten Birken-Arten zu gelten braucht.

Ein drittes Verfahren verwendet neben den PGH-Verteilungen die Häufigkeitsverteilungen des Quotienten aus Pollendurchmesser und Porentiefe als Kriterium. Dieses Verfahren, das nach BIRKS (1968) eine klare Trennung von B. nana, pubescens und "tortuosa" ermöglicht, hat sich aber bei praktischer Anwendung durch BERGLUND (BERGLUND / DIGERFELDT 1970) nicht bewährt.

(2) Die Unterscheidung der Birkenpollen aufgrund der allgemeinen Morphologie geht von gewissen morphologischen Unterschieden zwischen den Pollen von B. nana und B. alba coll. aus (Näheres bei TERASMÄE 1951 und ERDTMAN / BERGLUND / PRAGLOWSKI 1961). Diese Unterschiede sind zwar im einzelnen kaum definierbar, sie gestatten aber die "habituelle" Unterscheidung eines B. nana- und B. alba-Typs. Die Sicherheit, mit der fossile Pollen einem dieser Typen zugeordnet werden können, wird unterschiedlich beurteilt (und sie ist es bei verschiedenen fossilen Kollektiven möglicherweise auch tatsächlich - vgl. p. 54, Abschnitt D 2!). Während sich einige Autoren auf die morphologisch vollzogene Differenzierung beschränken (so HALLIK 1954, BARTLEY 1962 und 1966 (zit. nach BIRKS 1968), BERGLUND 1966), strebt BERGLUND (BERGLUND / DIGERFELDT 1970)

eine statistische Absicherung an. -

Auch in der vorliegenden Arbeit wird ein kombiniertes Verfahren angewandt, und zwar dienen zur Überprüfung der morphologisch vollzogenen Differenzierung Formmerkmale bzw. Formmaße der PGH-Verteilung, die vom Größenstatus der Kollektive unabhängig sind. Angaben über die theoretischen und praktischen Möglichkeiten einer solchen Überprüfung werden vorangestellt.

IV C DIE PGH-VERTEILUNG FOSSILER BIRKENPOLLEN-KOLLEKTIVE ALS KRITERIUM FÜR DIE POLLENANALYTISCHE DIFFERENZIERUNG DER BIRKEN

C 1 Voraussetzungen

Der Schluß von der PGH-Verteilung eines fossilen Birkenpollen-Kollektivs auf die beteiligten Birken bedeutet, wie gesagt, Analyse einer Mischverteilung aus zwei oder mehreren Komponenten. Die Möglichkeit zu einer solchen Analyse hängt im wesentlichen davon ab, ob alle Pollen des untersuchten Kollektivs einen "einheitlichen Größenstatus" aufweisen, ob die PGH-Verteilungskurven der zu trennenden Arten bei bestimmter Form ausreichend weit auseinander liegen und ob wesentliche Anteile größenintermediärer Pollen von Hybriden ausgeschlossen werden können. Die folgenden Angaben sollen beurteilen helfen, inwieweit diese Voraussetzungen erfüllt sind.

1 a Zur Frage nach "gleichen relativen Größenveränderungen" und einem "einheitlichen Größenstatus" bei Pollen

Die beiden Begriffe dienen hier der Beschreibung desselben Phänomens: Von einem einheitlichen Größenstatus [1] der Pollen eines Kollektivs (z. B. der Birkenpollen in ein und derselben Probe) wird dann gesprochen, wenn alle Pollen dieses Kollektivs als Folge gleichartiger Reaktion auf die chemischen und physikalischen Bedingungen im Sediment, bei Aufbereitung und Einbettung statistisch gleiche relative Größenveränderungen erfahren haben.

Für alle statistischen Verfahren, die auf der PGH-Verteilung basieren, ist die Frage, inwieweit für die betrachteten Pollen ein einheitlicher Größenstatus angenommen werden kann, von grundlegender Bedeutung. Denn von der Beantwortung dieser Frage hängt ab, inwieweit Formmerkmale und -maße der PGH-Verteilungen trotz Veränderung der absoluten Pollengrößen als konstant betrachtet werden können.

Kann für die Pollen eines (Misch-)Kollektivs gleiche relative Größenveränderung um den Faktor k vorausgesetzt werden, so gilt für die Statistiken der PGH-Verteilung im einzelnen:

---

1) "general dimensional status" bei CHRISTENSEN 1946

(1) Der Mittelwert, d. h. die Mittlere Pollengröße nach Größenveränderung $\bar{x}_k$ ist gleich dem k-fachen des ursprünglichen Wertes $\bar{x}$:

$$\bar{x}_k = k \cdot \bar{x} \qquad [1]$$

Hieraus: Der Quotient Q aus den Mittleren Pollengrößen $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ zweier Arten ist konstant:

$$Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1 = \text{const.} \qquad [2]$$

(2) Die Streuung s_k nach Größenveränderung ist gleich dem k-fachen der ursprünglichen Streuung s:

$$s_k = k \cdot s \qquad [3]$$

Aus [1] und [3]: Der Variationskoeffizient $V = s/\bar{x}$ ist konstant:

$$V = \text{const.} \qquad [4]$$

(3) Schiefe und Exzeß sind konstant:

$$S = \text{const.} \qquad [5]$$

$$E = \text{const.} \qquad [6]$$

Ferner gilt bei gleicher relativer Größenveränderung: Der durch die Größe der Überlappungsfläche F ausgedrückte Überlappungsgrad der PGH-Verteilungen zweier Kollektive (z. B. zweier Birken-Arten) ist konstant:

$$F = \text{const.} \qquad [7]$$

Auf die Ableitung der Gleichungen sei hier verzichtet.

Bei der größenstatistischen Analyse fossiler Birkenpollen-Kollektive ist ein ± einheitlicher Größenstatus von den meisten Autoren als sehr wahrscheinlich zugrunde gelegt worden (vgl. z. B. FIRBAS 1949, p. 114). Andererseits gibt es Hinweise, die eine andere Auffassung rechtfertigen könnten und daher kritische Beachtung verdienen. Gedacht ist in erster Linie an die Ergebnisse von Messungen an unterschiedlich aufbereiteten und eingebetteten Pollen der rezenten Birken-Arten. BERGLUND (BERGLUND / DIGERFELDT 1970) hat die Ergebnisse verschiedener solcher Messungen zusammengestellt, verglichen und auf die erheblichen Unterschiede hingewiesen, die vor allem in einem sehr unterschiedlichen Überlappungsgrad der einzelnen PGH-Verteilungskurven zum Ausdruck kommen. Abb. 4 zeigt die beiden extremen Fälle: Nach den Messungen von BERGLUND (Einbettung in Siliconöl) überlappen die Kurven stark, nach den Messungen von SALMI (Einbettung in Glyzerin-Gelatine) sind sie dagegen fast völlig getrennt.

BERGLUND führt den unterschiedlichen Überlappungsgrad der Verteilungen auf jeweils verschieden starke Quellung bzw. Schrumpfung der verschiedenartigen Pollen zurück. Diese Deutung widerspräche aber der Vorstellung von einem einheitlichen Größenstatus, mit dem zwar unterschiedliche Abstände der einzelnen Verteilungen (d. h. ihrer Mittelwerte) vereinbar sind, nicht aber deren verschieden starke Überlappung (Gleichung [1] und [7]).

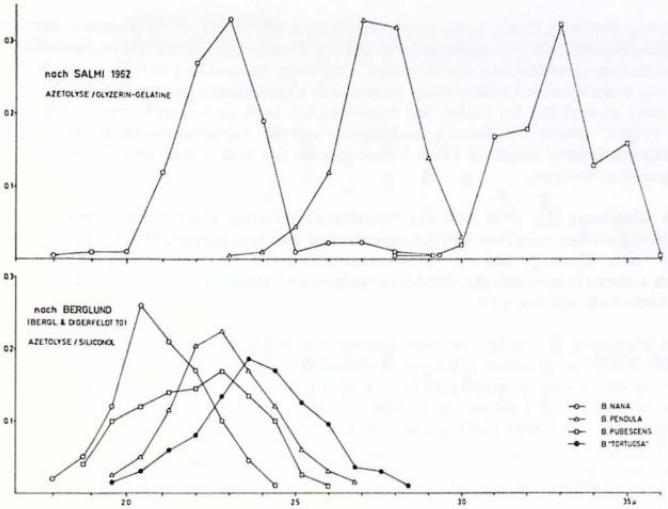


Abb. 4 Extreme Unterschiede im Überlappungsgrad von PGH-Verteilungen verschiedener Birken-Arten. Nach Messungen an Pollen von jeweils einem Individuum (SALMI) bzw. jeweils 3 Individuen (BERGLUND).

Die Frage, inwieweit die in Abb. 4 wiedergegebenen Befunde tatsächlich gegen einen einheitlichen Größenstatus sprechen können oder anders gedeutet werden müssen, ist zugleich eine Frage nach der Aussagekraft, die einzelnen oder wenigen Bestimmungen von Mittlerer Pollengröße und PGH-Verteilung (an einzelnen Individuen einer Art!) beigemessen werden kann. Diese Frage wird in den beiden folgenden Abschnitten näher erörtert. Hier gibt BERGLUND's Hinweis aber Anlaß, die Ergebnisse von Messungen und theoretischen Erwägungen zusammenzustellen, die einen einheitlichen Größenstatus nicht nur für Birkenpollen eher wahrscheinlich machen:

(1) Zur Beurteilung der Frage, ob die Veränderung der Mittleren Pollengröße fossiler Birkenpollen-Kollektive in aufeinanderfolgenden Proben eines Profiles auf wechselnde Anteile verschiedener Birken-Arten oder aber sedimentbedingte Größenveränderungen zurückzuführen ist, wurden von FIRBAS / FIRBAS (1935), WENNER (1953) und PRAGLOWSKI (1966) parallele Messungen an verschiedenen anderen Pollen durchgeführt. Diese Messungen, denen die Vorstellung eines zumindest tendenziell einheitlichen Größenstatus zugrunde liegt, haben für die untersuchten Pollen (neben Betula: Corylus, Pinus, Cyperaceae, Alnus) tatsächlich weitgehend übereinstimmende Größenveränderungen ergeben.

(2) Proben einer Mischung von Corylus- und B. nana-Pollen aus stäubenden Kätzchen je eines Strauches wurden unterschiedlich aufbereitet und in Siliconöl eingebettet. Ergebnis waren Corylus- und B. nana-Pollenkollektive, die

zwar von Probe zu Probe einen unterschiedlichen Größenstatus aufwiesen, für die jedoch innerhalb der einzelnen Proben die Voraussetzung für einen jeweils einheitlichen Größenstatus durch sicher identische Behandlung erfüllt war. Daß ein einheitlicher Größenstatus tatsächlich angenommen werden kann – und zwar sowohl für die Pollen der einzelnen als auch die beider Arten – läßt sich zeigen, indem die Mittlere Pollengröße und der Variationskoeffizient für alle Kollektive ermittelt (Tab. 1) und anhand von Abb. 5 folgendermaßen ausgewertet werden:

Nach Gleichung [4], p. 28, ist der Variationskoeffizient einer PGH-Verteilung bei gleicher relativer Größenveränderung der zugehörigen Pollen konstant. Abb. 5 b zeigt, daß die Variationskoeffizienten für Corylus und B. nana durch aufbereitungsbedingte Größenveränderungen tatsächlich nicht erkennbar beeinflußt worden sind.

Nach Gleichung [2], p. 28, ist der Quotient aus den Mittleren Pollengrößen zweier Arten bei gleicher relativer Größenveränderung konstant. Nach Abb. 5 c zeigt $Q_{C/n}$ zwar geringfügige (z.T.auch auf dem 99%-Niveau signifikante) Unterschiede, eine Tendenz, d. h. eine Zu- oder Abnahme der Werte mit abnehmender Mittlerer Pollengröße, ist aber nicht zu erkennen.

Nr. der Probe			519	520	521	522	523	527	530	531	532	533	534	535	536	537	
Aufbereitung	HCl				5	15						5	5				Minuten
	KOH						5	15						5	5		
	HF								10	30	10	10	10	10	10	10	
	HCl								5	5	5	5	5	5	5	5	
	HNO_3											5		5	5	15	
	Azetolyse		3.5	5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
Einbettung			Siliconöl														
CORYLUS AVELL.	Messung 1	n	1000	500	1000	1000	1500	1000	1000	1000	500	500	1500	1500	1000	1000	
		$\bar{x}$	27.9	27.8	27.1	26.0	25.7	24.8	26.7	26.5	26.7	26.1	24.8	24.7	26.8	25.7	µ
		V	.060	.067	.059	.055	.061	.059	.058	.060	.061	.059	.062	.059	.060	.060	
	Mess.2	n	500	500	500	500	500	500	500	1000	500	500	500	500	500	–	
		$\bar{x}$	26.6	26.6	25.8	25.2	25.3	24.2	26.1	26.0	26.0	25.5	24.6	24.6	26.2	–	µ
BETULA NANA	Messung 1	n	500	500	300	300	500	500	250	250	250	500	500	500	250	250	
		$\bar{x}$	22.2	22.5	22.2	21.4	21.2	20.8	22.4	22.1	21.8	21.6	20.2	20.0	21.9	21.0	µ
		V	.067	.067	.069	.065	.068	.071	.066	.063	.067	.064	.067	.069	.069	.063	
	Mess.2	n	500	250	–	–	250	300	250	250	250	500	250	250	250	–	
		$\bar{x}$	21.5	21.4	–	–	20.7	20.0	21.5	21.2	20.7	20.6	19.9	19.9	21.3	–	µ
Messung 1		Q =	1.26	1.24	1.22	1.22	1.22	1.19	1.19	1.20	1.22	1.21	1.23	1.24	1.23	1.23	
Messung 2		$\bar{x}_C/\bar{x}_n$	1.23	1.24	–	–	1.22	1.21	1.21	1.22	1.26	1.24	1.23	1.23	1.23	–	

Tab. 1 Daten zu Abb. 5

(3) Untersucht wurde der Einfluß unterschiedlicher Aufbereitung auf die PGH-Verteilung fossiler Birkenpollen-Kollektive. Abb. 6 zeigt als Beispiel die Ergebnisse für das Kollektiv 15 des Profiles KBM. Nach dem Befund der morphologischen Birkenpollen-Differenzierung und aufgrund der hohen positiven Schiefe seiner PGH-Verteilung (vgl. p. 48 , Abschnitt 2 d) ist dieses Kollektiv als Mischkollektiv aufzufassen, an dem neben dominierender B.nana B. alba (bzw. pubescens s. l.) wesentlich beteiligt ist.

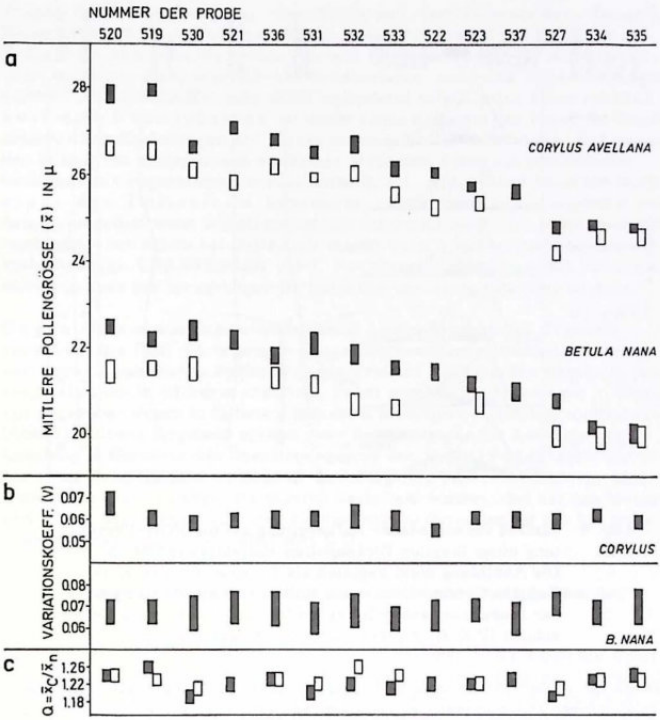


Abb. 5 Einfluß verschiedener Aufbereitung (Tab. 1) auf die PGH-Verteilung von Corylus und Betula nana:
a) Mittlere Pollengrößen ($\bar{x}$),
b) Variationskoeffizienten (V),
c) Quotient aus Mittlerer Pollengröße von Corylus und B. nana $Q = \bar{x}_C/\bar{x}_n$.

Schwarze Rechtecke: Messung 1 (maximal 5 Tage nach Aufbereitung), Weiße Rechtecke: Messung 2 (23 Monate nach Aufbereitung an neuen Präparaten). Die Länge der Rechtecke gibt den Vertrauensbereich für eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 99 % an. Die Anordnung der Proben erfolgte nach abnehmender Mittlerer Pollengröße.

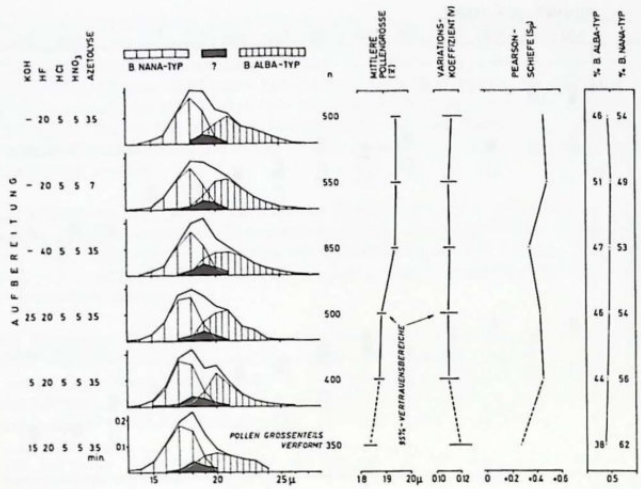


Abb. 6 Einfluß verschiedener Aufbereitung auf die PGH-Verteilung eines fossilen Birkenpollen-Kollektivs (KBM 15). Die Abbildung dient zugleich als Beispiel für den Einfluß des Größenstatus eines Kollektives auf das Ergebnis der morphologischen Birkenpollen-Differenzierung (Abschnitt IV D 2). Konzentration der Reagenzien: p. 11.

Werden für Pollen von B. nana und B. alba unterschiedliche relative Größenveränderungen angenommen, so ist entgegen Gleichung [4] und [5], p. 28, zu erwarten, daß sich Variationskoeffizient (V) und Schiefe (Sp) der Mischverteilung mit deren Größenstatus ändern. Nach Abb. 6 ist dagegen V praktisch konstant und Sp zeigt nur bei der letzten Probe eine Abweichung, die bei Berücksichtigung der erheblichen Streuung des Schätzwertes PEARSON-Schiefe (vgl. p. 75, Abschnitt D 4) als sehr wahrscheinlich real gewertet werden darf. Da aber die PK dieser letzten Probe großenteils verformt sind (15 Minuten KOH!), kann hier ein einheitlicher Größenstatus gar nicht erwartet werden (s. (4)!).

(4) Ein einheitlicher Größenstatus für Birkenpollen läßt sich schließlich auch theoretisch sehr wahrscheinlich machen: Größenveränderungen von Pollen sind in erster Linie Folge von Quellung oder Schrumpfung der Pollenwand. Kann chemische und physikalische Einheitlichkeit der Wandsubstanz angenommen werden, so sind unter chemisch und physikalisch identischen Bedingungen gleiche relative Quellungs- oder Schrumpfungsbeträge zu erwarten. Sie resultieren –Konstanz der Pollenform vorausgesetzt – in proportionalen Verände-

rungen von Pollen-Volumen, -Oberfläche und -Durchmesser bzw.-Länge[1]. Einheitlichkeit in Aufbau bzw. Reaktion der Pollenwand und Konstanz der Pollenform sind also die beiden einzigen Voraussetzungen für die theoretische Ableitung eines einheitlichen Größenstatus, und beide Voraussetzungen dürften bei Birkenpollen zumindest weitgehend erfüllt sein: Einheitlichkeit der Wandsubstanz ist schon allein aufgrund der engen verwandtschaftlichen Beziehungen der Birken anzunehmen. Die Tatsache, daß selbst bei Pollen von systematisch entfernter stehenden Arten ein einheitlicher Größenstatus angenommen werden kann (s. o.), stützt diese Annahme. Konstanz der Pollenform kann sicher nicht allgemein vorausgesetzt werden; denn selbst wenn von offensichtlich deformierten Pollen abgesehen wird, verbleibt – vor allem bei Pollen mit langen Colpi – eine erhebliche Formvariabilität (vgl. CHRISTENSEN 1946). Von dieser eher natürlichen Variabilität scheinen aber die kleinporigen Birkenpollen nur wenig betroffen zu sein.

Gegen einen einheitlichen Größenstatus könnte das folgende Ergebnis sprechen: Die PGH-Verteilungen einiger Birkenpollen-Mischkollektive aus den Dryas 3 - zeitlichen Sedimenten des Profiles KBM wurden sowohl in Siliconöl als auch in Glyzerin ermittelt. Dabei ergaben die Messungen in Glyzerin gegenüber denen in Siliconöl fast stets niedrigere Variationskoeffizienten (Abb. 7). Dieses Ergebnis spricht zwar deutlich gegen die Annahme, daß Quellung in Glyzerin den Überlappungsgrad der Einzel-Verteilungen verringere, es steht aber auch nicht mit Gleichung [4], p. 28, in Einklang. Möglicherweise ist das Ergebnis dadurch beeinflußt worden, daß bei den Messungen in den Glyzerin-Präparaten die statistische Orientierung der PK eingeschränkt war (vgl. p. 54, Abschnitt D 1).

1 b Der Relative Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten

Die Auflösbarkeit einer Mischverteilung ist in erster Linie durch die Unterschiede zwischen den Mittelwerten ihrer Komponenten bestimmt. Daher soll hier versucht werden, für den Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen (MPG) der Birken-Arten trotz ebenfalls hier zu erörternder Schwierigkeiten wenigstens Näherungswerte anzugeben. Dabei wird als Maß für den Unterschied zwischen den MPG $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ zweier Arten der Quotient $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ mit $\bar{x}_2 > \bar{x}_1$ verwendet ("Relativer Unterschied zwischen den MPG zweier Arten"); denn Q ist im Gegensatz zu der entsprechenden Differenz $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$ bei einheitlichem Größenstatus der zur Bestimmung herangezogenen Kollektive von deren absoluten Größenstatus unabhängig (Gleichung [2], p. 28). Über Q können also die Unterschiede, die von verschiedenen Autoren zwischen den MPG der Birken-Arten ermittelt wurden, auch dann direkt verglichen werden,

---

1) Bedeuten V_0, O_0, D_0 Ausgangsvolumen, -oberfläche und -durchmesser bzw. -länge eines Pollen und V_k, O_k, D_k die entsprechenden Werte nach einer Quellung bzw. Schrumpfung der Wandsubstanz um Faktor k^3, so gilt: $V_k = k^3 V_0$, $O_k = k^2 O_0$, $D_k = k D_0$. Die Form der PK spielt dabei keine Rolle, solange sie sich nicht verändert (vgl. aber CHRISTENSEN 1946, p. 13). Von der Anisotropie der Wandsubstanz ist abgesehen.

wenn – wie zumeist der Fall – unterschiedlich aufbereitet und eingebettet worden ist.

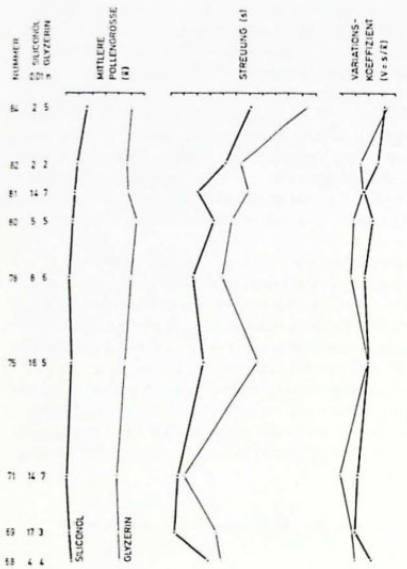


Abb. 7 Mittlere Pollengröße Streuung und Variationskoeffizient für einige Birkenpollen-Mischkollektive (KBM, DR 3) nach Messungen in Glyzerin und Siliconöl.

Die Anordnung der Birken-Arten nach steigender MPG ergibt die Reihenfolge: B. nana, pendula, pubescens, "tortuosa". Die Gültigkeit dieser Reihenfolge ist seit den Messungen von JENTYS-SZAFER (1928) und ENEROTH (l.c.) wiederholt bestätigt worden und unbestritten. Die Einzelwerte für die MPG der einzelnen Arten (d.h. die MPG für einzelne Individuen einer Art) streuen allerdings stark. Extremwerte der "individuellen MPG" müssen offenbar nicht einmal der genannten Reihenfolge entsprechen. So ermittelte BERGLUND (BERGLUND / DIGERFELDT 1970) für B. pubescens z.T. niedrigere Werte als für B. pendula und höhere als für B. "tortuosa" (vgl. auch Abb. 9, Probe 451). Daß derartige Fälle allerdings sehr selten sind, macht ENEROTH's umfangreiches Material, das keinen solchen Fall umfaßt, wahrscheinlich[1].

Ob die beobachteten erheblichen individuellen Unterschiede des Merkmals MPG allein auf dessen artspezifische Variabilität zurückzuführen sind, oder auch andere Ursachen haben können, ist bislang nicht sicher zu entscheiden. Neben taxonomischen Schwierigkeiten könnte aber die Tatsache eine erhebliche

1) ENEROTH (l.c.) ermittelte die PGH-Verteilung von 40 B. nana-, 11 B. pendula-, 10 B. pubescens- und 6 B. "tortuosa"-Individuen.

Rolle spielen, daß die meisten Messungen an Herbarmaterial vorgenommen sind und damit unterschiedliche Entwicklungszustände der Pollen betreffen dürften. (Daß stäubende Pollen aus verschiedenen Teilen ein und desselben Baumes und aus verschiedenen Abschnitten eines Kätzchens keine signifikanten Unterschiede aufweisen, ist von CLAUSEN (1960) gezeigt worden.)

Die starke Streuung der individuellen MPG – wie immer auch bedingt – macht Aussagen über den Relativen Unterschied zwischen den MPG der Birken-Arten problematisch, obwohl inzwischen MPG-Bestimmungen von vielen Autoren vorgenommen worden sind; denn die meisten dieser Bestimmungen beruhen auf Messungen an sehr wenigen Proben (Individuen) und können deshalb kaum Grundlage glaubwürdiger Q-Werte sein. Daß dennoch aufgrund aller verfügbaren MPG-Bestimmungen vernünftig erscheinende Näherungswerte für Q angegeben werden können, läßt Abb. 8 (mit Tab. 2) erkennen: Zwar ergeben sich erwartungsgemäß aufgrund von einzelnen oder wenigen MPG-Bestimmungen (weiße Säulen) z. T. ganz abwegig erscheinende Ergebnisse. Liegen aber mehrere oder zahlreiche Bestimmungen zugrunde (schwarze Säulen), so ist gute Vergleichbarkeit gegeben. Ausnahme bilden hier lediglich die an Silicon-ölpräparaten gewonnenen Meßergebnisse von BERGLUND (Nr. 12). Sie werden aber nicht als Folge von unterschiedlicher Pollen-Schrumpfung in Siliconöl, sondern als Folge der starken Streuung der individuellen PGH aufzufassen sein, zumal BERGLUND's Meßergebnisse an Glyzerin-Präparaten (Nr. 11) noch stärkere Abweichungen erbracht haben. (Andererseits könnte zu denken geben, daß die Siliconöl-Werte auf MPG-Bestimmungen an je 3 Proben (Individuen) basieren.)

Nr.	Autor	Aufbereitung	Einbettung	Relativer Unterschied der MPG Anzahl der MPG-Bestimmungen						Bemerkungen
				$Q_{t/p}$	$Q_{t/v}$	$Q_{t/n}$	$Q_{p/v}$	$Q_{p/n}$	$Q_{v/n}$	
1	JENTYS-SZAFER (28)	frisch					1.13 2/2	1.27 2/2	1.12 2/2	zitiert nach BERGLUND & DIGERFELDT (70)
2		KOH					1.11 1/1	1.29 1/5	1.17 1/5	
3		H_2SO_4					1.12 4/3	1.31 4/3	1.16 3/3	
4	ENEROTH (35/51)	KOH	KOH +Glyzerin	1.05 6/10	1.18 6/11	1.35 6/40				alle Werte
5							1.13 5/7	1.28 5/11	1.14 7/11	nördl. Herkünfte
6							1.13 5/4	1.28 5/17	1.13 4/17	südl. Herkünfte
7	KUJALA (46)	Alkohol					1.15 2/1	1.26 2/1	1.09 1/1	zit. n. SALMI (62) n = 25 – 60
8	SALMI (62)	Azetolyse	Glyzerin-gelatine				1.20 1/1	1.44 1/1	1.20 1/1	
9	KOPEROWA & SRODON (65)	Azetolyse			1.08 1/1	1.32 1/1			1.22 1/1	zitiert nach BERGLUND & DIGERF.(70)
10	BIRKS (68)	Azetolyse	Glyzerin-gelatine	1.10 3/2	1.14 3/2	1.35 3/3	1.03 2/2	1.23 2/3	1.19 2/3	n.brieflich korrigierten $\bar{x}_v$-Worten
11	BERGLUND & DIGERFELDT (70)	Azetolyse	Glycerin-gelatine	0.99 1/1	1.07 1/1	1.10 1/1	1.09 1/1	1.11 1/1	1.02 1/1	
12			Siliconöl	1.09 3/3	1.05 3/3	1.15 3/3	0.96 3/3	1.05 3/3	1.09 3/3	

Tab. 2 Daten zu Abb. 8

Als Näherungswerte für den Relativen Unterschied zwischen den MPG der Birken-Arten können nach Abb. 8 angenommen werden:

$Q_{t/p} \cong 1.05$ $Q_{t/v} \cong 1.18$ $Q_{t/n} \cong 1.35$ $Q_{p/v} \cong 1.12$ $Q_{p/n} \cong 1.28$ $Q_{v/n} \cong 1.14$.

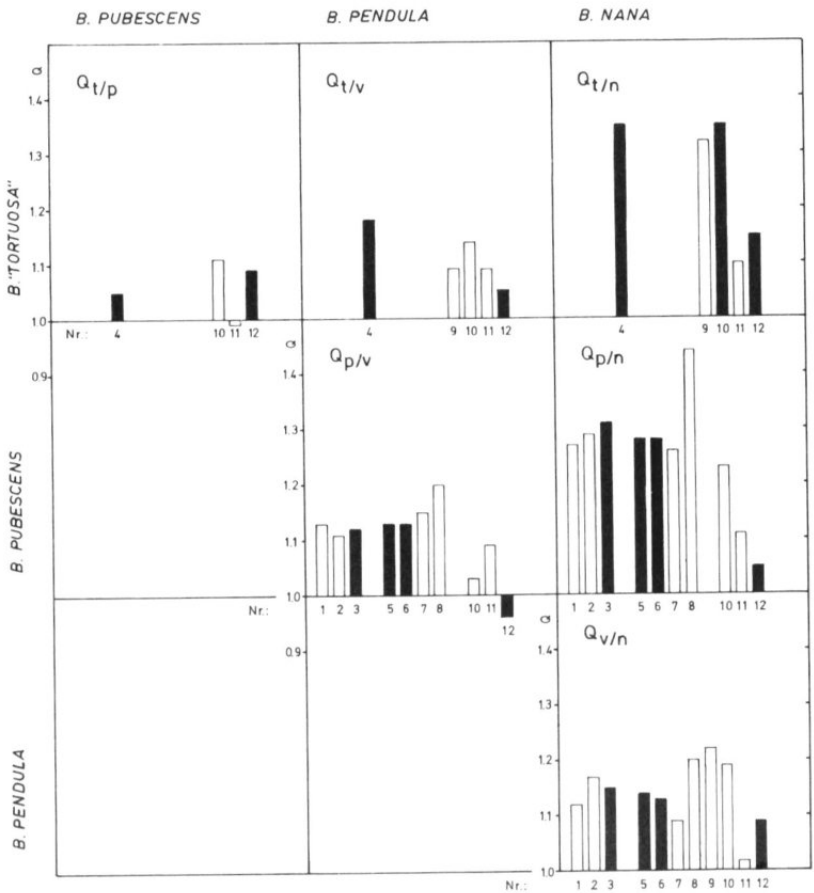


Abb. 8 Relativer Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten: $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ nach Messungen verschiedener Autoren (s. Tab. 2). Schwarze Säulen: Dem Wert für Q liegen Bestimmungen der Mittleren Pollengröße an je 3 oder mehreren Proben (Individuen) zugrunde.

Widersprüche: Die Untersuchung von Birkenpollen-Kollektiven aus Oberflächenproben Jotunheimens, Norwegen, ergab z. T. deutlich bimodale PGH-Verteilungen, die auf Beteiligung von B. nana und B. pubescens (die letzte vor allem durch B. "tortuosa" vertreten) zurückzuführen sind (Abb. 11).

Nach $Q_{p/n} \cong 1.28$ und $Q_{t/n} \cong 1.35$ wäre als relativer Abstand der Gipfel dieser Verteilungen ein Wert zwischen den beiden genannten zu erwarten. Es ergab sich aber der geringere von $Q_{max.\,2/max.\,1} \cong 1.21$.[1] - Hinweise auf einen niedrigeren Wert für $Q_{p/n}$ liefern auch die bimodalen Verteilungen der Profile KBM und RBM (vgl. p. 59).

1 c Streuung bzw. Variationskoeffizient[2] und Formmaße der PGH-Verteilungen der Birken-Arten.

[Die Kenntnis der Streuung der PGH-Verteilungen ist insofern von Interesse, als die Auflösbarkeit einer Mischverteilung nicht nur von den Unterschieden zwischen den Mittelwerten ihrer Komponenten, sondern auch von deren Streu- und abhängig ist. - Die Frage nach den Formmaßen der PGH-Verteilungen gilt einmal der Beurteilung ihrer Symmetrie und darüber hinaus ihrer Normalität. Symmetrie ist Voraussetzung, wenn aus der Schiefe der PGH-Verteilungen fossiler Birkenpollen-Kollektive Schlüsse gezogen werden sollen. Normalität wäre u. a. Grundlage der in Abschnitt 2 a, p. 43 , genannten Trennungsverfahren.]

Es muß hier zwischen arteigener und individueller PGH-Verteilung unterschieden werden. Die arteigene PGH-Verteilung ist als das Ergebnis von Überlagerung zahlreicher individueller PGH-Verteilungen aufzufassen. In der Natur ergibt sich diese Überlagerung bei der Vermischung der Pollen zahlreicher Individuen einer Art.

Streuung und Formmaße der arteigenen PGH-Verteilungen können vor allem auf zweierlei Weise bestimmt werden: (1) durch Bestimmung zahlreicher individueller PGH-Verteilungen und deren rechnerische Zusammenfassung und (2) durch direkte Bestimmung des Resultates natürlicher Vermischung. Ferner kann unter Voraussetzung von Symmetrie der PGH-Verteilungen die Streuung der dominierenden Komponente einer Mischverteilung abgeschätzt werden (3).

Zu (1): Wie Abb. 9 deutlich macht, können die individuellen PGH-Verteilungen einer Art nicht nur im Mittelwert, sondern auch in Streuung[2] und Form erhebliche Unterschiede zeigen. Aussagen über Streuung, Symmetrie und Normalität arteigener PGH-Verteilungen, die sich auf die Zusammenfassung von nur wenigen individuellen PGH-Verteilungen gründen, können also ganz unzutreffend sein. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die beobachtete starke Variabilität der individuellen PGH-Verteilungen in Mittelwert, Streuung und

---

1) Die Differenz ist nicht allein durch die Erscheinung zu erklären, daß der Abstand der Maximum-Abszissen einer bimodalen Verteilung stets geringer ist als der Abstand zwischen den Mittelwerten ihrer Komponenten (vgl. OLDENBERG 1922).

2) Da die Streuung s der PGH-Verteilung eines Pollen-Kollektivs durch dessen Größenstatus mitbestimmt wird, ist sie nur zum Vergleich von Kollektiven geeignet, die denselben Größenstatus aufweisen. Anderenfalls muß der Variationskoeffizient $V = s/\bar{x}$ an ihre Stelle treten.

Form durch den unterschiedlichen Entwicklungszustand der Pollen von Probe zu Probe und innerhalb der Proben (Herbarmaterial!) mitbedingt sein könnte. Das bedeutet, daß selbst bei Resultaten, die auf der Zusammenfassung beliebig vieler individueller PGH-Verteilungen beruhen, Fehler zu befürchten sind. Vor allem könnten für die arteigene Streuung überhöhte Werte erwartet werden; denn die arteigene Streuung resultiert aus der Streuung der individuellen PGH-Verteilung und der Streuung der Mittelwerte dieser Verteilungen, und für beide Größen könnten sich bei Messungen an Herbarmaterial zu hohe Werte ergeben. (Die aus den Angaben ENEROTH's für s bzw. V ermittelten Werte (Tab. 3) sind entsprechend zu bewerten.)

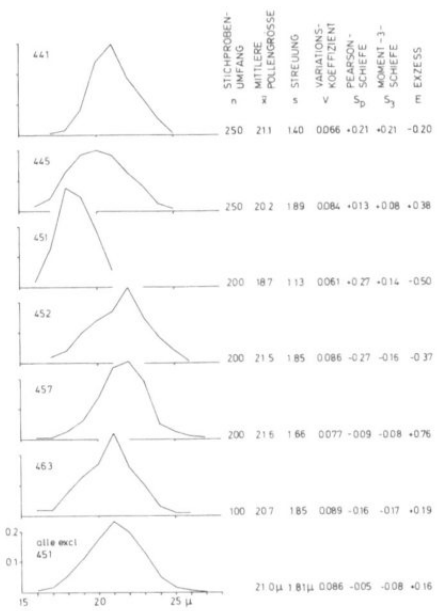
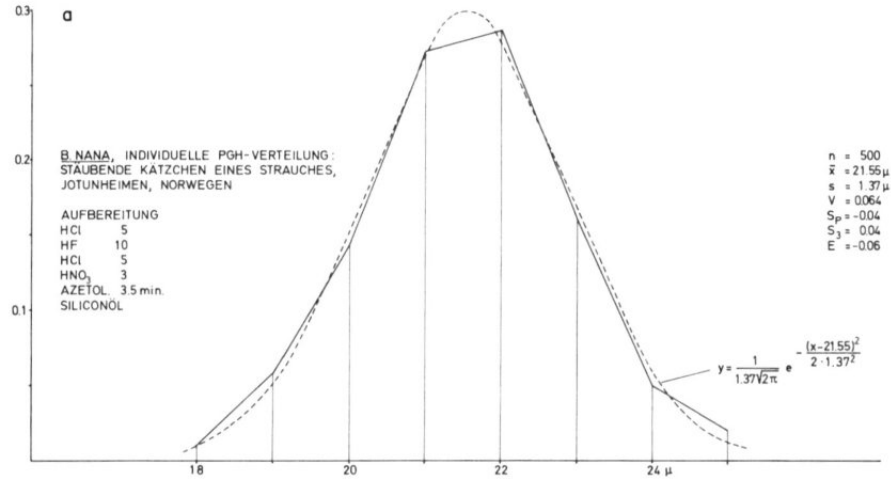
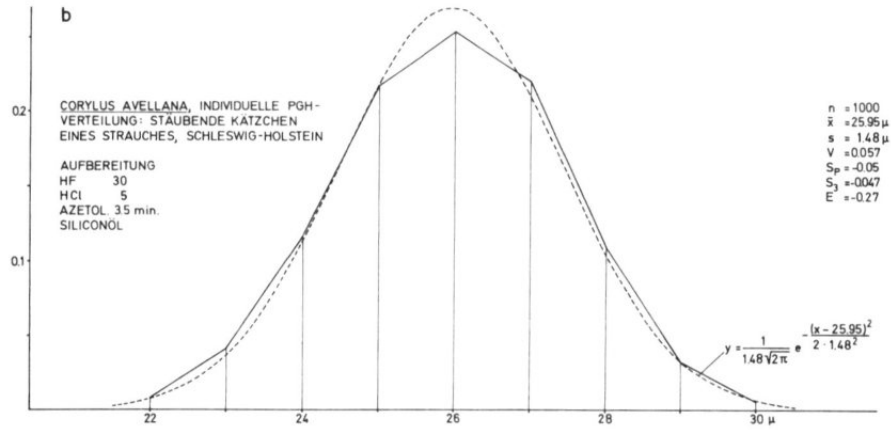


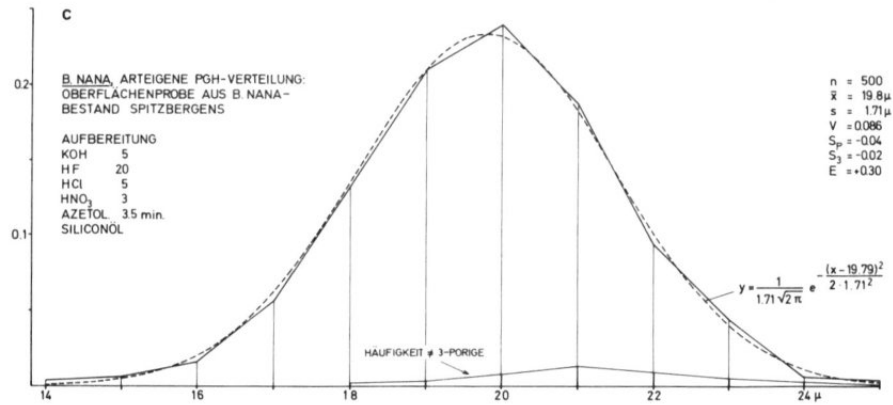
Abb. 9 Betula nana (Jotunheimen, Norwegen), individuelle PGH-Verteilungen und deren Statistiken. (Aufbereitung: KOH 5, Azetolyse 3 min; Einbettung in Siliconöl).

Für die Beurteilung der Frage, ob trotz der erheblichen Variabilität der individuellen PGH-Verteilungen Normalität für die arteigenen angenommen werden kann, liefert bereits die Zusammenfassung der individuellen Verteilungen von Abb. 9 einen Hinweis: die bei Ausschluß von Probe 451 resultierende Verteilung ist angenähert normal. Dasselbe gilt – soweit bei einer Klassenbreite von 2.73 µ beurteilbar – für die Verteilungen, die ENEROTH durch Zusammenfassung zahlreicher individueller PGH-Verteilungen erhalten hat. (l. c. p. 364). Ferner ist in diesem Zusammenhang bemerkenswert, daß Messungen an sicher voll entwickelten Pollen aus stäubenden Kätzchen PGH-Verteilungen von überraschend weitgehender Normalität ergeben haben (Abb. 10 a und b): Wenn dies die Regel ist und angenommen wird, daß die Mittleren Pollengrößen der Individuen einer Art ebenfalls normalverteilt sind, ist auch für die arteigenen PGH-Verteilungen Normalität anzunehmen.

Abb. 10 Zur Beurteilung der Normalität von PGH-Verteilungen. Polygonzug: Meßwerte; gestrichelte Kurve: aus Mittelwert und Streuung der Meßwerte berechnete Normalverteilung. (Der augenscheinlich guten Anpassung der Normalkurve an die Meßwerte entspricht das Ergebnis des χ^2-Anpassungstestes, nach dem die Annahme von Normalität auf dem 10%-Signifikanz-Niveau nicht verworfen werden kann.)


a
B. NANA, INDIVIDUELLE PGH-VERTEILUNG:
STAUBENDE KÄTZCHEN EINES STRAUCHES,
JOTUNHEIMEN, NORWEGEN
AUFBEREITUNG
HCl 5
HF 10
HCl 5
HNO3 3
AZETOL 3.5 min.
SILICONÖL
n = 500
x̄ = 21.55 µ
s = 1.37 µ
V = 0.064
Sp = -0.04
S3 = 0.04
E = -0.06
y = 1/(1.37√2π) e^-(x-21.55)²/2·1.37²
0.3
0.2
0.1
18
20
22
24 µ


b
CORYLUS AVELLANA, INDIVIDUELLE PGH-
VERTEILUNG: STÄUBENDE KÄTZCHEN
EINES STRAUCHES, SCHLESWIG-HOLSTEIN
AUFBEREITUNG
HF 30
HCl 5
AZETOL 3.5 min.
SILICONÖL
n = 1000
x̄ = 25.95 µ
s = 1.48 µ
V = 0.057
Sp = -0.05
S3 = -0.047
E = -0.27
y = 1/(1.48√2π) e^-(x-25.95)²/2·1.48²
0.2
0.1
22
24
26
28
30 µ


c
B. NANA, ARTEIGENE PGH-VERTEILUNG:
OBERFLÄCHENPROBE AUS B. NANA-
BESTAND SPITZBERGENS
AUFBEREITUNG
KOH 5
HF 20
HCl 5
HNO3 3
AZETOL 3.5 min.
SILICONÖL
n = 500
x̄ = 19.8 µ
s = 1.71 µ
V = 0.086
Sp = -0.04
S3 = -0.02
E = +0.30
y = 1/(1.71√2π) e^-(x-19.79)²/2·1.71²
HÄUFIGKEIT ≠ 3-PORIGE
0.2
0.1
14
16
18
20
22
24 µ

Zu (2): Die Möglichkeit einer direkten Bestimmung von arteigenen PGH-Verteilungen durch Messungen an Pollenkollektiven, die durch natürliche Vermischung von Pollen zahlreicher artgleicher Individuen entstanden sind, ist dadurch eingeschränkt, daß die meisten natürlichen Birkenpollen-Kollektive auch dann mehrere Arten umfassen, wenn sie aus einartigen Beständen stammen. Z. B. finden sich in Oberflächenproben aus B. nana-Beständen Skandinaviens selbst weit oberhalb der Baumgrenze noch einzelne (morphologisch eindeutig erkennbare) Pollen von B. alba coll.; die PGH-Verteilung ist dementsprechend modifiziert (Abb. 11, Nr. 1 - 3).

Praktisch reine Kollektive können in Oberflächenproben aus B. nana-Beständen Spitzbergens erwartet werden. Die PGH-Verteilung eines solchen Kollektivs (Abb. 10 c) läßt bei einem Variationskoeffizienten von 0.086 weitgehende Normalität erkennen. Bemerkenswert ist vor allem die geringe Schiefe[1]. – (Natürlich kann die Untersuchung der PGH-Verteilung eines einzigen reinen Kollektivs nur Hinweise liefern. Im vorliegenden Fall ist zusätzlich zu berücksichtigen, daß die genetisch isolierte B. nana-Population Spitzbergens als Folge denkbarer Reaktionen auf extreme ökologische Bedingungen (Selektion, Klonbildung) für Aussagen über Populationen unter "normalen" Bedingungen wenig Wert haben könnte. Auffällig ist die Häufigkeit von Pollen mit Poren-Anzahlen $\neq 3$. Hier wurden 4.5 % festgestellt; ENEROTH (l. c.) fand bei einem B. nana-Individuum von Spitzbergen sogar 7.5 %. Die Zahlen weisen auf Störungen bei der Pollenentwicklung hin, auf die möglicherweise auch der hohe Variationskoeffizient von 0.086 zurückzuführen ist (s. u.).)

Zu (3): In Abb. 11 sind unter der Nr. 1 - 3 PGH-Verteilungen von Birkenpollen-Kollektiven wiedergegeben, die an Oberflächenproben aus B. nana-Beständen Skandinaviens ermittelt wurden. Herkunft der Kollektive und Ergebnis der pollenmorphologischen Differenzierung (p. 54, Abschnitt D 2) lassen keinen Zweifel daran, daß durch B. alba-Pollen modifizierte B. nana-Verteilungen vorliegen.

Aus derartigen Verteilungen kann die Streuung der dominierenden Komponente abgeschätzt werden, ohne daß die subjektiven Ergebnisse der pollenmorphologischen Differenzierung berücksichtigt werden müßten. Voraussetzung ist allerdings Symmetrie der arteigenen PGH-Verteilungen. Ausgenutzt wird die Tatsache, daß eine Verteilung bei Überlagerung durch geringe Anteile einer anderen (mit deutlich verschiedenem Mittelwert) nur auf einer Seite merklich modifiziert wird. Die wenig beeinflußte andere Seite kann – unter Voraussetzung von Symmetrie – zur Charakterisierung der reinen Verteilung dienen. (Als bester Schätzwert für den Mittelwert der reinen Verteilung ist das Dichtemittel aufzufassen. Es dient als Bezugswert für die Berechnung der Streuung (vgl. SACHS 1971, p. 82).)

Nach diesem Verfahren wurden außer den 3 genannten die B. nana-dominierten Mischverteilungen der Kollektive 1 - 27 des Profiles KBM ausgewertet; ferner die allerödzeitlichen Kollektive von Profil KBM, die nach Abschnitt 3a, p. 57, sicher von B. alba coll., möglicherweise aber von B. pubescens allein, dominiert werden (s. Tab. 3).

---

1) Die Proben von Spitzbergen verdanke ich Herrn Dr. W. Hinz, Duisburg.

Der Vergleich der für B. nana bestimmten Variationskoeffizienten anhand von Tab. 3 zeigt, daß die nach (3) an natürlich gemischten Kollektiven ermittelten Werte deutlich niedriger sind, als die nach (1) erhaltenen. Der Verdacht, daß sich bei der Bestimmung von V nach (1) als Folge des unterschiedlichen Entwicklungszustandes von Pollen aus Herbarmaterial zu hohe Werte ergeben, scheint sich also zumindest im Fall von B. nana zu bestätigen. Andererseits zeigt auch das natürlich gemischte Pollenkollektiv der B. nana Spitzbergens mit V_n= 0.086 gegenüber den Bestimmungen nach (3) einen weit höheren Wert; und bislang ist nicht zu sagen, inwieweit dieser Wert tatsächlich als Ausnahme gewertet werden kann (s.o.). So muß für V_n vorerst mit Werten zwischen 0.07 und 0.09 gerechnet werden. Für die Variationskoeffizienten der Baumbirken lassen sich kaum engere Grenzen angeben.

Bestimmung des Variationskoeffizienten...	(1) durch rechnerische Zusammenfassung individueller PGH-Verteilungen		(2) an einem artreinen, natürlich gemischten Kollektiv	(3) an natürlich gemischten, von einer Art dominierten Kollektiven	
Herkunft	siehe ENEROTH rezent	Jotunheim. Norwegen rezent	Spitzbergen rezent	Jotunheim. Norwegen rezent	Profil KBM spätglaz.
B. nana	0.090	0.086	0.086	0.077	0.073
B. pendula	0.085				\
B. pubescens	0.074				? 0.079
B. "tortuosa"	0.084				/

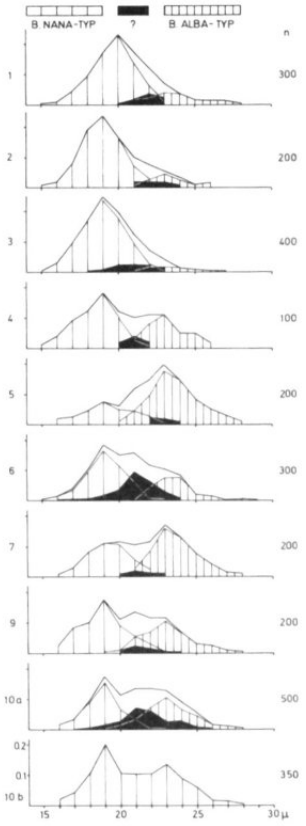
Tab. 3 Variationskoeffizienten der PGH-Verteilungen von Birken-Arten. (Die aus den Angaben ENEROTH's ermittelten Werte, denen eine Klassenbreite von b= 2.73µ zugrunde liegt, wurden zur besseren Vergleichbarkeit mit den übrigen Werten nach SHEPPARD korrigiert.)

1 d Pollen von Birken-Hybriden

Aufgrund der Untersuchungen von ENEROTH (l. c.) kann angenommen werden, daß Pollen von Betula-Hybriden im wesentlichen größenintermediär sind. Hieraus folgt, daß bei Mischverteilungen, an denen Hybriden-Pollen maßgeblich beteiligt sind, die ohnehin schon geringen größenstatistischen Unterschiede zwischen den Pollen der reinen Arten verwischt sein können. Derartige Mischverteilungen wären von Mischverteilungen aus Pollen reiner Arten schwerlich zu unterscheiden. Ihre Analyse müßte zu Fehlschlüssen führen.

Die Bedeutung von Hybriden-Pollen in fossilen Birkenpollen-Kollektiven ist schwer abzuschätzen. Es kann aber angenommen werden, daß der wiederholte Wechsel von B. nana-reichen Tundren und B. alba coll. -beherrschten Wäldern im spätglazialen Mittel- und südlichen Nordeuropa die Bildung von B. nana/alba-Hybriden außerordentlich begünstigt hat. Und es ist nicht auszuschließen, daß in spätglazialen Parktundren diese Hybriden regional eine ähnliche Bedeutung gehabt haben, wie sie sie lokal im Wald - bzw. Baumgrenzbereich des heutigen Skandinavien erlangen können.

Um wenigstens Hinweise auf die Bedeutung von Hybriden-Pollen zu bekommen, wurden die PGH-Verteilungen von Birkenpollen-Kollektiven in Oberflächenproben untersucht, die Birkenbeständen mit unterschiedlichen Hybriden-Anteilen entstammen. Die Ergebnisse sind in Abb. 11 wiedergegeben. Das B. nana/alba-Verhältnis im Entnahmebereich der einzelnen Proben und das Ergebnis der morphologischen Pollen-Differenzierung machen deutlich, daß die



Probe 1 - 3: Breidsaeterdalen. Reine B. nana-Bestände weit oberhalb der Baumgrenze bzw. in grösserer Entfernung von den lokal höchsten Vorkommen einzelner Baumbirken und B. nana-Hybriden[1)].

Probe 4 - 7: Unteres Breidsaeterdalen / Bövertunvatnet. B. nana-Bestände in unmittelbarer Nähe der lokal höchsten Baumbirken bzw. im Bereich sehr lockerer Baumbirken-Vorkommen in lokalklimatisch günstigen Lagen. Probe 6 wurde unter einer B. nana-Hybride[1)] entnommen.

Probe 9 + 10: Loeshö bei Lom. Lockerer Baumbirken-Bestand mit reichlich B. nana und zahlreichen Hybriden an der oberen Grenze der Kiefern-Stufe.

Abb. 11 PGH-Verteilung von Birkenpollen-Kollektiven in Oberflächenproben aus verschieden-artigen Birken-Beständen (Jotunheimen, Norwegen). Die Pollen wurden aus Pleurozium-, Hylocomium splendens- und Ptilidium ciliare-Rasen isoliert: KOH 5, HF 10, HCl 5, Azetolyse 3.5 min.

beiden Maxima der PGH-Verteilungen bei 19 (20) µ bzw. 23µ zu B. nana bzw. B. alba coll. gehören. Deutlich erscheint auch, daß die PGH-Verteilungen der Proben 6, 9 und 10 durch Hybriden-Pollen beeinflußt sind: Das Minimum bei 21µ ist nahezu bis mehr als ausgeglichen. Zugleich ließen sich auffallend viele Pollen von mittlerer Größe weder dem B. nana- noch alba-Typ zuordnen.

[Die größenintermediären Pollen sind großenteils verformt bis kollabiert. Das könnte zusätzlicher Hinweis auf ihre hybridogene Herkunft sein, zumal an Pollen von B. nana-Hybriden[1] aus der näheren und weiteren Umgebung der Oberflächenproben-Lokalitäten ganz ähnliche Verformungen beobachtet werden konnten. Andererseits führt die Berücksichtigung der verformten PK zu einer Verfälschung der PGH-Verteilungen, da Formveränderung Größenveränderung nach sich zieht. Bleiben die verformten PK unberücksichtigt, so ergibt sich die deutlich bimodale Verteilung 10 b]

C 2 Die Auswertung der PGH-Verteilung fossiler Birkenpollen-Kollektive

2 a Die mathematischen bzw. "halbmathematischen" Verfahren

Für die Auflösung von Mischverteilungen in ihre Komponenten sind in der statistischen Literatur eine Reihe von mathematischen bzw. halbmathematischen Verfahren vorgeschlagen worden (vgl. DAVES / BECKEL 1958, WEICHSELBERGER 1961, BHATTACHARYA 1967, HEROLD 1971 u. v. a.). Alle diese Verfahren setzen voraus, daß die einzelnen Komponenten wenigstens angenähert normal verteilt sind.

Nun kann zwar nach Abschnitt 1 c, p. 37, als wahrscheinlich gelten, daß die PGH-Verteilungen der einzelnen Birken-Arten angenähert normal sind, der Einfluß der größenintermediären Pollen von Hybriden kann aber bislang nicht sicher abgeschätzt werden. Damit ist die Anwendbarkeit der genannten Verfahren bis auf weiteres zweifelhaft.

2 b Die Bewertung des Variationskoeffizienten

Die Aussagekraft des Variationskoeffizienten von PGH-Verteilungen fossiler Birkenpollen-Kollektive ist gering, solange die arteigenen Variationskoeffizienten nicht genauer bekannt sind, als in Abschnitt 1 c, p. 37, angegeben.

Nach diesem Abschnitt ist für reine Arten ein Variationskoeffizient von maximal V = 0.09 anzunehmen. Deutlich höhere Werte bei PGH-Verteilungen fossiler Kollektive weisen also auf jeden Fall auf die Beteiligung mehrerer Arten hin. - Wird für die Variationskoeffizienten von B. pubescens und pendula der wahrscheinlichste Wert von V = 0.08 und für den Relativen Unterschied zwi-

---

1) Mit B. nana-Hybriden sind hier die strauchförmigen Ergebnisse einfacher Hybridisierung gemeint (z. B. B. nana x "tortuosa", B. nana x pendula). Die Bestimmung skandinavischer Birken-Hybriden verdanke ich Herrn F. Mang, Hamburg.

schen den Mittleren Pollengrößen $Q_{p/v} \triangleq 1.12$ angenommen, so läßt sich berechnen[1], daß der Variationskoeffizient für beliebige Mischungen aus Pollen beider Arten stets unter V = 0.098 bleibt. Deutlich höhere Werte weisen also auf die Beteiligung weiterer Arten (B. nana, "tortuosa") hin.

2 c Die Bewertung von mehrgipfeligen PGH-Verteilungen; Sattelpunkte

Werden bei fossilen Birkenpollen-Kollektiven mehrgipfelige PGH-Verteilungen festgestellt, so sollte bei deren Bewertung von der Beantwortung zweier Fragen ausgegangen werden:

(1) Kann die an einer Stichprobe bestimmten Umfanges ermittelte Mehrgipfeligkeit als für die Grundgesamtheit verbindlich angesehen werden, oder ist sie eher als das Ergebnis des zufälligen Stichprobenfehlers zu deuten?

(2) Bei welchen Birkenarten kann Überlagerung der PGH-Verteilungen zu bimodalen Mischverteilungen führen?

Zu Frage (1): Die strenge Behandlung der Frage nach Signifikanz von Mehrgipfeligkeit, die sich bei einer Stichprobe von bestimmtem Umfang ergeben hat, ist schwierig. Eine grobe optische Beurteilung kann aber erfolgen, indem z. B. die 95%-Vertrauensgrenzen für die relativen Häufigkeiten im Bereich der Maxima ermittelt[2] und in die PGH-Verteilungskurven eingezeichnet werden. Geschieht dies, so müssen an der Signifikanz der Mehrgipfeligkeit mancher publizierter PGH-Verteilungen erhebliche Zweifel aufkommen (so bei WELTEN 1944, ANDERSEN 1960, BERGLUND / DIGERFELDT 1970).

Zu Frage (2): Ob bei der Überlagerung zweier Normalverteilungen mit den Mittelwerten $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$, den Streuungen s_1 und s_2 und den Anteilen H_1 und H_2 uni- oder bimodale Mischverteilungen entstehen, ist bestimmt durch:

(a) den Unterschied zwischen den Mittelwerten $d = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$ bzw. $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$[3] (Bimodale Mischverteilungen gehen bei Konstanz der Größen s_1, s_2, H_1 und H_2 mit kleiner werdendem d bzw. Q in unimodale über).

(b) die Streuungen s_1 und s_2 bzw. die Variationskoeffizienten V_1 und V_2 (Bimodale Mischverteilungen werden bei Konstanz der Größen $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, H_1 und H_2 mit wachsendem s_1 bzw. V_1 und/oder s_2 bzw. V_2 unimodal).

---

1) Die Streuung s einer Mischverteilung aus zwei Komponenten mit den Streuungen s_1 und s_2, den Mittelwerten $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ und den Anteilen H_1 und H_2 (wobei $H_2 = 1 - H_1$) ist bei großem Stichprobenumfang:

$$s = \sqrt{H_1 s_1^2 + (1 - H_1) s_2^2 + (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2 \cdot (H_1 - H_1^2)}\ .$$

Die Ableitung der Gleichung, auf deren Wiedergabe hier verzichtet sei, verdanke ich Herrn stud. Erik Christensen.

2) Unter Annahme binomialer Verteilung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses "Pollen aus einer bestimmten Größenklasse".

3) Hier wird wie in Abschnitt 1 b, p. 33, der Relative Unterschied zwischen den Mittelwerten Q verwendet.

(c) das Mischungsverhältnis der Komponenten (Verteilungen) $M = H_1/H_2$, wobei $H_2 = 1 - H_1$ ist. (Durch s_1 und s_2 ist ein bestimmtes Mischungsverhältnis festgelegt, bei dem Bimodalität - wenn überhaupt möglich - am deutlichsten ausgeprägt ist. Dieses Mischungsverhältnis - hier als das "günstigste" bezeichnet - ist für $s_1 = s_2$ $M = 0.5/0.5 = 1$. Bimodale Mischverteilungen gehen bei Konstanz der Größen $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, s_1 und s_2 in unimodale über, wenn sich das Mischungsverhältnis genügend weit vom "günstigsten" entfernt).

Über die Alternative Uni-/Bimodalität für eine Mischverteilung kann also allgemein nur in Kenntnis der 5 genannten Größen entschieden werden.

Soll unter diesen Umständen abgeschätzt werden, bei welchen Birken-Arten die Überlagerung der PGH-Verteilungen zu bimodalen Mischverteilungen führen kann, so ist es sinnvoll, nur das in Hinsicht auf Bimodalität jeweils günstigste Mischungsverhältnis zu betrachten, d. h. $M = H_1/H_2$ festzulegen und für beide Verteilungen einen jeweils gleich großen Variationskoeffizienten anzunehmen, d. h. $V_1 = V_2 = V$ zu setzen. Unter diesen Voraussetzungen ist die Grenze zwischen Uni- und Bimodalität allein durch $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ und V bestimmt; sie kann leicht berechnet und dargestellt werden (Abb. 12).

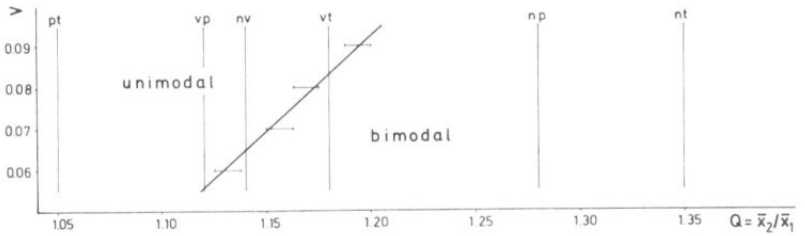


Abb. 12 Alternative Uni-/Bimodalität bei Mischverteilungen aus 2 normalverteilten Komponenten. Die schräge Linie markiert die Grenze zwischen Uni- und Bimodalität in Abhängigkeit vom gemeinsamen Variationskoeffizienten V und vom Relativen Unterschied zwischen den Mittelwerten der Komponenten $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$. Das Mischungsverhältnis der Komponenten ist definiert als das in Hinsicht auf Bimodalität jeweils günstigste. Die senkrechten Linien geben den Relativen Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten an.

In Abb. 12 sind zugleich die Schätzwerte für die Relativen Unterschiede zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ eingezeichnet (nach Abschnitt 1 b, p. 33). So kann unmittelbar abgelesen werden, inwieweit für die verschiedenen Mischverteilungen Bimodalität zu erwarten ist und welche Bedeutung (in kritischen Fällen) dem Variationskoeffizienten beigemessen werden muß.

Bei der Bewertung von Aussagen aufgrund der Abb. 12 ist zu berücksichtigen, daß die Grenze Uni-/Bimodalität in dieser Abbildung lediglich den Übergang von Unimodalität zu mathematisch realisierter Bimodalität markiert. Unmittelbar rechts der Grenze sind Maxima und Minimum in Höhe und Abstand so wenig unterschieden, daß ein meßtechnischer Nachweis von Bimodalität nicht möglich ist. Zusätzliche Frage muß also sein, bei welchen Birken-Arten die Überlagerung der PGH-Verteilungen zu Mischverteilungen führt, deren Bimodalität deutlich genug ist, um meßtechnisch erfaßt werden zu können.

Diese Frage kann anhand von Abb. 13 beurteilt werden. Näheres ist der Legende zu entnehmen. Aus rechentechnischen Gründen ist die Untergrenze für deutliche Bimodalität nicht als Funktion von V und $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ dargestellt – wie in Abb. 12 – sondern in Abhängigkeit von s und diskreten Werten von $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$.

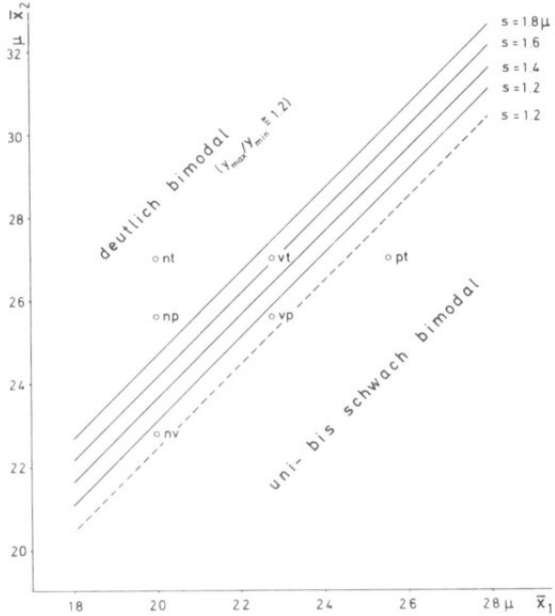


Abb. 13 Alternative Uni-/Bimodalität bei Mischverteilungen aus gleichen Anteilen von 2 normalverteilten Komponenten mit der gemeinsamen Streuung s. Die Linien geben für verschiedene Werte von s die Untergrenze für deutliche Bimodalität in Abhängigkeit von den Mittelwerten der Komponenten $\bar{x}_1$ u. $\bar{x}_2$ an. Von deutlicher Bimodalität wird hier gesprochen, wenn die Maximum-Ordinaten gegenüber der Minimum-Ordinate um mindestens 20% grösser sind. Zusätzlich ist für $s = 1.2\mu$ die absolute Untergrenze für Bimodalität angegeben (gestrichelte Linie).

Abb. 12 und 13 zeigen übereinstimmend, daß die Alternative Uni-/Bimodalität im Wesentlichen durch den Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der beteiligten Arten bestimmt ist. Der Einfluß von Variationskoeffizient bzw. Streuung erweist sich hingegen selbst dann als praktisch bedeutungslos, wenn die jeweils niedrigsten und höchsten Werte, die nach Abschnitt 1 c, p.37 , für V bzw. s infrage kommen, berücksichtigt werden. Soweit angenommen werden kann, daß die in Abschnitt 1 b, p. 33, ermittelten Werte für $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ als Maß für den Relativen Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten zumindest der Größenordnung nach richtig sind, kann Frage (2) also wie folgt beantwortet werden:

(a) Die Kombinationen pt, vp und nv ergeben stets unimodale Mischverteilungen.

(b) Auch die Kombination vt kann nicht Ursache von Bimodalität sein: für deutliche Bimodalität wäre ein $V < 0.07$ Voraussetzung und nach Abschnitt 1 c, p. 37, ist bereits $V = 0.07$ unwahrscheinlich. Außerdem ist die Kombination vt ohne Beteiligung von B. pubescens wenig wahrscheinlich (s. Anmerkung p. 50). Bereits geringe Anteile der größenintermediären p-Pollen würden aber potentielle Bimodalität mehr als ausgleichen.

(c) Nur die Kombinationen np und nt können deutliche Bimodalität ergeben.

Dieses Ergebnis bedeutet, daß der Nachweis von Bimodalität für die PGH-Verteilung von Birkenpollen-Kollektiven dem Nachweis von B. nana- und B. pubescens- bzw. B. "tortuosa"-Beteiligung praktisch gleichzusetzen ist. Da andererseits schon geringe Anteile von (größenintermediären) B. pendula-Pollen die Bimodalität der Kombinationen np und nt ausgleichen – sie ist für $V = 0.08$ bereits bei Anteilen um 20 % zumindest meßtechnisch nicht mehr gegeben – bedeutet der Nachweis von Bimodalität zugleich, daß B. pendula nur von untergeordneter Bedeutung sein kann.

Widersprüche:

Die hier über die Bimodalität von Mischverteilungen entwickelten Vorstellungen sind deshalb so ausführlich dargestellt, weil sie den folgenden Angaben bzw. Annahmen in der Literatur widersprechen: WELTEN (1944) findet für spätglaziale Birkenpollen-Kollektive deutlich bi- bis trimodale PGH-Verteilungen und deutet sie als das Ergebnis der Kombinationen vp und nvp. Die Gipfel der Verteilungen, d. h. die Mittelwerte ihrer Komponenten, liegen nach WELTEN's eigenen Angaben bei etwa 19.6, 21.8 und 24.1 µ. Die beobachtete Mehrgipfeligkeit könnte bei diesen Werten nur dann zustande gekommen sein, wenn die PGH-Verteilungen der genannten Arten die unwahrscheinlich geringe Streuung von $s = 0.8\,\mu$ aufweisen[1]! - ANDERSEN (1960) führt die an früh-weichseleiszeitlichen Birkenpollen-Kollektiven ermittelte Bimodalität zwar auf die Kombination np zurück, der Relative Abstand der beobachteten Maxima – aus den PGH-Verteilungskurven ermittelt (l. c. p. 36) – ist aber mit durchschnittlich $Q_{max.\,2/max.\,1} \cong 1.12$ (und maximal in je einem Fall 1.13 und 1.15) so gering, daß nach Abb. 12 weder echte Bimodalität vorliegen kann bzw. wahrscheinlich ist, noch nach $Q_{p/n} \cong 1.28$ an die Kombination np als Ursache gedacht werden darf. Daß die untersuchten Kollektive mehrere Arten umfassen, soll nicht bezweifelt werden; die deutliche Asymmetrie einiger Verteilungen kann kaum anders gedeutet werden. - BERGLUND (l. c. p. 111) hält es sogar für möglich, daß an spätglazialen Birkenpollen-Kollektiven beobachtete Bimodalität durch die Kombination pt verursacht sein könnte!

---

1) Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die hier angestellten Betrachtungen auf der Annahme basieren, daß die arteigenen PGH-Verteilungen zumindest angenähert normal sind. Theoretisch ist Bimodalität bei weit größerer Streuung denkbar, wenn die Verteilungen zugleich starken positiven Exzeß und/oder starke Asymmetrie aufweisen. Dafür gibt es aber bislang keine ernsthaften Hinweise.

Inwieweit die von den genannten Autoren beobachtete Mehrgipfeligkeit auf Stichprobenfehler, (unbewußt) tendenzielles Messen oder andere Ursachen zurückzuführen ist, sei dahingestellt. -

Eng verknüpft mit der Frage nach Bimodalität einer Mischverteilung ist die Frage nach deutlichen, d. h. meßtechnisch leicht erfaßbaren Sattelpunkten: Derartige Sattelpunkte sind nur bei Mischverteilungen zu erwarten, deren Komponenten im "günstigsten" Fall deutliche Bimodalität ergeben. Infrage kommen also wieder nur die Kombinationen np und nt, und auch nur dann, wenn ihr Mischungsverhältnis nicht zu ungünstig ist (vgl. Abb. 14). Anderenfalls und in allen übrigen Fällen entstehen nur mathematisch realisierte, nicht aber meßtechnisch erfaßbare Sattelpunkte. Es verbleibt als auswertbares Merkmal die Asymmetrie (Schiefe) der Mischverteilungen.

2 d Die Auswertung der Schiefe (Asymmetrie) von PGH-Verteilungen

Nach Abschnitt 1 c, p.37, kann als wahrscheinlich gelten, daß die arteigenen PGH-Verteilungen der Birken zumindest angenähert symmetrisch sind. Deutlich schiefe Verteilungen müßten danach als Mischverteilungen aufgefaßt werden.

Die Schiefe einer Mischverteilung aus zwei normalverteilten Komponenten mit den Mittelwerten $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, den Streuungen s_1, s_2 und den Anteilen H_1, H_2 ist durch den Unterschied zwischen den Mittelwerten (hier: $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$), die Streuungen und das Mischungsverhältnis $M = H_1/H_2$ bestimmt. Für Mischverteilungen aus zwei Komponenten gilt also:

> Bei gleichem Mischungsverhältnis ist die Schiefe Funktion von Q und s_1, s_2 (d. h. durch die Komponenten bestimmt). [1]
>
> Bei gleichen Komponenten (d. h. bei Konstanz von Q und s_1, s_2) ist die Schiefe Funktion des Mischungsverhältnisses M. [2]

Aufgrund dieser Beziehungen können aus der Schiefe der PGH-Verteilungen von Birkenpollen-Kollektiven auch dann gewisse Schlüsse gezogen werden, wenn mit mehr als zwei Komponenten gerechnet werden muß. Das sei anhand von Abb. 14 und 15 erläutert:

(1) Abb. 14 veranschaulicht, daß die Schiefe von Mischverteilungen aus zwei bestimmten Komponenten bestimmte Maximalwerte, d. h. maximal positive und maximal negative Werte, nicht überschreitet ("Maximale Schiefe", S_{max}). An Mischverteilungen, deren Schiefe die Maximale Schiefe bestimmter Komponenten übertrifft, müssen also andere Komponenten zumindest beteiligt sein. Ferner gilt, daß die Maximale Schiefe für Mischverteilungen aus zwei bestimmten Komponenten durch Beteiligung einer dritten, größenintermediären Komponente verringert wird (beispielsweise liegt S_{max} für die Kombination nyp stets unter S_{max} für die Kombination np). Diese Tatsachen gestatten, aus der Schiefe der PGH-Verteilung von Birkenpollen-Kollektiven u. U. auf die beteiligten bzw. nicht beteiligten Arten zu schließen. Voraussetzung ist die Kenntnis der Maximalen Schiefe für die einzelnen Birken-Kombinationen:

Nach [1] ist die Maximale Schiefe für Mischverteilungen aus zwei bestimmten Komponenten durch die Streuungen bzw. die Variationskoeffizienten V_1 und V_2

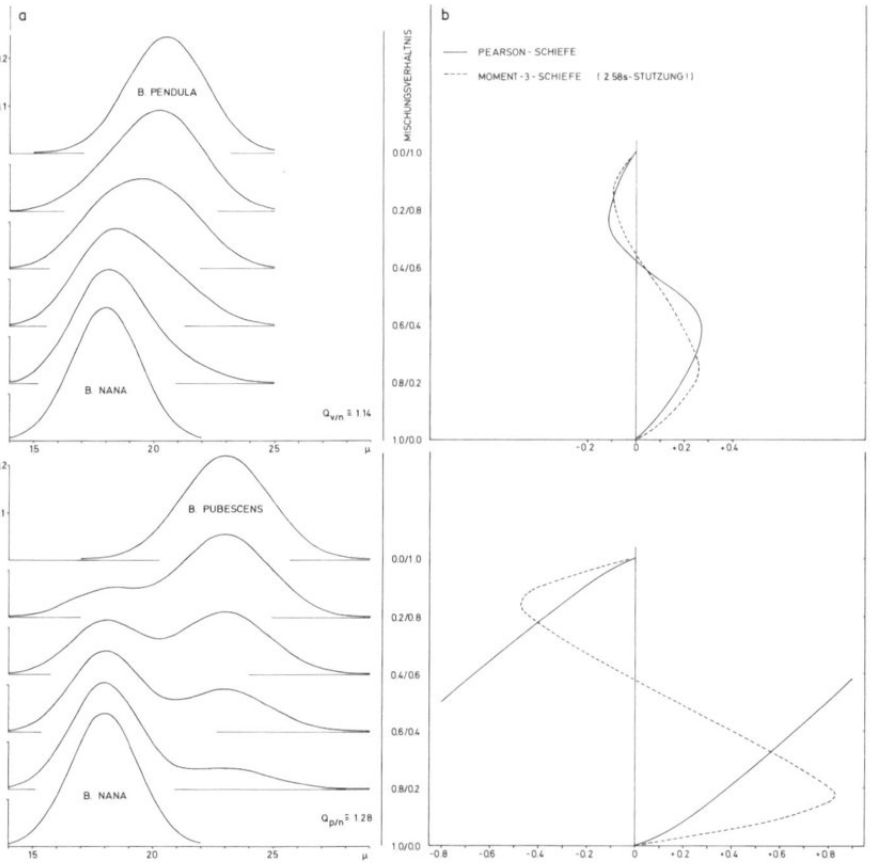


Abb. 14 a) Theoretische Mischverteilungen für die Kombinationen Betula nana, pendula und Betula nana, pubescens in verschiedenen Mischungsverhältnissen. Als Variationskoeffizient ist für alle Arten V = 0.08 angenommen.

b) Veränderungen der Schiefe bei wechselndem Mischungsverhältnis (d.h. die Schiefe als Funktion von M bei Konstanz von Q, s_1 und s_2 gemäß [2], p. 48).

der Komponenten und den Relativen Unterschied zwischen deren Mittelwerten $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ bestimmt. Wird $V_1 = V_2 = V$ gesetzt und für V ein konkreter Wert angenommen, so ist S_{max} allein Funktion von Q. Diese Funktion ist – soweit hier von Interesse – in Abb. 15 dargestellt. Näheres in der Legende.

Abb. 15 ist zu entnehmen, daß die Maximale Schiefe im wesentlichen durch Q bestimmt ist, doch durch V erheblich beeinflußt werden kann, wenn die gesamte Spanne von V = 0.07 bis 0.09, die für den Variationskoeffizienten der

Abb. 15 Maximale Schiefe von Mischverteilungen aus 2 normalverteilten Komponenten (mit dem gemeinsamen Variationskoeffizienten V = 0.08 bzw. 0.07) in Abhängigkeit vom Relativen Unterschied zwischen den Mittelwerten der Komponenten $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$. Die senkrechten Linien geben den Relativen Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen der Birken-Arten an. (Schwarze Punkte bzw. Kreise: berechnete Werte).

Birken-Arten infrage kommt, in Betracht gezogen wird. (Die Kurven für V = 0.09 sind fortgelassen, um Übersichtlichkeit zu wahren.) Solange also V nicht besser bekannt ist, läßt sich S_{max} für die einzelnen Birken-Kombinationen auch dann nur ungenau angeben, wenn die Werte für Q als größenordnungsmäßig richtig angesehen werden können.

Abb. 15 zeigt aber auch, daß über die Maximale Schiefe für die einzelnen Birken-Kombinationen selbst bei Berücksichtigung der durch V möglichen Fehler einige wesentliche Aussagen gemacht werden können. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung pflanzengeographischer Gesichtspunkte gilt für

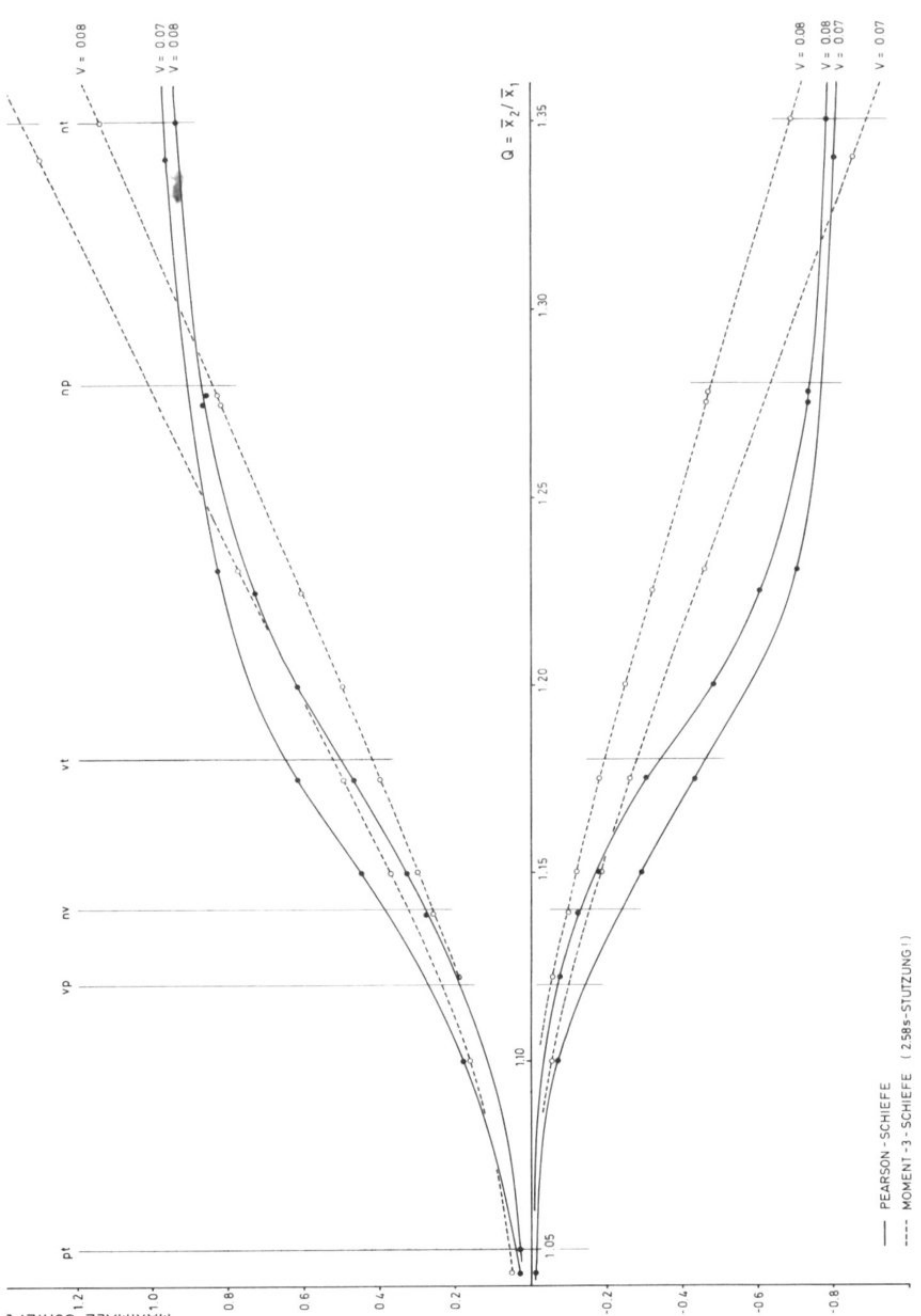
(a) die reinen Baumbirken-Kombinationen: Die beiden Kombinationen vp und pt liefern Maximale Schiefen kleiner bzw. weit kleiner +0.3 und |-0.15|. Die Kombination vt ergibt theoretisch zwar deutlich höhere Werte, doch da diese Kombination unter natürlichen Bedingungen nicht in reiner Form, sondern stets (?)[1] in Mischung mit B. pubescens vorkommen dürfte, kann auch sie kaum Ursache von Schiefe-Werten sein, die die für vp und pt genannten Grenzen überschreiten (S_{max} für vpt ist schon bei geringer Beteiligung der grössenintermediären Pollen von B. pubescens kleiner als S_{max} für vp!). Damit liefern alle in der Natur wahrscheinlichen Baumbirken-Kombinationen ohne B. nana Schiefen kleiner +0.3 und |-0.15|.

(b) die Kombinationen mit B. nana : Die Kombinationen np und nt liefern Maximale Schiefen weit außerhalb der Grenzen +0.3 und -0.15. Das gilt - zumindest für die Maximale PEARSON-Schiefe - auch noch dann, wenn $Q_{p/n}$ und $Q_{t/n}$ weit kleiner sein sollten, als hier vorausgesetzt (vgl. p. 36: Widersprüche).

(c) die Kombinationen mit B. pendula (sofern nicht schon unter (a) bewertet): Die Maximale Schiefe für die Kombination nv liegt nur dann außerhalb der genannten Grenzen, wenn als Variationskoeffizient der nach Abschnitt 1c, p. 37, wahrscheinlich zu niedrige Wert von V = 0.07 angenommen wird. Die Kombination ist außerdem ohne B. pubescens-Beteiligung kaum denkbar. - Die hohen Maximalen Schiefen

---

1) Diese Annahme basiert vor allem auf dem pflanzengeographischen Verhalten der 3 Sippen im heutigen Skandinavien, wie es z.B. in den Verbreitungskarten HULTEN's (1950) zum Ausdruck kommt: Wo die Verbreitungsgebiete der zumeist einander ausschließenden (vikariierenden) B. pendula und B. "tortuosa" überlappen, ist stets auch B. pubescens vorhanden. Dagegen scheint nach den Angaben von CLAPHAM / TUTIN / WARBURG (1962) nicht ausgeschlossen, daß B. pendula und B. "tortuosa" die einzigen Baumbirken des Schottischen Hochlands sind!


MAXIMALE SCHIEFE
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
pt
vp
nv
vt
np
nt
V = 0.08
V = 0.07
V = 0.08
1.05
1.10
1.15
1.20
1.25
1.30
1.35
Q = $\bar{x}_2 / \bar{x}_1$
V = 0.08
V = 0.08
V = 0.07
V = 0.07
PEARSON-SCHIEFE
MOMENT-3-SCHIEFE (2.58s-STUTZUNG!)

der Kombinationen np und nt werden schon durch geringe Anteile von B. pendula erheblich reduziert (S_{max} für nvp sinkt bereits bei 30%-iger Beteiligung der größenintermediären B. pendula-Pollen unter S_{max} für vp!) Damit liefern wahrscheinlich alle natürlichen Kombinationen mit maßgeblicher B. pendula-Beteiligung Schiefen kleiner +0.3 und |-0.15|.

Aus (a) bis (c) folgt: Werden an fossilen Birkenpollen-Kollektiven PGH-Verteilungen mit Schiefe-Werten ermittelt, die deutlich außerhalb der Grenzen +0.3 und -0.15 liegen, so dürften diese Verteilungen durch keine der unter natürlichen Bedingungen wahrscheinlichen Baumbirken-Kombinationen zu erklären sein. Ebenso wenig kommt die Kombination nv als Ursache in Betracht. Vielmehr sind solche Verteilungen als Mischverteilungen zu deuten, an denen B. nana und B. pubescens s. l. zumindest maßgeblich beteiligt sind und B. pendula unterschiedliche, aber nicht dominierende Bedeutung haben kann. Verteilungen mit Schiefe-Werten deutlich größer +0.3 sprechen für B. nana-Dominanz und maßgebliche Beteiligung von B. pubescens s. l., Verteilungen mit Schiefe-Werten deutlich kleiner -0.15 deuten auf B. pubescens s. l. - Dominanz mit maßgeblicher B. nana-Beteiligung. [1)]

[Bei Verwendung dieser Folgerungen in der Praxis ist große Vorsicht geboten, solange nicht sicher ist, daß die arteigenen PGH-Verteilungen der Birken tatsächlich angenähert symmetrisch sind. Denn anderenfalls wären die Schiefe-Grenzen für reine Baumbirken- bzw. B. pendula-dominierte Kombinationen mit +0.3 und -0.15 sicher zu eng gefaßt. Da arteigene PGH-Verteilungen durch unterentwickelte Pollen wahrscheinlich eher zu negativer Schiefe neigen (vgl. p. 63, Alleröd...) dürfte vor allem die Grenze -0.15 problematisch sein. Klärung könnte hier die Untersuchung von Birkenpollen-Kollektiven aus Oberflächenproben bringen, die verschieden-artigen, jedoch B. nana-freien Baumbirken-Beständen entstammen.]

(2) Die Abfolgen der theoretischen Mischverteilungen für die Kombinationen nv und np in Abb. 14 a können als Ausdruck entsprechender Sukzessionen gewertet werden. Abb. 14 b veranschaulicht, daß mit diesen Sukzessionen charakteristische Schiefe-Veränderungen verbunden sind. Schiefe-Veränderungen gleicher Tendenz[2)] sind für alle Sukzessionen, bei denen Birken-Arten unterschiedlicher Mittlerer Pollengröße einander ablösen, kennzeichnend; sie können also allgemein dazu dienen, derartige Sukzessionen (oder Schritte derartiger Sukzessionen) nachzuweisen und zu verfolgen.

---

1) Die beiden letzten Folgerungen gelten exakt nur unter der Voraussetzung gleicher Streuung für B. nana und pubescens. Ist dagegen - wie in Abb. 14 a angenommen - die Streuung für B. pubescens größer, so existieren nahe dem Mischungsverhältnis 0.5/0.5 Mischverteilungen von positiver Schiefe trotz Überwiegen von B. pubescens.

2) Es sei davon abgesehen, daß die Veränderungen der PEARSON-Schiefe bei Sukzessionen, die bimodale Mischverteilungen umfassen (wie die Sukzession n-p), unstetig sind.

Der Nachweis von Sukzessionen anhand von Schiefe-Veränderungen entsprechender Tendenz läßt sich unter Umständen auf die Identifizierung der einander ablösenden Arten ausdehnen: Wie in (1) beschrieben, kann aus der absoluten Schiefe einer Mischverteilung u. U. auf die beteiligten Arten geschlossen werden. Wird dieses Verfahren auf die Maximalwerte sukzessionsbedingter Schiefe-Veränderungen angewendet, so folgt:

Werden an Birkenpollen-Kollektiven aus aufeinanderfolgenden Proben eines Profiles Schiefe-Veränderungen nachgewiesen, die tendenziell den Beispielen von Abb. 14b entsprechen und deren Maximalwerte die Grenzen + 0.3 und |-0.15| deutlich überschreiten, so können diese Schiefe-Veränderungen sehr wahrscheinlich als Beleg für n-a-Sukzessionen mit zumindest maßgeblicher B. pubescens s. l. - und höchstens untergeordneter B. pendula-Beteiligung gewertet werden.

(3) Schließlich zeigt Abb. 14, daß die Schiefe-Veränderungen in bestimmten Abschnitten der dargestellten "Sukzessionen" den Veränderungen der Anteile von B. pendula (pubescens) bzw. B. nana angenähert proportional sind ("Proportionalitätsbereiche"). Innerhalb dieser Proportionalitätsbereiche kann von Schiefe-Veränderungen direkt auf entsprechende Veränderungen der Komponenten-Anteile geschlossen werden. Für die praktische Anwendung dieser Möglichkeit liefert die Abbildung folgende Informationen:

(a) Die beiden verwendeten Schiefe-Maße bewerten die Schiefe-Veränderungen im Verlauf der Sukzessionen verschieden. Dadurch ergeben sich für PEARSON- und Moment-3-Schiefe unterschiedlich große Proportionalitätsbereiche von entsprechend unterschiedlichem praktischen Wert: Die PEARSON-Schiefe erweist sich mit weit größeren Proportionalitätsbereichen als das günstigere Maß.

(b) Die Proportionalitätsbereiche der PEARSON-Schiefe wachsen mit den Relativen Unterschieden zwischen den Mittleren Pollengrößen $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$: Während sie im Fall der Sukzession n-v (d. h. bei $Q \cong 1.14$) nur mäßig ausgedehnt sind, umfassen sie im Fall der Sukzession n-p (d. h. bei $Q \cong 1.28$) alle Mischungsverhältnisse. (Praktisch alle Mischungsverhältnisse werden aber auch noch bei Werten bis zu $Q \cong 1.18$ erfaßt.)

Aus (a) und (b) folgt: Vor allem im Fall von n-p(t)-Sukzessionen kann aus Veränderungen der PEARSON-Schiefe auf entsprechende Veränderungen der Komponenten-Anteile geschlossen werden. Das gilt selbst dann, wenn $Q_{p/n}$ kleiner sein sollte, als in Abb. 14 vorausgesetzt oder mit Anteilen von B. pendula gerechnet werden muß. Im letzten Fall kann Proportionalität zwischen den Veränderungen der PEARSON-Schiefe und Komponenten-Anteile natürlich nur dann angenommen werden, wenn sich Konstanz des v/p-Verhältnisses voraussetzen läßt. Das ist in der Regel nicht möglich. So bleiben Aussagen aufgrund der PEARSON-Schiefe in diesem Fall Wahrscheinlichkeitsaussagen.

IV D DIE ANALYSE DER BIRKENPOLLEN-KOLLEKTIVE DER PROFILE KUBITZBERGMOOR UND RABENSBERGMOOR

D 1 Messung der Größe von Birken-Pollen

Soweit aus der Literatur zu entnehmen ist, beziehen sich Größenangaben für Betula-, Corylus- und ähnlich geformte Pollen im allgemeinen auf Pollenkörner in ± exakter Polansicht, d. h. auf Pollenkörner, deren Polachse ± senkrecht steht. Gemessen wurde zumeist ein Durchmesser über einen Porus.

Im Gegensatz dazu beziehen sich die Größenangaben für Betula- (und Corylus-) Pollen in dieser Arbeit auf beliebig orientierte Pollen. Gemessen wurde die jeweis größte Ausdehnung der Pollenkörner, die sich – gegebenenfalls erst durch Fokussieren – ermitteln ließ.

Dieses Verfahren, das Werte liefert, die dem "Durchmesser über einen Porus" praktisch voll entsprechen ergab sich aus folgenden Gründen:

(1) In Präparaten, deren Schichtdicke beliebige Orientierung der Pollenkörner zuläßt, sind Betula-Pollen in ± exakter Polansicht so selten, daß eine Beschränkung der Messung auf solche Pollenkörner praktisch nicht infrage kommt, wenn umfangreiche Stichproben angestrebt werden.

(2) Die Anzahl der Pollenkörner in Polansicht läßt sich zwar durch Reduktion der Schichtdicke erhöhen (die zumeist suboblaten Betula- und Corylus-Pollen nehmen aus räumlichen Gründen Zwangslagen ein), doch muß unter diesen Umständen damit gerechnet werden, daß vor allem große Pollenkörner Polansicht zeigen und daß Veränderungen der Pollengröße durch Deformation eintreten. Präparate, deren Schichtdicke die statistische Orientierung der Pollenkörner einschränkt, sind also für größenstatistische Untersuchungen unbrauchbar (vgl. auch CUSHING 1961).

Die Größe von Pollenkörnern, deren Porenanzahl 3 unter- oder überschreitet, wurde in derselben Weise ermittelt. Ob es sinnvoll ist, derartige Pollen bei der Ermittlung von PGH-Verteilungen zu berücksichtigen – wie hier geschehen – sei dahingestellt.

Gemessen wurde mit einem Okular-Mikrometer, dessen Teilstriche bei 10facher Okular- und 100facher Objektiv-Vergrößerung 1µ-Abstände markieren. Das bedeutet für die PGH-Verteilungskurven die rechnerisch günstige Klassenbreite von b = 1µ .

Die Messungen erstreckten sich jeweils über das gesamte Objektfeld eines Präparates, um Fehler aufgrund unstatistischer Verteilung verschiedener Pollengrößen auszuschließen (vgl. p.11 , Abschnitt B 2).

D 2 Zur morphologischen (habituellen) Differenzierung von Birkenpollen

Ausgangspunkt der Untersuchung fossiler Birkenpollen-Kollektive war in

dieser Arbeit die morphologische Unterscheidung eines B. nana- und eines B. alba-Typs. Diese Unterscheidung ist aber wie bereits angedeutet (p. 26) problematisch. Zwar läßt sich anscheinend der Großteil der nicht verformten oder sichtlich unentwickelten PK eines Kollektivs dem einen oder anderen Typ mit Sicherheit zuordnen; da aber die Existenz von morphologisch völlig intermediären Typen subjektive Entscheidungen zuläßt, kann die Grenze zwischen B. alba- und nana-Typ von verschiedenen Beobachtern (bzw. demselben zu verschiedenen Zeiten) an verschiedenen Stellen angenommen werden. Damit bleiben die Ergebnisse der morphologischen Birkenpollen-Trennung anfechtbar und selbst innerhalb eines Diagrammes schlecht vergleichbar, solange nicht (1) irgendwie dokumentiert ist, wo die Grenze zwischen den Typen gezogen wurde und daß ihre Lage konstant blieb oder doch wenigstens (2) Vorstellungen über die Größe der Fehler bestehen, die durch unterschiedliche Beurteilung von intermediären Pollen möglich sind.

(1) Für eine praktikable Dokumentation dessen, was zum B. nana- und was zum B. alba-Typ gerechnet wurde, bietet sich das am leichtesten zu erfassende und für die Differenzierung der beiden Typen zugleich wesentlichste Merkmal an: die Pollengröße bzw. deren Häufigkeitsverteilung. Resultat sind "differenzierte" PGH-Verteilungskurven, die jeweils neben der PGH-Verteilung aller Birken-Pollen eines Kollektivs auch die der morphologisch unterschiedenen Typen (und die der fraglichen) darstellen. Als Beispiel Abb. 11, p. 42.

(Abfolgen derartiger "differenzierter" Verteilungskurven – als Ergebnis der Analyse zeitlich aufeinanderfolgender Birkenpollen-Kollektive – gestatten vor allem eine ungefähre optische Beurteilung der Frage, inwieweit die Lage der Grenze zwischen den beiden Birkenpollen-Typen zumindest in Hinsicht auf das Merkmal "Pollengröße" von Probe zu Probe konstant geblieben ist. Eine Zunahme der Häufigkeit von B. alba beispielsweise, die sich nur dadurch ergeben hat daß mehr PK mittlerer Größe (also möglicherweise B. nana-Pollen) zu B. alba gerechnet worden sind, kann jetzt als solche erkannt werden. Zur Erläuterung: Wären die Verteilungskurven a-c der Abb. 16 das Ergebnis der Analyse von 3 aufeinanderfolgenden Birkenpollen-Kollektiven, so wäre die Zunahme der B. alba von unten nach oben sehr wahrscheinlich Folge von Fehlbestimmungen.)

(2) Die Frage nach dem möglichen Fehler bei der morphologischen Differenzierung von Birkenpollen-Kollektiven läßt sich durch wiederholte Kontroll-Analysen an e i n e m Kollektiv der Beantwortung näher bringen. Die zum Teil ernüchternden Resultate solcher Kontroll-Analysen seien an 3 Beispielen erläutert:

(a) Abb. 6, p. 32, zeigt am Beispiel des Birkenpollen-Kollektivs KBM 15, daß das Ergebnis der morphologischen Differenzierung vom Größenstatus beeinflußt werden kann: Mit abnehmender Mittlerer Pollengröße des Gesamtkollektivs $\bar{x}$ verschiebt sich das a/n-Verhältnis zugunsten von B. nana. Offenbar ist ein Teil der Pollen, die zuvor zum B. alba-Typ gestellt worden wären, nach Größen- und Habitus(?)-Veränderung infolge von Schrumpfung zum B. nana-Typ gerechnet worden. Die Verschiebung der für B. alba- bzw. B. nana-Typ ermittelten Häufigkeiten ist im vorliegenden Fall mit maximal ca. 10 % relativ gering.

(b) In Abb. 20c, p. 72, sind für die Birkenpollen-Kollektive RBM 11 - 15 und 20 - 26 neben den Ergebnissen der Analysen unmittelbar nach der Präparation die Ergebnisse von Kontroll-Analysen an 2.5 Jahre alten Präparaten wiedergegeben. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß die Kontroll-Analysen stets höhere B. nana-Werte ergeben haben. Die B. nana-Zunahme von durchschnittlich ca. 13 % kann aber nur z. T. durch Pollenschrumpfung erklärt werden: Während die Mittlere Pollengröße der Gesamt-Kollektive um durchschnittlich 2 % abgenommen hat, stieg die des B. nana-Typs um durchschnittlich 2 % an! Das heißt, daß auch absolut größere PK zu B. nana gerechnet worden sind.

(c) Besonders gravierende Unterschiede im morphologisch bestimmten a/n-Verhältnis ergaben sich bei den Analysen der Birkenpollen-Kollektive von KBM, DR 3. Unsicherheit bezüglich der Korrektheit der vollzogenen Differenzierung hatte bei diesen Kollektiven zu immer neuen Kontrollen veranlaßt, ohne daß sich dabei die Sicherheit eingestellt hätte, eine jeweils bessere Trennung vorgenommen zu haben. Eher entstand der Eindruck, die Kollektive seien morphologisch Kontinua. Anfänglich hatten die Kontrollen ständig höhere B. alba-Anteile erbracht, was als das Ergebnis zunehmender Korrektheit der Differenzierung im Verlauf des "sich einsehens" gewertet worden war (Abb. 16). Spätere Analysen ergaben hingegen wieder erhöhte B. nana-Anteile, die nicht allein durch Schrumpfung der Kollektive erklärt werden konnte. Der (vergebliche) Aufwand, der hier getrieben wurde, um eine morphologisch befriedigende Differenzierung zu erreichen, mag an den großen Stichproben-Umfängen ermessen werden (Abb. 19). - Die in Abb. 16 wiedergegebenen Analysen-Ergebnisse schwanken – trotz gleichen Größenstatus – zwischen starker B. nana-Dominanz und Überwiegen von B. alba. Sie sind also nicht einmal der Größenordnung nach vergleichbar. Über die denkbaren Gründe für diese Differenzen vgl. p. 60: Jüngere Tundrenzeit.

Die angeführten Beispiele bestätigen den Verdacht, daß Angaben von rein morphologisch ermittelten a/n-Verhältnissen mit großer Vorsicht zu bewerten sind. Solche Angaben mögen wohl im Allgemeinen die richtigen Größenordnungen treffen, entscheidende Fehler sind aber offenbar nicht ausgeschlossen. Eine Überprüfung der morphologischen Befunde durch Aus-

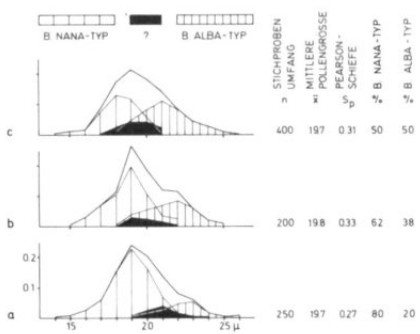


Abb. 16 Zur Beurteilung der morphologischen Differenzierbarkeit von Birkenpollen: Ergebnisse von 3 aufeinanderfolgenden Untersuchungen desselben Kollektivs (KBM 59).

wertung von Formmerkmalen und -maßen der PGH-Verteilung aller Birkenpollen eines Kollektivs, wie sie im vorhergehenden beschrieben worden ist, erscheint also unumgänglich.

D 3 Die Ergebnisse der Birkenpollen - Differenzierung

3 a Profil Kubitzbergmoor (Abb. 18a - e und 19, p. 64f.)

Abb. 18 soll anhand von zumeist "differenzierten" PGH-Verteilungskurven und deren Statistiken (Variationskoeffizient, Schiefe) die Beurteilung der Frage ermöglichen, inwieweit morphologisch erkannte Veränderungen des B. alba/nana-Verhältnisses von Kollektiv zu Kollektiv oder über kleine Profilabschnitte hinweg begründet erscheinen. Abb. 19 dient dagegen vor allem dem Vergleich der morphologisch bestimmten B. alba- und nana-Anteile mit den genannten Statistiken über das gesamte Profil hinweg. Speziellen Fragestellungen dienen die Angaben über den Sedimentcharakter, die Mittlere Pollengröße von B. alba- und nana-Typ sowie die Häufigkeit der ungleich 3-porigen Birkenpollen. - Die Bewertung der Analysen-Ergebnisse erfolgt gemäß der pollenanalytischen Zonengliederung:

Ältere Tundrenzeit s. l. - DR 1+2 (Koll. 1 -27). Die PGH-Verteilungen aller Kollektive dieser Zone sind vor allem durch starke positive Schiefe ausgezeichnet. Die Werte für PEARSON- und Moment-3-Schiefe liegen mit wenigen Ausnahmen bei + 0.3 und vielfach weit darüber. Nach den Angaben unter (1) auf Seite 48f. sind Verteilungen mit solchen Schiefe-Werten sehr wahrscheinlich als Beleg für Mischverteilungen mit B. nana-Dominanz und ± starker Beteiligung von B. pubescens s. l. zu werten. An der größenordnungsmäßigen Richtigkeit der Ergebnisse der morphologischen Differenzierung, die ebenfalls für die meisten Kollektive B. nana-Dominanz ausweist, dürfte damit kein Zweifel bestehen.

Die Häufigkeit von Betula in Bezug auf die Grundsumme zeigt Schwankungen, die nach den Ergebnissen der morphologischen Differenzierung im wesentlichen auf Häufigkeitsschwankungen von B. nana bei im ganzen ± konstanter B. alba-Häufigkeit zurückzuführen sind. Die "differenzierten" PGH-Verteilungskurven liefern keinen Hinweis darauf, daß dieser Befund auf wechselnder Abgrenzung von B. nana- und alba-Typ beruhen könnte (vgl. beispielsweise die Zunahme von B. nana von Koll. 20 - 24). Darüber hinaus läßt sich auch dieser Befund unabhängig von subjektiven Kriterien bestätigen: Nach den Angaben auf Seite 53 unter (3) sind die Veränderungen der PEARSON-Schiefe eines Mischkollektivs unter bestimmten Bedingungen und Vorbehalten den Veränderungen der Anteile seiner Komponenten weitgehend proportional. Morphologisch ermittelten Veränderungen des B. alba/nana-Verhältnisses müssen also – wenn real – gleichsinnige Veränderungen der PEARSON-Schiefe entsprechen. Das ist nach Abb. 18 der Fall. Optisch noch deutlicher zeigt Abb. 19, daß B. nana-Maxima jeweils Schiefe-Minima entsprechen.

Die weitgehende Proportionalität von PEARSON-Schiefe eines Mischkollektivs und Anteilen seiner Komponenten kann unter Umständen dazu dienen, Fehler, die sich durch Veränderung der Abgrenzung von B. alba- und nana-Typ im Verlauf der Untersuchungen ergeben haben, nachzuweisen und zu korrigieren. - Wie eine sorgfältigere Bewertung der "differenzierten" Ver-

teilungskurven vermuten läßt, sind während der von unten nach oben vorgenommenen Analyse der Kollektive 1 - 27 ständig mehr PK von mittlerer und geringerer Größe zu B. alba gerechnet worden, so daß deren Anteile ungerechtfertigt zunehmen. Deutlich wird diese Erscheinung beispielsweise beim Vergleich der Verteilungskurven von Kollektiv 1 und 14; daß es sich um eine fast durchgehende Erscheinung handelt, zeigt Abb. 17. In dieser Abbildung ist für die Kollektive 1 - 27 (excl. 13) die Beziehung zwischen den morphologisch ermittelten B. alba-Anteilen und der PEARSON-Schiefe dargestellt: Eine Ausgleichsgerade gibt an, welcher durchschnittliche B. alba-Anteil bei einer bestimmten Schiefe morphologisch ermittelt wurde. Es zeigt sich also, daß die Analysen zunächst (Koll. 1 - 11) überwiegend unterdurchschnittliche und später (Koll. 12 - 27) vorwiegend überdurchschnittliche B. alba-Anteile erbracht haben.

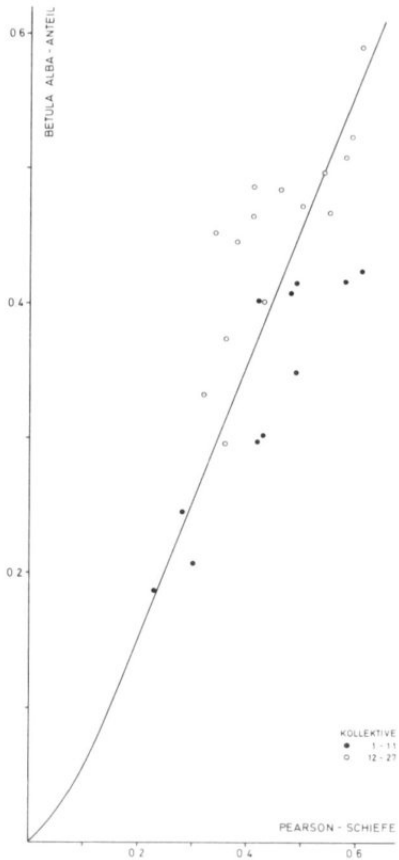


Abb. 17 Beziehung zwischen morphologisch bestimmtem Betula alba-Anteil und PEARSON-Schiefe für die Kollektive 1 - 27 des Profiles KBM. (Die Ausgleichsgerade entspricht weitgehend der Winkelhalbierenden zwischen den beiden Regressionsgeraden.)

Daß diese Erscheinung in einer wechselnden Auffassung vom B. alba- und nana-Typ ihre wahrscheinlichste Ursache hat, ist kaum zu bezweifeln. Eine Korrektur der morphologischen Befunde über das objektive Maß der PEARSON-Schiefe ist daher sinnvoll. Sie kann erfolgen, indem die Ausgleichskurve der Abb. 17 als Eichkurve verwendet wird: Ergebnis der Korrektur sind Häufigkeitsangaben, die in ihrer Größenordnung dem morphologischen Befund entsprechen, in ihren Relationen aber einem objektiven Maßstab angepaßt sind.

In Abb. 18 sind die "über die PEARSON-Schiefe korrigierten" Werte für das B. alba/nana-Verhältnis und die B. alba- und nana-Häufigkeiten in Bezug auf die Grundsumme angegeben. Die Korrektur-Beträge sind danach im allgemeinen gering. Inwieweit die korrigierten Werte gegenüber den Ausgangswerten im einzelnen glaubwürdiger sind, ist im wesentlichen eine Frage nach den bei der Bestimmung der PEARSON-Schiefe wahrscheinlichen Fehlern (vgl. Abschnitt D 4, p. 75).

Zur Frage nach den Komponenten der B. alba coll.:
Die hohen Schiefewerte der Verteilungen belegen, wie bereits gesagt, starke Anteile von B. pubescens s.l. Daß aber B. pendula (oder eine andere Kompo-

nente mit intermediärer Pollengröße) ebenfalls beteiligt ist, wird durch mehrere Fakten wahrscheinlich gemacht:

(1) Der Relative Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen vom B.alba- und nana-Typ (Abb. 19) liegt mit durchschnittlich $Q_{a/n} \cong 1.17$ weit unter dem Wert $Q_{p/n} \cong 1.28$, der nach Abschnitt 1b, p.33, erwartet werden müßte, wenn B.alba allein durch B.pubescens vertreten wäre. Nur ein gravierender grundsätzlicher Fehler in der Abgrenzung von B.alba- und nana-Typ, der aber anhand der "differenzierten" PGH-Verteilungen ausgeschlossen werden kann - als Mittlere Pollengröße des B.alba-Typs müßte ein Wert von 23 µ angenommen werden! - könnte den Unterschied zwischen den beiden Werten für Q erklären, ohne daß B.pendula-Beteiligung angenommen werden muß.

(2) Die Schiefe-Werte bleiben mit maximal +0.61 weit unter den für die reine Kombination np maximal möglichen von $S_{max.np} = 0.09$. Da die den Verteilungen 1 - 27 zugrunde liegende Kombination na zweifellos in Mischungsverhältnissen von praktisch maximaler Schiefe erfaßt worden ist, kann auch diese Diskrepanz als Beleg für B.pendula-Beteiligung gewertet werden.

(3) Der Variationskoeffizient des B.alba-Typs von durchschnittlich $V_a \cong 0.088$ könnte nach Abschnitt 1c, p.37, bereits dem einer Mischverteilung entsprechen.

Da die Argumente (1) und (2) allein auf $Q_{p/n} \cong 1.28$ basieren, sei hier noch einmal darauf hingewiesen, daß an subrezentem Material für $Q_{pt/n}$ mit 1.21 ein weit niedrigerer Wert gefunden wurde, als nach Abschnitt 1b, p.33, zu erwarten (siehe dort unter "Widersprüche"). Ferner sei vermerkt, daß bei Richtigkeit von $Q_{p/n} \cong 1.28$ zur Erklärung von $Q_{a/n} = 1.17$ so erhebliche B. pendula-Anteile angenommen werden müssen, daß nach Abschnitt 2c, p.44, die bimodalen PGH-Verteilungen der Kollektive 28, 30 und 31 nicht verständlich oder aber als durch Stichprobenfehler bedingt aufzufassen sind. Signifikanz der Bimodalität dieser Verteilungen wäre Beleg für geringere B. pendula-Beteiligung und damit auch für einen niedrigeren Wert von $Q_{p/n}$.

Alleröd - AL (Koll. 28 - 46(48)). Für die Folge der Kollektive 28 - (34 + 35) ergibt die morphologische Differenzierung eine schnelle Zunahme von B. alba bis zur Dominanz. Bereits die optische Beurteilung der "differenzierten" PGH-Verteilungskurven läßt an der grundsätzlichen Richtigkeit dieses Befundes kaum einen Zweifel. Bestätigung liefern die charakteristischen Veränderungen von PEARSON-Schiefe und Variationskoeffizient:

Die PEARSON-Schiefe steigt von Werten um + 0.35 (Koll. 22 - 25) zunächst auf Werte um + 0.6, fällt dann auf -0.36 (Koll. 31) und oszilliert im folgenden (Abb. 18) zwischen 0 und -0.2. Derart markante Schiefe veränderungen sind nach den Angaben unter (2), p. 52, als Ausdruck der Sukzession von B. nana- zu B. alba-Dominanz bei jeweils starker Beteiligung von B. pubescens s.l. zu werten.

Der Variationskoeffizient fällt von Maximalwerten um 0.115 (Koll.30 und 31) auf absolute Minimalwerte: Mischkollektive, an denen nach Abschnitt 2b, p.43, neben B.alba B.nana stark beteiligt sein muß, werden von Kollektiven abgelöst, die fast nur B.alba coll. und möglicherweise nur eine ihrer

Arten umfassen (s.u.).

Die Kollektive 34 - 46 zeigen – den geringen morphologisch erkannten B. nana-Anteilen entsprechend – durchschnittlich geringe negative Schiefe. Die Schwankungen der Schiefe sind bei Stichprobenumfängen von n = 200 (Abb. 19) als statistisch aufzufassen, zumindest aber nicht auswertbar. Abb. 18 zeigt, daß auch nach Verdoppelung der Stichprobenumfänge durch Zusammenfassung der Meßergebnisse von je 2 Kollektiven keine Tendenzen deutlich werden, daß also gemäß dem morphologischen Befund die B. nana-Anteile annähernd gleich geblieben sind.

Die Frage nach den Komponenten der allerödzeitlichen B. alba ist bislang nicht zu entscheiden, doch kann ein Anhaltspunkt für die Anzahl der Komponenten gegeben werden: Nach den Angaben unter (3), p. 40, läßt sich der Variationskoeffizient der B. alba aus den von ihr dominierten Verteilungen 34 - 46 abschätzen, ohne daß die subjektiven Ergebnisse der morphologischen Differenzierung berücksichtigt werden müssen. Es ergab sich mit durchschnittlich V_a = 0.079 ein Wert, der dem Variationskoeffizienten einer reinen Art entsprechen könnte.

Die Kollektive 47 und 48 leiten mit deutlich höheren B. nana-Anteilen zu den B. nana-dominierten Kollektiven der Jüngeren Tundrenzeit über.

Jüngere Tundrenzeit - DR3 (Koll. 49 - 84). Die Schwierigkeiten bei der morphologischen Differenzierung dieser Kollektive wurden bereits auf Seite 56 unter (c) beschrieben und durch Abb. 16 verdeutlicht. Danach müssen nicht nur die Schwankungen (2), sondern auch die Größenordnung (1) des morphologischen Befundes kritisch betrachtet werden. (Auf die Wiedergabe von "differenzierten" PGH-Verteilungskurven in Abb. 18 ist verzichtet worden, da sie bei den zumeist geringen Schwankungen des B. alba/nana-Verhältnisses wenig Information liefern.)

Zu (1): Trotz der nach Abb. 16 sehr unterschiedlichen Ergebnisse der morphologischen Differenzierung kann kaum bezweifelt werden, daß wiederum, d.h. wie zur Älteren Tundrenzeit, B. nana-reiche Mischverteilungen vorliegen, deren positive Schiefe auf B. alba-Anteilen beruht. Die Schiefe-Werte sind allerdings weit geringer als die der Verteilungen 1 - 27. Sie liegen vielfach weit unter + 0.3 und erreichen nur einmal – bei dem relativ geringen Stichprobenumfang von n = 400 – mit + 0.49 einen deutlich höheren Wert.

Nächstliegender Grund für die geringere Schiefe ist natürlich geringere B. alba-Beteiligung bei stärkerer B. nana-Dominanz. Und tatsächlich ergaben die ersten morphologischen Differenzierungen eine ganz entsprechende Gliederung (Abb. 16a als Beispiel). Später dagegen erschien eine Differenzierung natürlicher, wie sie durch Abb. 16c ungefähr wiedergegeben ist, und die – da an allen Kollektiven der Jüngeren Tundrenzeit ± einheitlich vorgenommen – den Häufigkeitsangaben für B. alba- und nana-Typ in den Abb. 18 und 19 und im Pollendiagramm zugrunde gelegt wurde.

Daß diese Differenzierung tatsächlich die bessere ist, kann allerdings bezweifelt werden. Sie erscheint nicht nur optisch weniger vernünftig, sondern liefert mit durchschnittlich $Q_{a/n}$ = 1.14 (Abb. 19) einen derartig geringen Relativen Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen von B. alba- und

nana-Typ, daß als B.alba-Komponente nur B.pendula ($Q_{v/n} \cong 1.14$) infrage kommt. Die Kombination vn ohne B.pubescens-Beteiligung erscheint aber pflanzengeographisch wenig wahrscheinlich. Dagegen kann für die Gliederung gemäß Abb. 16a und b ein wesentliches Argument angeführt werden: Nach FAEGRI / IVERSEN's Zusammenstellung (1964, p. 170) unterscheidet sich die Größe von Pollen aus kalkarmen und kalkreichen Sedimenten um den Faktor $k \cong 1.06$. Birkenpollen aus den jüngertundrenzeitlichen Kollektiven muß also gegenüber gleichartigem aus ältertundrenzeitlichen um eben diesen Faktor größer sein (Abb. 19, Sedimentmerkmale). Das Dichtemittel der ältertundrenzeitlichen PGH-Verteilungen ist im wesentlichen durch die Mittlere Pollengröße der dominierenden B.nana bestimmt. Sein durchschnittlicher Wert beträgt 18.4 µ. Da das Dichtemittel der PGH-Verteilungen von DR 3 mit durchschnittlich 19.3µ um $k \cong 1.05$ größer ist, dürfte es in derselben Weise durch B.nana-Dominanz bestimmt sein. Dieser Folgerung entsprechen nur die Differenzierungen nach Abb. 16a und b.

Wird aber die morphologische Differenzierung gemäß Abb. 16a und b als die wahrscheinlich richtigere akzeptiert, so kann die Beziehung zwischen PEARSON-Schiefe und B.alba-Anteilen nach Abb.17 auch zur größenordnungsmäßigen Abschätzung der B.alba-Beteiligung an den Kollektiven von DR 3 herangezogen werden. Es ergeben sich Werte von durchschnittlich 0.2 bis 0.3 gegenüber durchschnittlich 0.5 aufgrund der tatsächlich vorgenommenen morphologischen Differenzierung. -

Zu (2): Die Glaubwürdigkeit der Schwankungen der morphologisch ermittelten B.alba-Anteile kann ebenfalls aufgrund der Beziehungen zwischen diesen Anteilen und der Schiefe der PGH-Verteilung beurteilt werden. Dabei gestatten die zumeist großen Stichprobenumfänge im vorliegenden Fall die zusätzliche Verwendung der Moment-3-Schiefe. Nach Abb.18 liefern beide Schiefheitsmaße annähernd gleichbleibende Werte. Kleinere Schwankungen können als statistisch gelten, größere sind auf Verteilungen beschränkt, denen relativ geringe Stichprobenumfänge zugrunde liegen. Klare Tendenzen sind in keinem Fall zu erkennen und selbst die so deutlich erscheinende B.alba-Zunahme bei den Kollektiven 72 - 76 findet praktisch keine Bestätigung in entsprechend erhöhten Schiefe-Werten.

So lassen sich die Befunde der morphologischen Analyse der jüngertundrenzeitlichen Kollektive anhand objektiver Kriterien weder in Größenordnung noch Tendenz bestätigen. Über die Gründe der Diskrepanzen können bislang nur Vermutungen angestellt werden:

(a) Die Grenzen zwischen B.alba- und nana-Typ könnten durch größenintermediäre Pollen von Hybriden verwischt sein: Falls aus der Häufigkeit von ≠ 3porigen Birkenpollen auf die Häufigkeit von Hybriden geschlossen werden kann (vgl. HELMS / JÖRGENSEN 1927), sind für die Kollektive von DR 3 tatsächlich höhere Anteile an Hybriden-Pollen anzunehmen (Abb. 19, Häufigkeit der ≠ 3porigen).

(b) In DR 3 muß mit umgelagerten Pollen aus AL-Sedimenten (die z.T. als Kalk-Gyttja ausgebildet sind!) gerechnet werden (Abschn. 2a u. b, p. 94 f.). Für die Kollektive kann also ein einheitlicher Größenstatus nicht unbedingt vorausgesetzt werden, da ihre Komponenten möglicherweise unterschiedlichen chemischen Bedingungen unterworfen

waren. B. alba-Pollen allerödzeitlicher Herkunft müßte mit relativ geringerer Größe ebenfalls die Differenzen zwischen (primären) B. alba- und nana-Pollen verwischen.

Präboreal - PB (Koll. 85 - 90). Die morphologische Differenzierung ergibt erneute schnelle Zunahme von B. alba bis zur Dominanz und steht in Einklang mit charakteristischen Veränderungen der PEARSON-Schiefe, wie sie bereits für die Wende DR 2/AL näher beschrieben worden sind. (Die maximal ermittelte positive Schiefe beträgt zwar nur $Sp = +0.3$, doch fraglos aufgrund zu großen Proben-Abstandes. Zwischen den Kollektiven 83 und 84 wäre ein höherer Schiefe-Wert zu erwarten!).

[Hinzuweisen ist auf deutlich höhere Relative Unterschiede zwischen den Mittleren Pollengrößen von B. alba- und nana-Typ, wie sie sich auch schon bei einigen AL-Kollektiven ergeben haben (Abb. 19). Da eine geringere Mittlere Pollengröße für B. nana die wesentliche Ursache ist, könnte fast an im Schatten von B. alba kümmernde B. nana gedacht werden.]

3 b Profil Rabensbergmoor (Abb. 20 und 21, p. 70 f.)

Da die morphologische Bestimmung des B. alba/nana-Verhältnisses bei den Kollektiven dieses Profils hinreichend sicher erschien und von Kollektiv zu Kollektiv zumeist nur geringe Veränderungen erbrachte, schienen Messungen an jeweils nur kleinen Stichproben ausreichend und die Zusammenfassung von Meßergebnissen für mehrere aufeinanderfolgende Kollektive gerechtfertigt. (Natürlich müssen die dabei vereinigten Meßergebnisse von gleichartig präparierten Kollektiven aus gleichartigen Sedimenten stammen!). Stärkere Schwankungen des B. alba/nana-Verhältnisses ergab die morphologische Bestimmung für die Folge der Kollektive 10 - 27 (Bölling und Mittlere Tundrenzeit). Zur Überprüfung und Dokumentation dieser Schwankungen wurden an einem Teil der betreffenden Kollektive zusätzliche Analysen an umfangreicheren Stichproben durchgeführt (Abb. 20 c: "Analysen zur Kontrolle ...").

Älteste Tundrenzeit - DR 1 (Koll. 1 - 9). In Übereinstimmung mit dem morphologischen Befund spricht die starke negative Schiefe der Verteilungen für B. alba-Dominanz und starke B. nana-Beteiligung.

Bölling und Mittlere Tundrenzeit - BÖ und DR 2 (Koll. 10 - 23 - 27). Die starken Schwankungen der Betula-Häufigkeit zu Beginn von BÖ beruhen nach der morphologischen Differenzierung auf wechselnder Häufigkeit von B. alba. Bestätigung dieses Befundes liefern sowohl die Bewertung der "differenzierten" PGH-Verteilungen als auch die Schwankungen der PEARSON-Schiefe: Während für die Kollektive 11 und 14 (Betula-Häufigkeit zwischen 30 und 35 %) maximal negative oder sogar hohe positive Schiefe starke bis dominierende B. nana-Beteiligung belegt, erweisen sich die Kollektive 12, 13 und 15 (Betula-Häufigkeit um 45 %) aufgrund geringerer und stets negativer Schiefe als deutlich B. alba-beherrscht. - Die gleichmäßig hohen Betula-Werte des späten BÖ sind ebenfalls vor allem Folge hoher B. alba-Häufigkeiten. - Die Schiefe der Kollektive 24 - 26 (Kontrollanalysen!) ist mit durchschnittlich -0.34 deutlich höher als die der BÖ-zeitlichen Kollektive 20 - 23 mit durchschnittlich -0.24: Beleg für die auch morphologisch ermittelte erneut stärkere B. nana-Beteiligung. Die geringere Birken-Häufigkeit in DR 2

ist also zumindest vorwiegend Folge von B. alba-Rückgang. (Zu den Unterschieden im morphologisch bestimmten B. alba/nana-Verhältnis, die sich bei Erst- und Kontroll-Analysen ergeben haben, vgl. die Angaben unter (b), p. 56. Auf die gute Übereinstimmung der durch die beiden Analysen-Serien ermittelten Veränderungen des B. alba/nana-Verhältnisses sei hingewiesen.)

Alleröd und Jüngere Tundrenzeit - AL und DR 3 (Koll. 28 - 63 - 110). Nach der morphologischen Differenzierung sind sowohl die AL-zeitlichen Kollektive als auch die der frühen DR 3 (bis einschließlich 88, doch ohne 70 - 72) B. nana-arm. Diesem Befund stehen zwar z. T. erhebliche, auf höhere B. nana-Anteile weisende Schiefe-Werte gegenüber. Möglicherweise sind aber diese Werte nicht auf B. nana allein, sondern auch auf schlecht entwickelte B. alba-Pollen zurückzuführen. Zumindest ist auffällig, daß zahlreiche kleine Pollen nicht bestimmbar waren. Wird trotz hieraus resultierender Bedenken die Schiefe der genannten Kollektive als Maßstab für die Veränderungen des B. nana-Anteils genommen, so ergeben sich in Übereinstimmung mit dem morphologischen Befund für den Beginn und vor allem das Ende von AL (hier auch ein Minimum des Variationskoeffizienten!) besonders niedrige Werte. Größere B. nana-Häufigkeit wäre nicht nur – wie auch schon morphologisch erkannt – für die Kollektive 44 - 48 anzunehmen, sondern zusätzlich für die Kollektive 37 - 43, d. h. für den AL-Abschnitt b (vgl. Diagramm). - Für die morphologisch ermittelte höhere B. nana-Häufigkeit um die Wende AL / DR 3 liefern weder Schiefe noch "differenzierte" PGH-Verteilung klare Belege. Eindeutig stärkere B. nana-Beteiligung zeigen lediglich die Kollektive 70 - 72. Ebenso eindeutig ist die starke B. nana-Beteiligung an den Kollektiven der späten DR 3 (Koll. 89 - 110).

Präboreal - PR (Koll. 111 - 119). Trotz der geringen Stichprobenumfänge (die eine Bewertung der Schiefe nicht gestatten) belegen die PGH-Verteilungen der präborealen Kollektive zweifelsfrei schnellen und offenbar ± vollständigen Rückgang von B. nana.

ABB. 18a KUBITZBERGMOOR ANALYSE DER BIRKENPOLLEN-KOLLEKTIVE

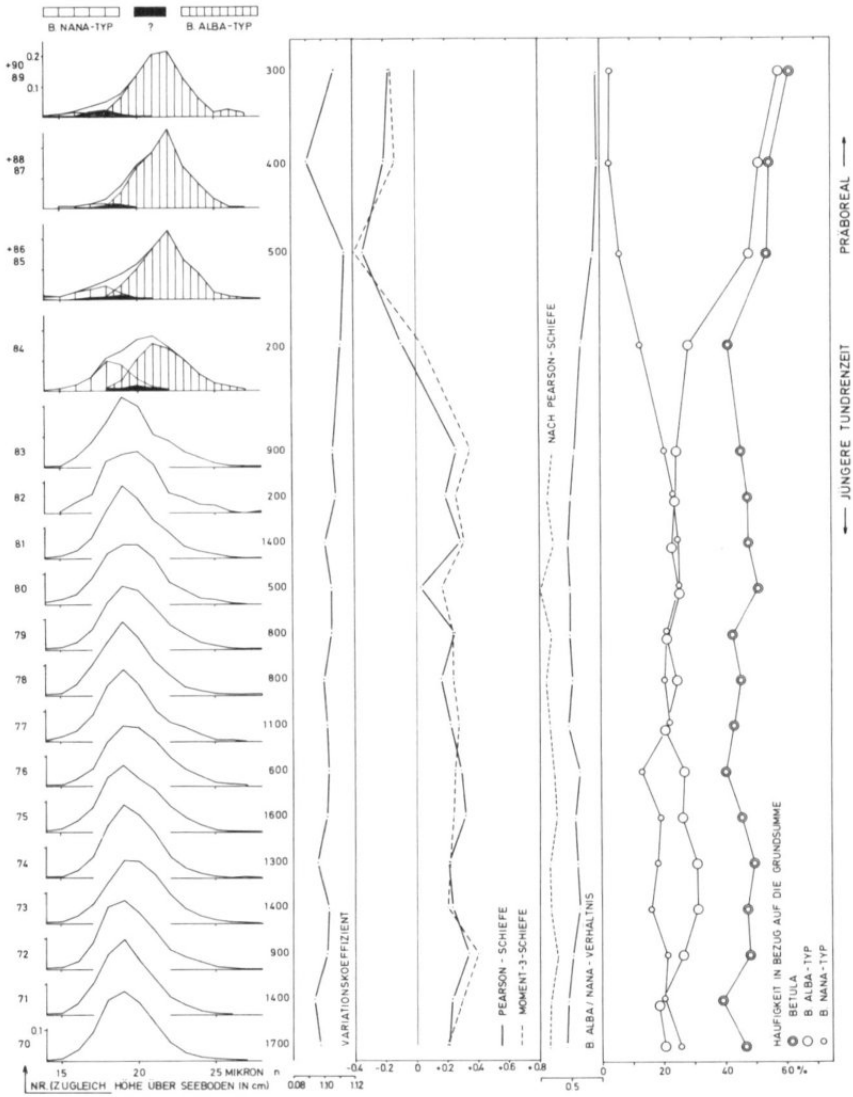


ABB. 18 b KUBITZBERGMOOR

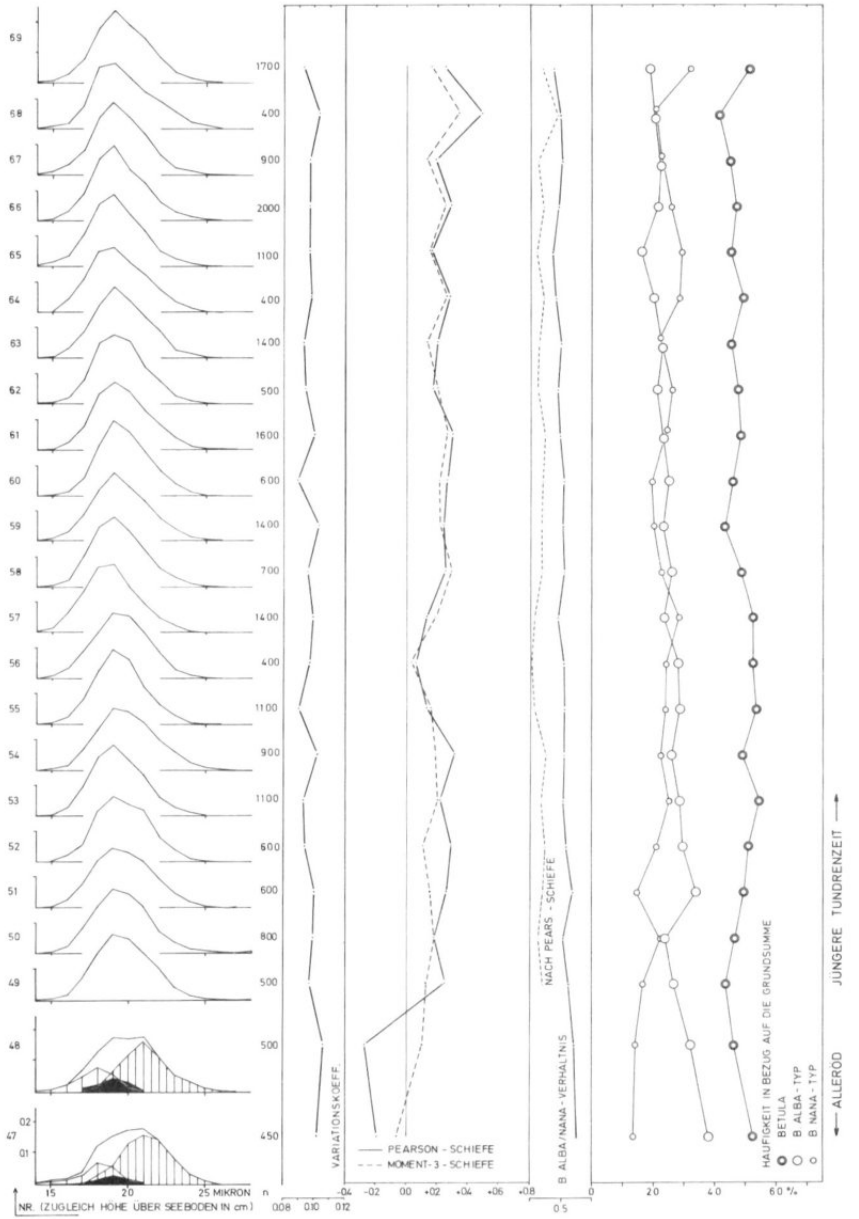


ABB. 18 c KUBITZBERGMOOR

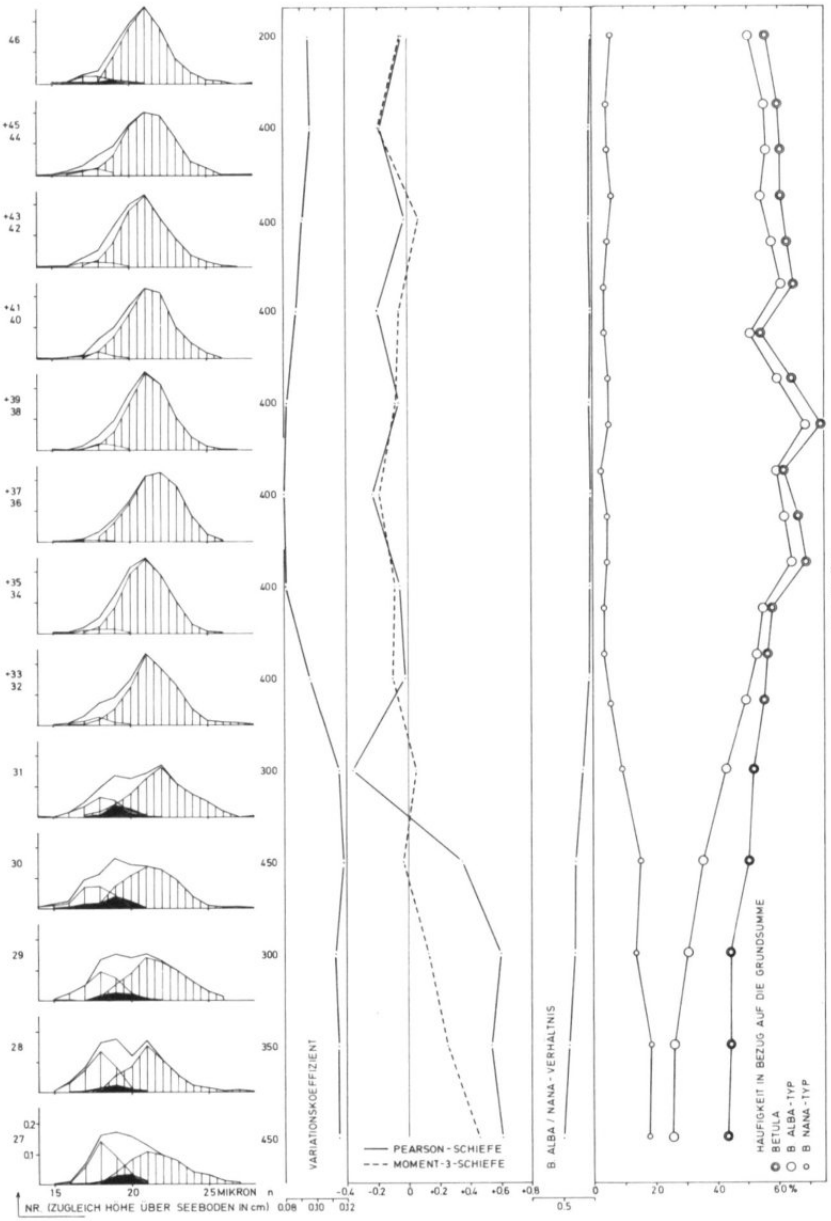


ABB. 18 d KUBITZBERGMOOR

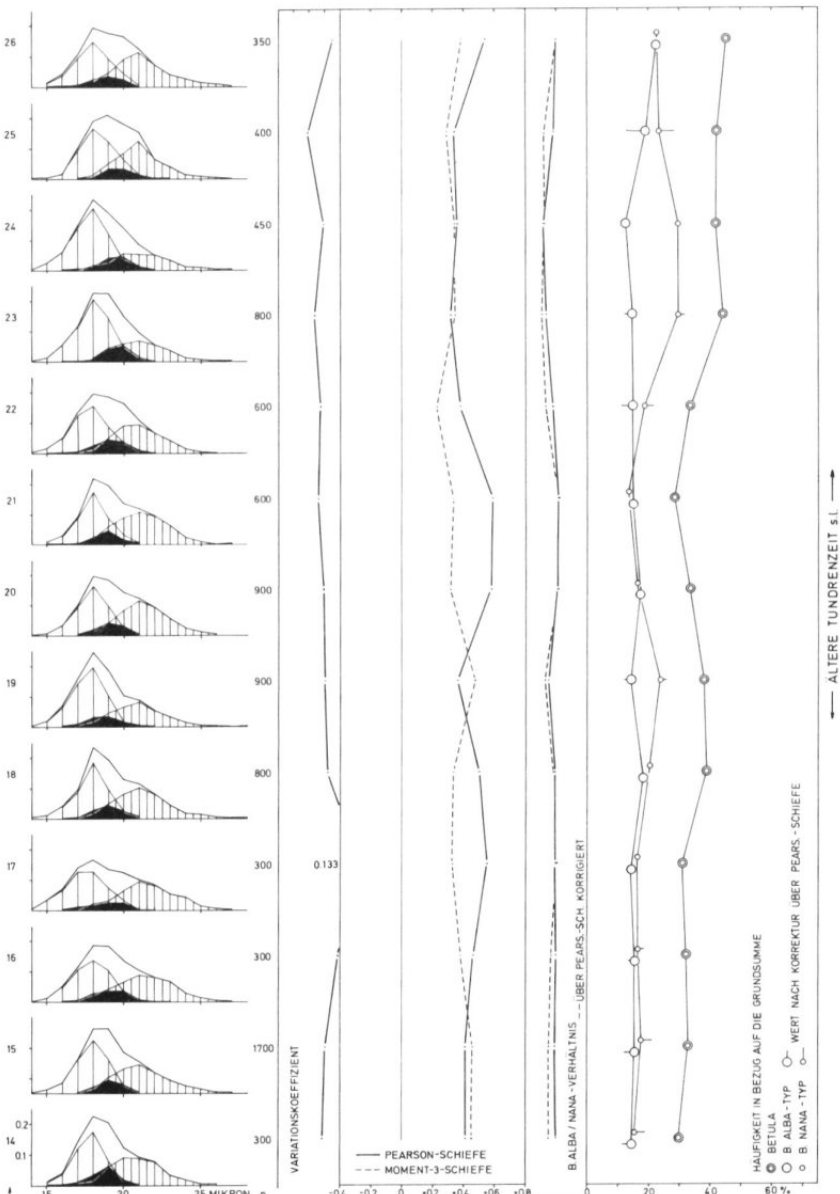
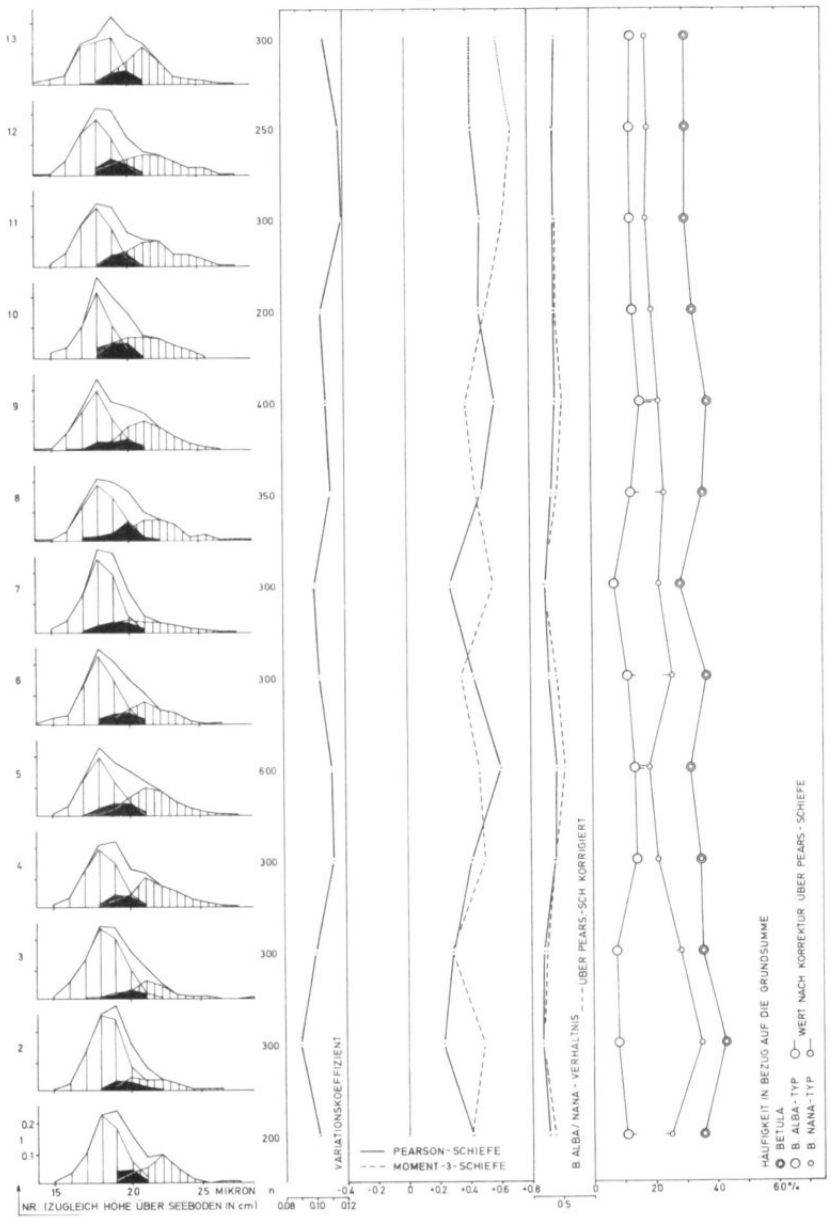


ABB. 18e KUBITZBERGMOOR



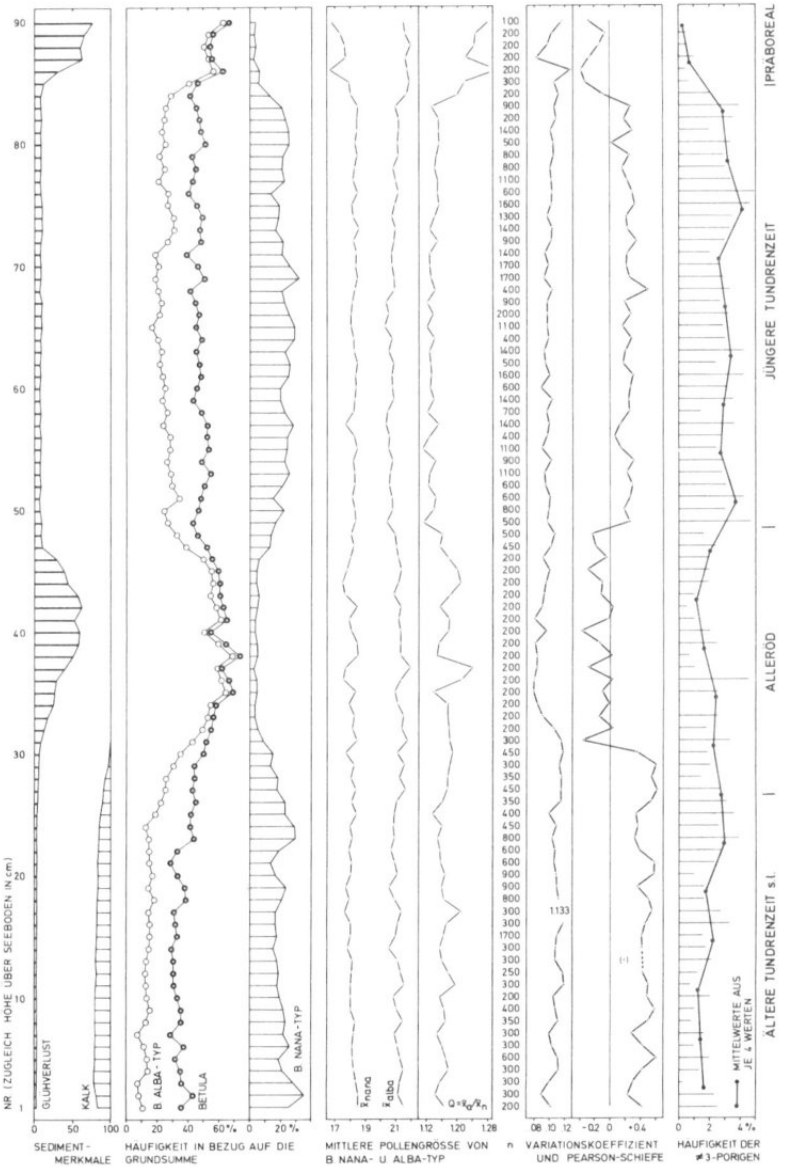


ABB. 19 KUBITZBERGMOOR ÜBERSICHT: ANALYSE DER BIRKENPOLLEN-KOLLEKTIVE

ABB. 20 a RABENSBERGMOOR ANALYSE DER BIRKENPOLLEN - KOLLEKTIVE

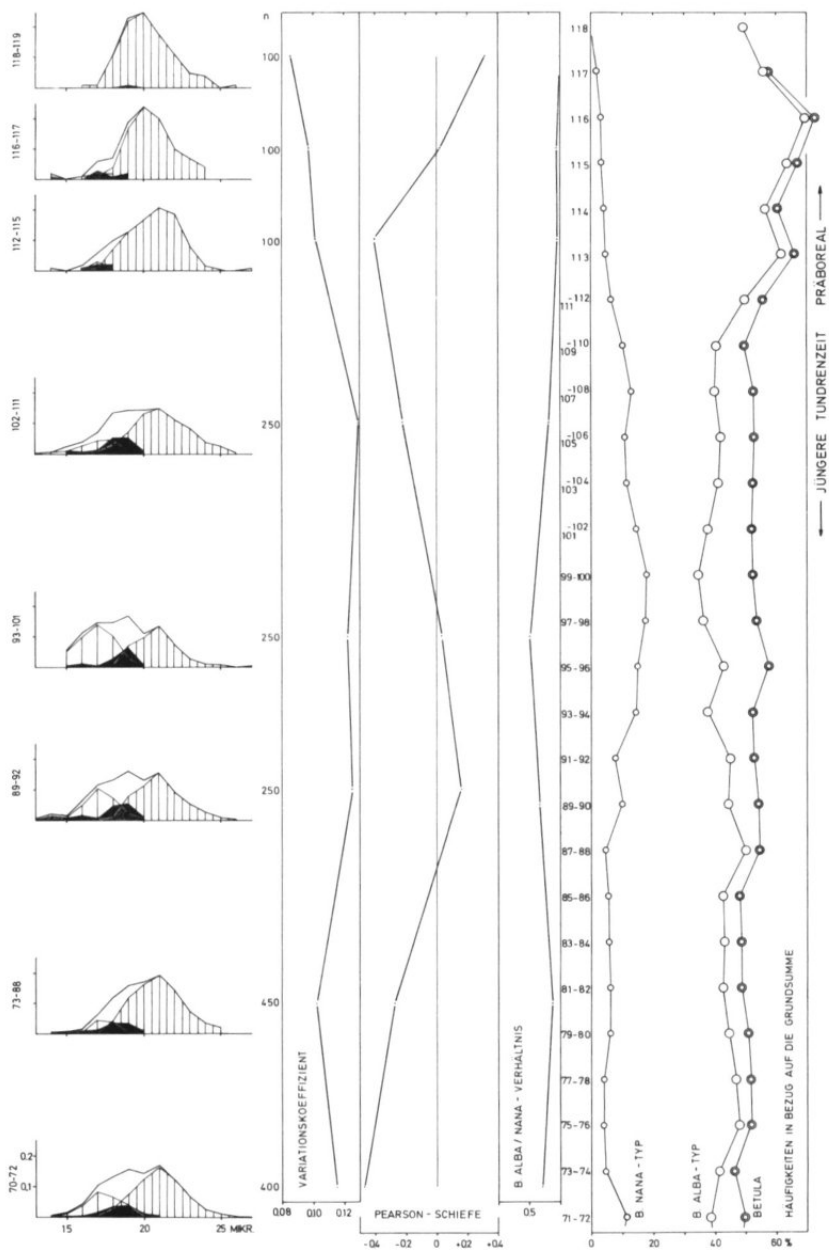


ABB. 20 b RABENSBERGMOOR

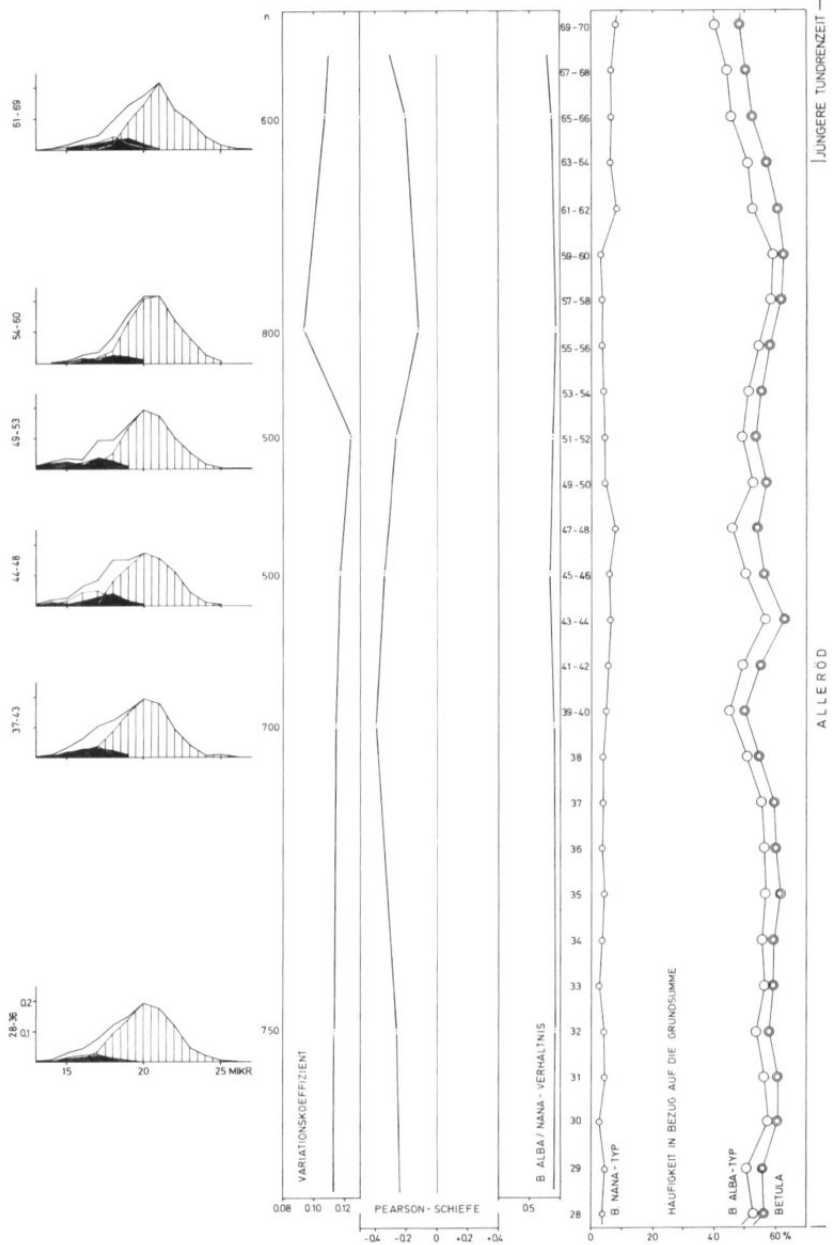
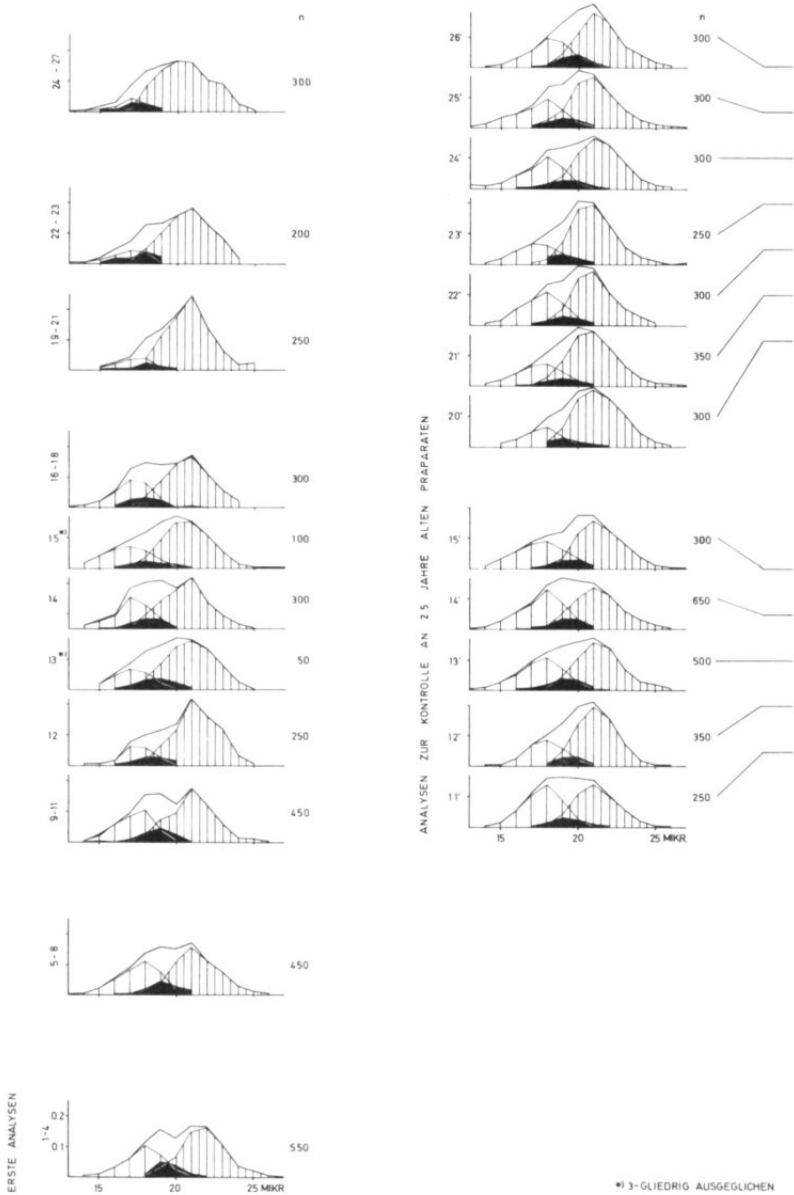
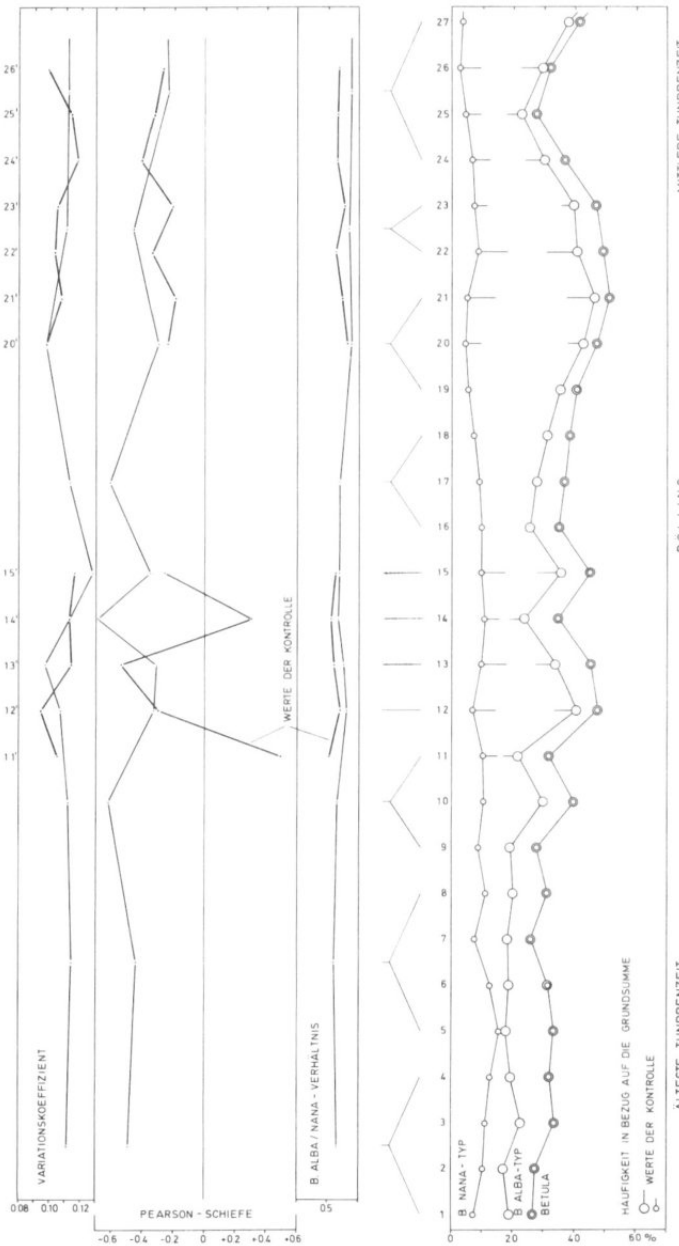


ABB. 20c RABENSBERGMOOR



*) 3-GLIEDRIG AUSGEGLICHEN


VARIATIONSKOEFFIZIENT
PEARSON - SCHIEFE
B. ALBA / NANA - VERHÄLTNIS
WERTE DER KONTROLLE
B. NANA - TYP
B. ALBA-TYP
BETULA
HÄUFIGKEIT IN BEZUG AUF DIE GRUNDSUMME
WERTE DER KONTROLLE
ÄLTESTE TUNDRENZEIT
BÖLLING
MITTLERE TUNDRENZEIT

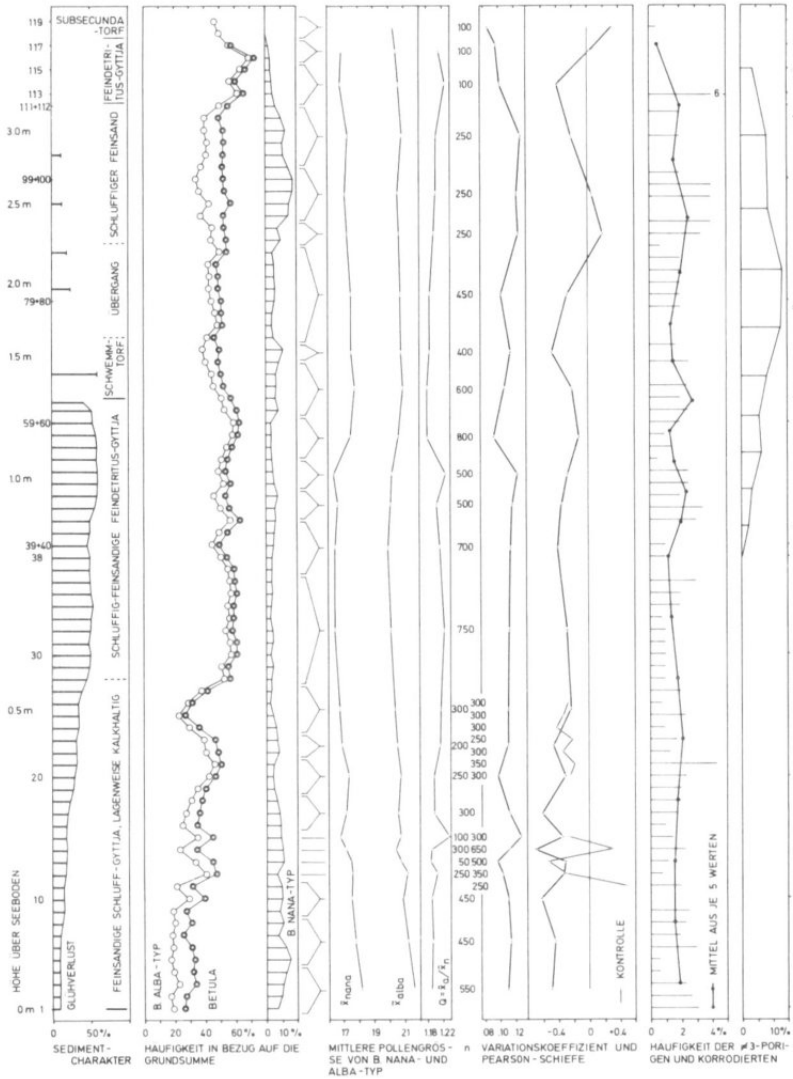


ABB. 21 RABENSBERGMOOR ÜBERSICHT ANALYSE DER BIRKENPOLLEN-KOLLEKTIVE

D 4 Der Fehler der PEARSON-Schiefe

Das Schiefe-Maß nach PEARSON verwertet die Tatsache, daß Dichtemittel D und Mittelwert $\bar{x}$ bei unsymmetrischen (schiefen) Verteilungen auseinanderfallen. Division der Differenz $\bar{x}$ - D durch die Streuung s dient der direkten Vergleichbarkeit der Schiefe-Werte von Verteilungen unterschiedlicher Streuung:

$$S_P = (\bar{x} - D) / s .$$

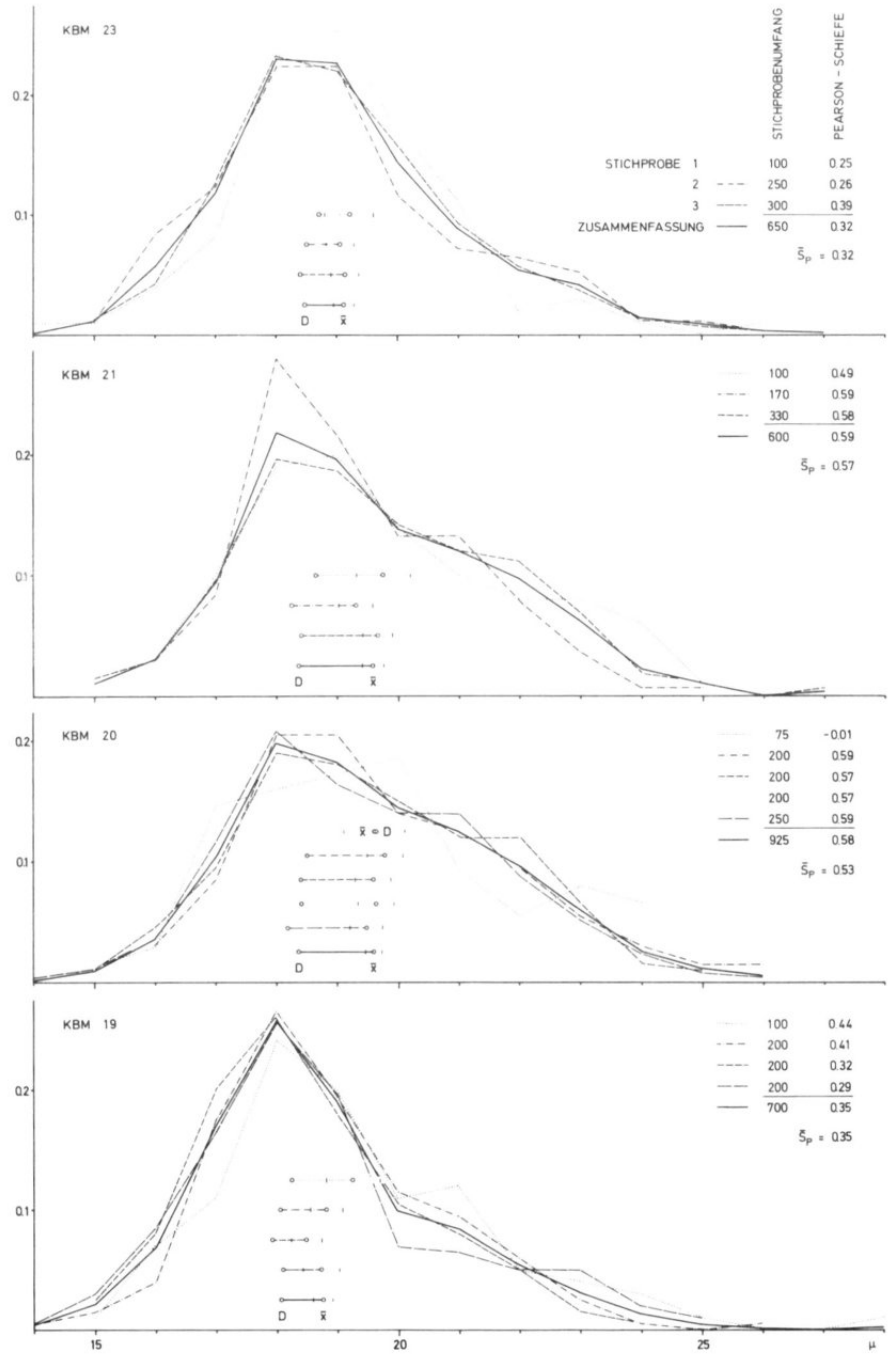
Da das Dichtemittel einer Stichprobe nur geschätzt werden kann (vgl. p. 78 unter "D"), ist auch die PEARSON-Schiefe nur ein Schätzwert. Die Abweichungen der Stichproben-Schiefe-Werte vom Schiefe-Wert der Grundgesamtheit sind also nicht allein zufallsbedingte Stichprobenfehler und können demgemäß auch nicht einer exakten Fehlerabschätzung unterworfen werden: ein vom Stichprobenumfang abhängiger Mittlerer Fehler läßt sich für die PEARSON-Schiefe kaum angeben (vgl. SACHS 1971, p. 77).

Nun sind bei den Birkenpollen-Kollektiven KBM 1 - 27 die Schwankungen der morphologisch bestimmten B. alba-Anteile anhand der PEARSON-Schiefe überprüft und z.T. korrigiert worden (p. 57: Ältere Tundrenzeit s.l.). Daher soll wenigstens für die Schiefe-Werte dieser Kollektive eine grobe empirische Fehlerabschätzung vorgenommen werden. Grundlage dieser Abschätzung sind Schiefe-Werte von unterschiedlich umfangreichen Stichproben aus ein und derselben Grundgesamtheit, wie sie sich bei wiederholten Kontrollmessungen an einem Teil der genannten Kollektive ergeben haben: Abb. 22.

Zur direkten optischen Beurteilung sind in der Abbildung zugleich die PGH-Verteilungskurven für die einzelnen Stichproben und deren Zusammenfassung dargestellt und die zugehörigen Differenzen $\bar{x}$ - D als Strecken eingetragen.

Die Bewertung der Angaben in Abb. 22 ergibt, daß im Fall der abgebildeten Verteilungen bereits Stichproben von n = 200 bis 300 größenordnungsmäßig zumeist gut vergleichbare Schiefe-Werte liefern. Die Abweichungen der einzelnen Stichprobenwerte gegenüber ihrem gemeinsamen gewichteten Mittel $\bar{S}_P$ sind nur in ganz wenigen Fällen größer als 0.06, vielfach aber deutlich kleiner. Da angenommen werden kann, daß das gewichtete Mittel aus den Schiefe-Werten mehrerer Stichproben dem Schiefe-Wert der Grundgesamtheit bereits sehr nahe kommt, kann geschlossen werden, daß der Fehler von Schiefe-Werten für Stichproben mit $n \geq 200$ die Grenzen ± 0.06 im allgemeinen nicht überschreitet.

Andererseits zeigen die Stichproben aus dem Kollektiv KBM 18, daß bei Stichprobenumfängen von n = 200 gelegentlich noch erhebliche Fehler auftreten können. Zwar ist zu erkennen, daß die stärkste Abweichung (Stichprobe 1 mit $S_P = 0.72$) nicht auf einem abweichenden D, sondern einem ungewöhnlich hohen $\bar{x}$ beruht, das ausweislich der Fehlergrenzen zumindest auf dem 95%-Signifikanzniveau vom gemeinsamen $\bar{x}$ der Stichproben unterschieden ist. Doch selbst wenn Stichprobe 1 als Ausreißer eliminiert wird und sich das gemeinsame $\bar{x}$ auf 0.43 erniedrigt, weichen die Stichproben 3 und 4 mit $S_P = 0.34$ bzw. 0.53 erheblich ab.


KBM 23
STICHPROBENUMFANG
PEARSON - SCHIEFE
STICHPROBE 1 100 0.25
2 250 0.26
3 300 0.39
ZUSAMMENFASSUNG 650 0.32
$\bar{S}_p$ = 0.32
KBM 21
100 0.49
170 0.59
330 0.58
600 0.59
$\bar{S}_p$ = 0.57
KBM 20
75 -0.01
200 0.59
200 0.57
200 0.57
250 0.59
925 0.58
$\bar{S}_p$ = 0.53
KBM 19
100 0.44
200 0.41
200 0.32
200 0.29
700 0.35
$\bar{S}_p$ = 0.35
0.2
0.1
D
$\bar{x}$
15
20
25
μ

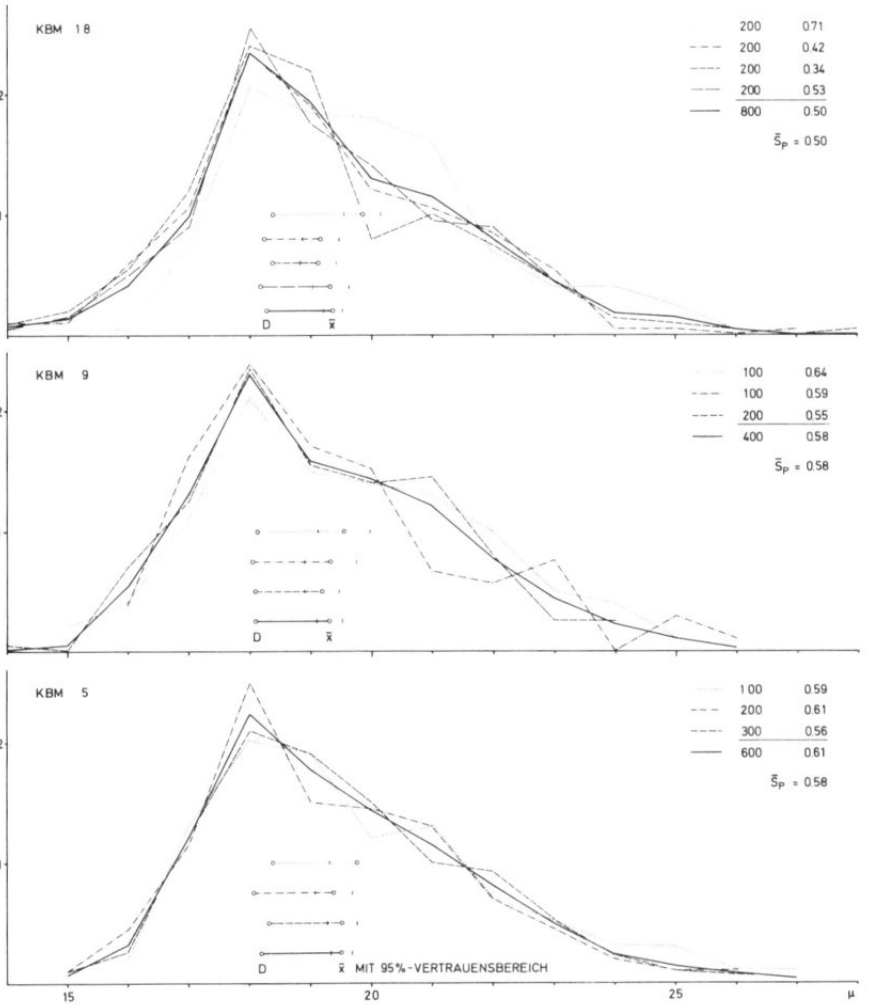


Abb. 22 Zur Beurteilung der Streuung des Schätzwertes PEARSON-Schiefe: mehrfache Bestimmung des Wertes an Birkenpollen-Kollektiven des Profiles KBM, DR 3. $\bar{S}_P$: gewichtetes Mittel aus den Einzelbestimmungen; als Gewichte dienten die Stichprobenumfänge.

Nach Abb. 17, p. 58, entsprechen Schiefe-Unterschiede von ± 0.06 Unterschieden im B. alba-Anteil von immerhin 6 %. Da aber derartige Unterschiede bereits bei Stichprobenumfängen von n = 200 oder 300 selten sind und den Schiefe-Werten für die Kollektive KBM 1 - 27 z.T. weit umfangreichere Stichproben zugrunde liegen, kann kaum bezweifelt werden, daß die Schwan-

kungen des B. alba-Anteils, die sich für die Folge dieser Kollektive aufgrund von deren unterschiedlicher Schiefe ergeben haben, zumindest grossenteils real sind. Daß andererseits die über die PEARSON-Schiefe korrigierten B.alba-Anteile nicht im Einzelfall zuverlässig sind, ist ebensowenig zu bezweifeln. Abweichende und nicht durch Nachbarwerte gestützte Schiefe-Werte sind also genauso kritisch zu bewerten, wie auf einzelne Spektren beschränkte Abweichungen von Pollenhäufigkeiten.

Die Ergebnisse der Fehlerbetrachtung für die PEARSON-Schiefe-Werte der schmalgipfeligen PGH-Verteilungskurven von KBM 1 - 27 dürfen natürlich nicht verallgemeinert werden. Bei Verteilungskurven, deren Gipfel von mehreren ± gleich stark besetzten Größenklassen gebildet werden, können sich selbst bei großen Stichprobenumfängen noch erhebliche Abweichungen ergeben (vgl. die Ergebnisse der 1. und 2. Messung am Kollektiv RBM 14, Abb. 20c).

IV E ANHANG

E 1 Symbole, Definitionen und Berechnung der Statistiken

b Klassenbreite: Abstand zwischen den Mitten zweier benachbarter Größenklassen.

D Dichtemittel, Modalwert: der häufigste Stichprobenwert. Zur Abschätzung von D bei in Klassen eingeteilten Meßreihen wird das Häufigkeitspolygon im Bereich der 3 am stärksten besetzten Klassen durch eine Näherungsparabel ersetzt und deren Scheitelpunkt-Abszisse als D genommen.

E Exzeß, Wölbung: Maß für Hoch- bzw. Flachgipfeligkeit im Vergleich zur Normalverteilung.

H Relative Häufigkeit, Anteil (in Teilen von 1 oder in %).

k Faktor als Maß für Größen-Veränderungen: sind $\bar{x}$ bzw. $\bar{x}_k$ die Mittlere Pollengröße vor und nach einer Größen-Veränderung, so ist $k = \bar{x}_k/\bar{x}$.

M Mischungsverhältnis H_1/H_2 zweier Komponenten.

n Stichprobenumfang: Anzahl der pro Stichprobe gemessenen Elemente (Pollen).

Q Relativer Unterschied zwischen den Mittleren Pollengrößen zweier Arten: $Q = \bar{x}_2/\bar{x}_1$ mit $\bar{x}_2 > \bar{x}_1$.

s Streuung, Standard- oder Mittlere Abweichung.

S_3 Schiefheitsmaß über das 3. Potenzmoment, "Moment-3-Schiefe":

$$S_3 = \frac{\Sigma z_i(x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} \qquad (z_i = \text{Klassenhäufigkeiten; } x_i = \text{Klassenmitten}).$$

Dieses Schiefheitsmaß ist gemäß $(x_i - \bar{x})^3$ gegenüber extremen Meßwerten (z.B. Pollen extremer Größe) äußerst empfindlich. Da extreme Meß-

werte als seltenene Ereignisse stark zufallsbedingte Häufigkeitsschwankungen zeigen, ist auch der Schiefe-Wert stark zufallsabhängig. Das kann durch systematische beidseitige Stutzung der Verteilungen eingeschränkt werden. Eine Stutzung, die alle Werte außerhalb der Grenzen $\bar{x} \pm 2{,}58s$ ausschließt, dabei aber den jeweils ersten Wert außerhalb der Grenzen gemäß seinem Abstand von der Grenze berücksichtigt, erwies sich als sinnvoll. Die 2.58s-Stutzung schneidet bei symmetrischen Verteilungen auf beiden Seiten 0.5 % der Werte ab. Um Vergleichbarkeit zu wahren, sind alle Werte für die Moment-3-Schiefe für gestutzte Verteilungen angegeben.

S_P Schiefheitsmaß von PEARSON, "PEARSON-Schiefe": $S_P = \frac{\bar{x} - D}{s}$.

V Variationskoeffizient, Variabilitätskoeffizient: die auf den Mittelwert bezogene Streuung: $V = s/\bar{x}$.

$\bar{x}$ Mittelwert, arithmetisches Mittel, Mittlere Pollengröße.

Die Statistiken wurden mit der "PDP 10" im Rechenzentrum der Universität Kiel berechnet. Das zu diesem Zweck von Herrn Dr. D. Mossakowski, Kiel, entworfene Programm gestattet außer der Berechnung der Statistiken für die Originaldaten:

(1) Eliminierung der Extremwerte durch Stutzung der Verteilungen und erneute Berechnung der Statistiken.

(2) 3gliedrige Ausgleichung der Verteilungen nach dem Verfahren der "gleitenden Durchschnitte": an die Stelle der einzelnen Klassenhäufigkeit tritt der Mittelwert aus dieser und den beiden benachbarten Klassenhäufigkeiten.

(3) Zeichnung der originalen und der ausgeglichenen PGH-Verteilungskurven.

E 2 Transformation von PGH-Verteilungen

Zur Überprüfung zweifelhafter Ergebnisse und Vergrößerung von Stichprobenumfängen wurden zahlreiche Birkenpollen-Kollektive mehrfach analysiert. Die PGH-Verteilungskurven umfassen in diesen Fällen die Ergebnisse mehrerer, zeitlich vielfach weit auseinanderliegender Messungen.

Bei der Zusammenfassung von PGH-Verteilungen, die zu sehr verschiedenen Zeitpunkten bestimmt wurden, war zu berücksichtigen, daß Pollen in Siliconöl langsam schrumpfen. Die einzelnen PGH-Verteilungen betreffen also nicht denselben Größenstatus; ihre direkte (additive) Vereinigung ist daher unzulässig. Vielmehr muß zuvor Transformation auf einen einheitlichen Größenstatus hin erfolgen, indem die zum jeweiligen Meßzeitpunkt hin erfolgte Schrumpfung bestimmt und durch entsprechende abszissen-parallele Verschiebung der PGH-Verteilungen rechnerisch rückgängig gemacht wird. Mit anderen Worten: eine Schrumpfung um den Faktor k_1, die sich an den Pollen eines Kollektivs vollzogen hat, ist durch rechnerisch simulierte Quellung um den Faktor $k_2 = 1/k_1$ auszugleichen.

Bei den hier untersuchten Kollektiven wurde Schrumpfung um maximal k = 0.97 entsprechend 3 % festgestellt. Der absolute Schrumpfungs-Betrag blieb also auch bei den größten Birkenpollen (um 28 µ) unter 1µ . Das bedeutet bei einer Klassenbreite von b = 1 µ, daß die Pollen aller Größenklassen bei Schrumpfung um diesen Faktor entweder in ihrer Klasse verbleiben, oder in die nächst kleinere, nicht aber die übernächste fallen. Für eine Transformation, die Quellung um 1/k simulieren soll, gilt also das umgekehrte. Unter diesen Umständen konnte die gewünschte Transformation näherungsweise aufgrund folgender Überlegung erfolgen:

Es sei x_i die Klassenmitte einer beliebigen Größenklasse und n_i die Anzahl bzw. Häufigkeit der in dieser Klasse enthaltenen Pollen. Gefragt ist nach der Anzahl (Häufigkeit) N_i der Pollen, die bei (simulierter) Quellung um Faktor k in die nächst größere Klasse fallen:

Ist k so groß, daß sich x_i um die Klassenbreite b vergrößert, gilt also

$$x_i \cdot k = x_i + b \qquad [1a] ,$$

so fallen praktisch alle n_i Pollen in die nächste Klasse und es ist

$$N_i \cong n_i \qquad [2a] .^{1)}$$

Ist k kleiner, so daß sich x_i nur um den Bruchteil b/z der Klassenbreite vergrößert, gilt also

$$x_i \cdot k = x_i + b/z \qquad [1b] , \qquad \text{mit } z \geq 1$$

so fallen nur

$$N \cong n/z \qquad [2b]^{1)}$$

in die nächste Größenklasse.

Da nach [1b]

$z = b/(k \cdot x_i - x_i)$, ergibt sich mit b = 1 aus [2b]

$$N_i = n_i(k \cdot x_i - x_i) \qquad [3] .$$

Nach [3] läßt sich für jedes nicht zu große k (s.o.) die gewünschte Transformation durchführen: Für jede Größenklasse wird durch Addition der aus der vorhergehenden Klasse hinzukommenden und Subtraktion der in die nächste Klasse fallenden Pollen die neue Klassenhäufigkeit ermittelt. Die erhaltenen Werte sind bei endlicher Klassenbreite Näherungswerte. Daher weichen Streuung und Schiefe der transformierten PGH-Verteilung gegenüber ihren Sollwerten ab. Bei einer Klassenbreite von b = 1µ sind die Abweichungen allerdings gering.

---

1) Die Gleichung gilt exakt nur bei unendlich kleiner Klassenbreite.

V DIE UNTERSUCHUNGSBEGIETE

(Topographie, Morphologie der Sedimentationsräume, Stratigraphie und stratigraphisch erkannte Seespiegelschwankungen, Sedimentationsstörungen).

Neben den üblichen Angaben zu den Untersuchungsgebieten sind im folgenden die Ergebnisse genauerer morphologischer und stratigraphischer Untersuchungen der Sedimentationsräume wiedergegeben. Anlaß zu diesen Untersuchungen waren vor allem die folgenden Gründe:

(1) Aus der Verbreitung und Ausbildung der Sedimente sind Rückschlüsse auf Seespiegelschwankungen möglich, die durch rein pollenanalytische Untersuchungen nicht erfaßbar sind. Seespiegelschwankungen, die nicht auf lokalen Ursachen beruhen, gestatten ihrerseits Aussagen über die Art klimatischer Veränderungen.

(2) Abfolgen limnischer Sedimente sind selten störungsfrei. Windinduzierte Strömungen, Seespiegelschwankungen und andere Phänomene können zu Sedimentationsunterbrechungen und Umlagerung älterer Sedimente geführt haben. Durch subaquatische Rutschungen können vielfältige Lagerungsstörungen verursacht worden sein.

Spätglaziale Seen lagen zumindest während der Tundrenzeiten in Wind-offener Landschaft. Klima-Schwankungen führten wiederholt zu Schwankungen ihrer Wasserspiegel. Tauendes Toteis kann ihre Form und Tiefe erheblich beeinflußt haben. Das bedeutet, daß bei spätglazialen Sediment-Abfolgen verstärkt mit Störungen zu rechnen ist und daß die Deutbarkeit spätglazialer Pollendiagramme ganz wesentlich von der Sicherheit bestimmt wird, mit der solche Störungen erkannt worden sind. Genauere Vorstellungen von der Morphologie eines Sedimentationsraumes, der Art und Verteilung seiner Sedimente können Hinweise auf Sedimentationsstörungen liefern, die selbst an Stichwänden nicht zu erkennen oder zu deuten sind.

(3) Spätglaziale Sedimente wurden häufig in kleinen, heute verlandeten Seen abgesetzt, deren ursprüngliche Größe nicht unmittelbar erkannt werden kann. Aus der heutigen Verbreitung ihrer Sedimente läßt sich die Mindestausdehnung der Seen zu bestimmten Zeiten ermitteln: der pollenanalytisch interessante Abstand zwischen Profil-Entnahmeort und ehemaligem Seeufer kann abgeschätzt werden. -

Die stratigraphisch erkannten Seespiegelschwankungen werden in Abschnitt VII C, p.151, mit pollenanalytischen Befunden verglichen und bewertet. Die pollenanalytischen Konsequenzen der Sedimentationsstörungen werden in Abschnitt VI, p. 109, behandelt.

[Zur Untersuchung der Sedimentationsräume wurden zahlreiche Bohrungen und Grabungen durchgeführt. Nivelliert wurde mit einer Schlauchwaage, da sich ein Theodolith auf den beweglichen Torfböden der Untersuchungsgebiete nicht sicher einsetzen ließ.]

V A DAS RABENSBERGMOOR

A 1 Topographie und Geologie (Abb. 23 und 24).

Im äußersten Norden Schleswig-Holsteins, ca. 4 km südöstlich des Grenzortes Süderlügum, liegt der durch Kiesabbau heute fast abgetragene Rabens-Berg. 1 km östlich des Berges finden sich in einer flachen Senke Reste eines nur etwa 4 ha großen Moores ("Rabensbergmoor").



Abb. 23 Lage der Untersuchungsgebiete und wichtige Eisrandlagen in deren Umgebung (nach: Deutscher Planungsatlas: Schleswig-Holstein, Karte 10). Maßstab 1 : 1250000

Das Moor liegt innerhalb ostwestlich streichender rißzeitlicher Höhen, die hier mit durchschnittlich 15 und maximal 30 m über NN (Karlum-Berg) den nordwestlichsten Teil der Hohen Geest Schleswigs bilden, bevor sie sich wenige km weiter westlich im marinen Holozän der Marsch verlieren. Nach einer rein morphologisch begründeten Deutung durch GRIPP (1958) sind diese Höhenzüge Moränen, die Rückzugsstadien eines westschleswigschen Gletscherlobus markieren.

Soweit Aufschlüsse erkennen lassen, bestehen die Höhen vorwiegend aus Sanden und Kiesen, die von ± mächtigen Flugsanddecken überlagert sind. Daß andererseits Geschiebemergel vielfach in geringer Tiefe ansteht, zeigen die zahlreichen, in der Topographischen Karte 1 : 25 000 verzeichneten Mergelgruben (vgl. vor allem die Erstausgabe von 1880). Die Flugsande sind stellenweise zu Dünen aufgeweht.

Das Relief zeigt die für Periglazialgebiete typische Ausgeglichenheit: Dem allgemeinen Abtrag durch die Erscheinungen periglazialer Erosion (Solifluktion, Deflation u.a.) sind praktisch alle Kleinformen zum Opfer gefallen. Einige markantere Formen dürften nur deshalb erhalten sein, weil hoher Kiesgehalt Solifluktion und Deflation in Grenzen hielt. So ist der Rabensberg nach GRIPP (1964, Anmerk. 98) als Kieshärtling aufzufassen. Dasselbe mag für die Höhe südöstlich Lexgaard gelten. - Durch verstärkte Akkumulation in Hohlformen dürften auch die Flugsande zum Relief-Ausgleich beigetragen haben.

2 a Rabensbergmoor: Sedimentationsraum und Sedimente

Im Altmoränen-Gebiet der Geest sind Seen seit der letzten Eiszeit selten. Wassergefüllte Hohlformen, wie sie das Riß-Eis zweifellos zahlreich hinterlassen hatte, wurden - wenn nicht schon im Eem verlandet - durch die genannten Würm-zeitlichen Periglazial-Erscheinungen verfüllt. Das muß vor allem bei kleinen Hohlformen angenommen werden. Daher überrascht, daß unter den Torfen des Rabensbergmoores limnische Sedimente gefunden wurden[1)], deren Alter und Ausdehnung einen kleinen spätglazialen See bezeugen, der in einer bemerkenswert akzentuierten Hohlform gelegen hat. Abb. 24 verdeutlicht die morphologische Sonderstellung dieser Hohlform: Ihr Boden erreicht mit etwa +8 m über NN das Niveau der Karlumau zwischen Lexgaard und Karlum! Abb.28 zeigt ein Profil: der randlich nur ganz schwach geböschte Seeboden fällt zum Zentrum erstaunlich steil ein (im Nord-Süd-Profil wurden maximal 18 % ermittelt!).

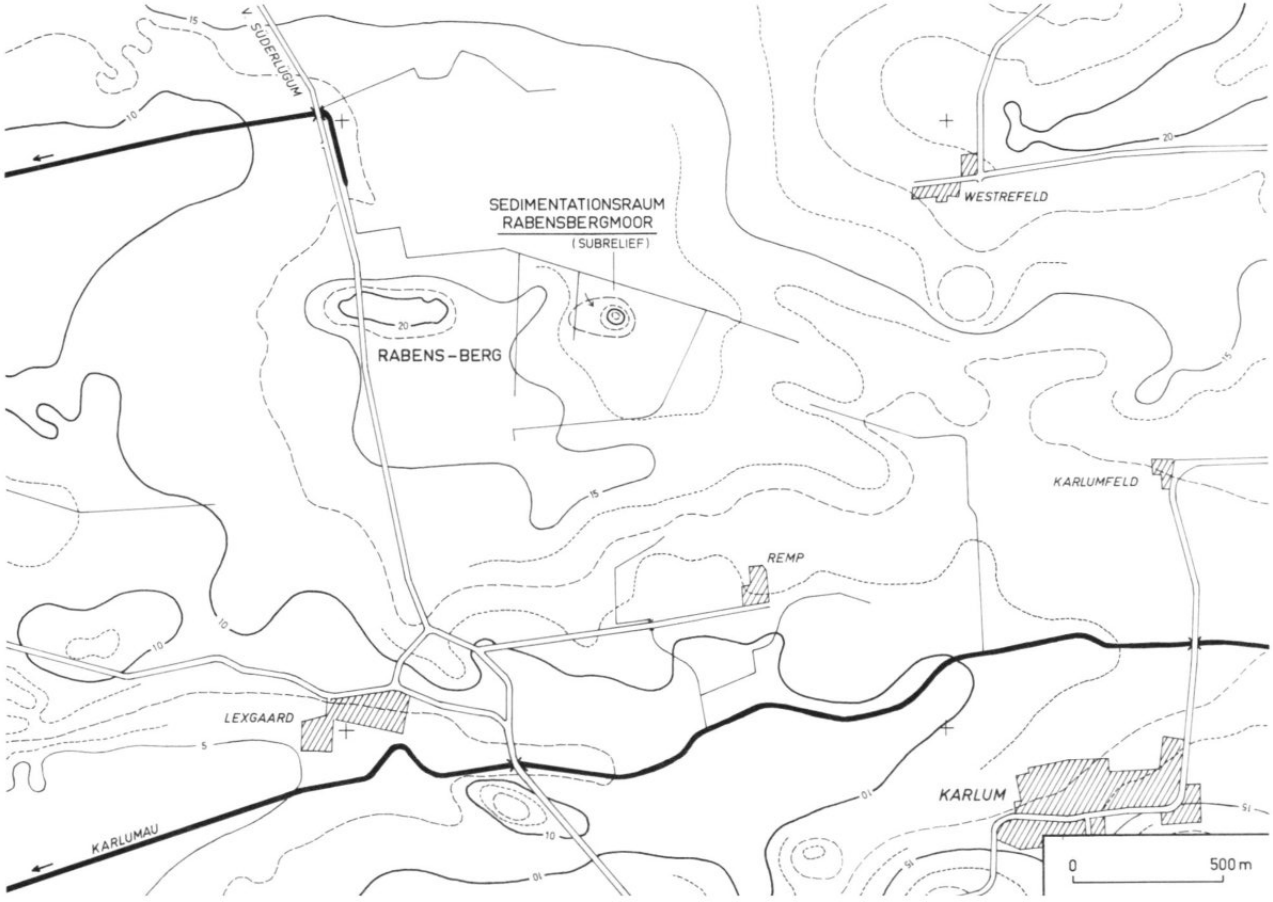
Die Deutung der Hohlform ist schwierig. Verschüttetes Toteis, das im Bereich der letzten Vereisung ähnliche Formen vielfach verständlich macht, kann hier offensichtlich nicht Ursache sein. Ebensowenig kann angenommen werden, daß ein dolinenartiger Einbruch über im Untergrund anstehenden Kreidekalken vorliegt. Derartige Einbrüche sind zwar von E. M. TODTMANN (1951) aus dem Gebiet hochanstehender Kreide um Lägerdorf (Itzehoe) bekannt geworden, sie können aber im nordwestlichen Schleswig, wo Kreide in größerer Tiefe liegt (WEBER 1957), ausgeschlossen werden.

Die Hohlform kann ebenfalls nicht als Windmulde gedeutet werden; denn Windmulden dürften - wenn nicht mit Dünenbildungen verknüpft - nur ganz geringe Tiefen erreichen (vgl. DÜCKER 1954, PICARD 1964). Dünen fehlen aber in der unmittelbaren Umgebung des Rabensbergmoores. Aus demselben Grund kann auch nicht an einen durch Dünen aufgestauten See gedacht werden.

So könnte die Hohlform Rabensbergmoor zu jenen Formen gehören, die inzwischen von mehreren Lokalitäten im Weichsel-periglazialen Europa bekannt und in den letzten Jahren als Reste von sogenannten Pingos gedeutet worden sind (MAARLEVELD / VAN DEN TOORN 1956, PISSART 1956 und 1958, MÜCKENHAUSEN 1961, PISSART 1963, PICARD 1961 und 1964 (Schleswig-Holstein), MITCHELL 1971 u.a.). Pingos als rezente Erschei-

---

1) Den Hinweis auf dieses Vorkommen verdanke ich Herrn Prof. Dr. K. Kubitzki, Hamburg.


v. SÜDERLÜGUM
SEDIMENTATIONSRAUM
RABENSBERGMOOR
(SUBRELIEF)
WESTREFELD
RABENS-BERG
KARLUMFELD
REMP
LEXGAARD
KARLUM
KARLUMAU
0
500 m

nungen sind in der Arktis und Subarktis Kanadas, Sibiriens und Grönlands beobachtet und untersucht worden (z.B. PORSILD 1938, HOLMES / HOPKINS / FOSTER 1968, MÜLLER 1959, Zusammenfassung bei MAARLEVELD 1965). Es handelt sich nach diesen Autoren um von Boden und Vegetation bzw. Lockergestein bedeckte Eishügel oder eishaltige Hügel aus Lockergestein, die sich im Bereich kontinuierlichen bis diskontinuierlichen Permafrostes über artesisch gespanntem Wasser oder auf dem Boden flacher (ehemaliger) Seen aufgebaut haben. Ihre Entstehung ist bislang nicht völlig geklärt. Sicher ist aber, daß sie nach Abtauen vielfach Seen hinterlassen, die von einem flachen, unregelmäßigen Wall umgeben sind. Solch ein Wall als Umrahmung einer Hohlform gilt auch als Charakteristikum fossiler Pingos. Er konnte in vielen Fällen unmittelbar beobachtet werden (z.B. MITCHELL 1971).

Im Fall der Hohlform Rabensbergmoor war dagegen ein oberflächlich erkennbarer Wall gar nicht zu erwarten. Denn wenn die Hohlform tatsächlich als Rest eines Pingo gedeutet werden kann, dann nur in ihrem tiefen zentralen Teil (Abb.28). Der Wall mußte also am Rand des tiefen Zentrums, d.h. unter Sedimenten vermutet werden. Ein Nachweis war nur möglich, indem das Relief des ehemaligen Seebodens durch Bohrung ermittelt wurde.

Da die limnischen Sedimente feinsandigem Mittelsand mit fast stets scharfer Grenze aufliegen (Phot. 1), konnte das Seeboden-Relief zu Beginn ruhiger limnischer Sedimentation sehr genau erfaßt werden. Dabei wurde am West-Rand der zentralen Hohlform tatsächlich ein ganz flacher, maximal etwa 30 cm hoher "Wall" erkannt. Sein Profil ist in Abb. 28, sein Verlauf in Abb. 25 (nächste Seite) wiedergegeben.

[Der aufgefundene Wall kann sicher nicht ein überzeugendes Indiz dafür sein, daß die Hohlform von einem Pingo hinterlassen wurde. Zweifel muß vor allem die folgende Überlegung wecken: Die limnischen Sedimente über dem Wall (und in den flachen Randbereichen der Hohlform außerhalb des Walles) können nur dann verstanden werden, wenn für die Zeit nach dem Abschmelzen des Pingo-Eises ein Anstieg des Gundwasserspiegels angenommen wird, der zu einer erheblichen Ausdehnung des anfänglich auf das tiefe Zentrum beschränkten Sees geführt hat. Daß diese Annahme berechtigt ist, wird im folgenden Abschnitt unter (a) erläutert. Zeitweise müßte der Wall also in flachem, bewegten Wasser gelegen haben. Warum er zu dieser Zeit - obwohl zumindest oberflächlich aus leicht zerspülbaren Sanden aufgebaut - nicht abgetragen wurde, ist schwer verständlich. (Das Innere des Walles, dessen Aufbau näheren Aufschluß hätte bringen können (vgl. MAARLEVELD / VAN DEN TOORN 1956), wurde nicht untersucht.]-

Abb. 24 Rabensbergmoor, Morphologie der Umgebung (nach der Topographischen Karte 1 : 25 000, Ausgabe 1880 und 1964) und Subrelief des Sedimentationsraumes.

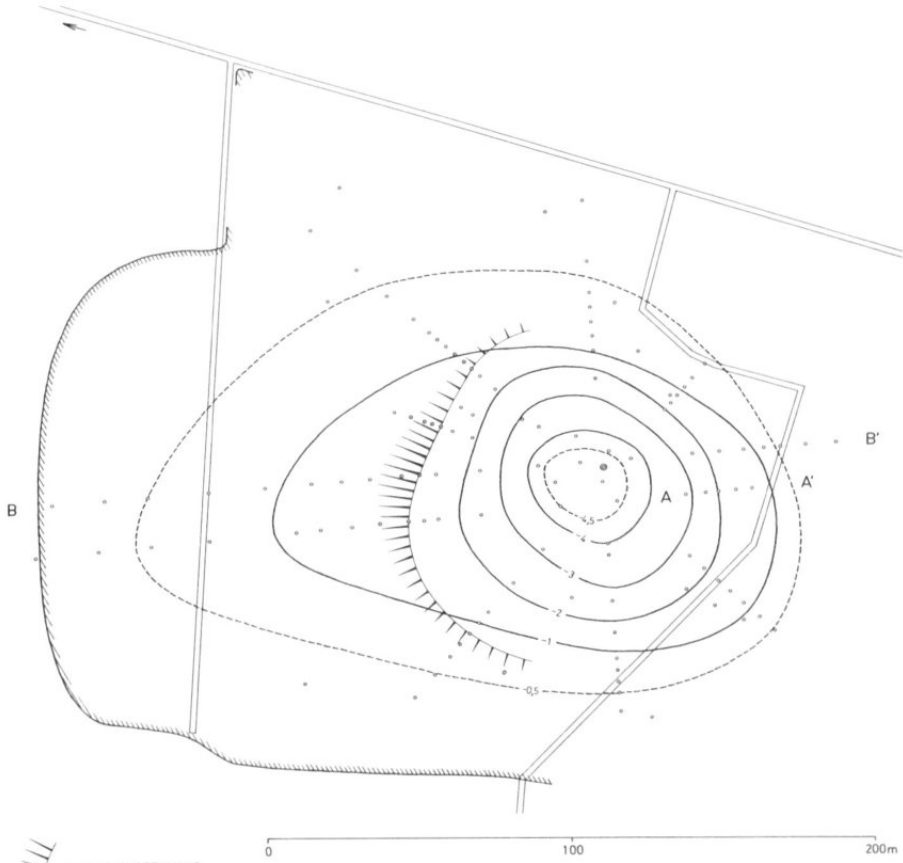


ABB. 25

SEDIMENTATIONSRAUM RABENSBERGMOOR

RELIEF DES SEEBODENS ZU BEGINN ± RUHIGER SEDIMENTATION

Die folgenden Angaben über die Eigenschaften und das Alter der Sedimente beziehen sich auf die auch pollenanalytisch untersuchte Abfolge im Zentrum der Hohlform [siehe das Diagramm; dort auch die Ergebnisse der Bestimmung von Glühverlust und NaOH-löslichen Huminstoffen (Dy)]:

cm über Seeboden	Eigenschaften (Deutung)	Alter
340 - ~700	Torfe, hier nicht gegliedert; nähere Angaben bei KUBITZKI (1961)	
317 - 340	Dunkelbraune, plastische, feinsandig-schluffige Feindetritus-Gyttja [1].	PB
225 - 317	Bräunlich-gelber, schluffiger Feinsand mit Feindetritus (~10%) und grauweißen Feinsandlagen.	
180 - ~225	Übergangs-Sediment, z.T. in Form eines lagenweisen Wechsels von schluffigem Feinsand und Grobdetritus.	
126 - ~180	Dunkelbrauner, unten sehr mineralarmer Braunmoos-Schwemmtorf (Grobdetritus-Gyttja) mit Scorpidium cf. scorpioides-Resten als Hauptkomponente, mit Blättern, bzw. Blattfetzen und blattlosen Ästchen von Sphagnum, Blättern von B. nana sowie kleinen Stücken von Baumbirken-Holz. Aufwärts feiner und - z.T. lagenweise - reicher an Schluff und Feinsand. An der stets scharfen Untergrenze vielfach eine dünne Feinsand-Lage.	DR 3
55 - 126	Feinsandig-schluffige Feindetritus-Gyttja in 2 deutlich, wenngleich nicht scharf geschiedenen Ausbildungen: von 55 - 86 cm (leber-)braun, gleichmäßig feinschichtig, ebenspaltend, elastisch (Algen-Gyttja!), arm an Dy (2 - 3%) und Grobdetritus; nur in den oberen 10 cm reicher an Sproßstücken von Scorpidium, hier auch gröberer Sand in Schmitzen und dünnen Lagen; um 70 cm Baumbirken-Blätter. Von 86 - 126 cm bräunlich oliv-grün, plastisch, wenig Grobdetritus (vor allem Scorpidium), reicher an Dy (4 - 7%).	AL
0 - 55	Grünlich-schwarze, feinsandige Schluff-Gyttja mit ± deutlichen Kalk und Eisenocker führenden, gelblichen Lagen (Phot. 1). Kalkgehalt der hellsten Lagen >10%, der der dunkelsten <1%; nesterweise Vivianit. Aufwärts reicher an organischen Anteilen und zunehmend elastisch. Bei 23 und 27 cm (Beginn von Bölling) je eine distinkte, ca. 1 mm starke Grobdetritus-Lage. An Großresten vor allem Sproßstücke von Scorpidium.	DR 2 BÖ DR 1
<0	Hellgrüner, feinsandiger Mittelsand mit weniger als 5% Schluff. Nach Körnung, Kornform und -oberfläche sehr wahrscheinlich Flugsand.	

1) Mit "Gyttja" werden hier im Anschluß an L.V. POST / GRANLUND (1926), LUNDQVIST (1927), NAUMANN (1930) und LUNDQVIST (1940) - z.T. zitiert nach GROSSE-BRAUCKMANN (1961) - limnische Sedimente mit geringen Dy-Anteilen (<20%) und mehr als 10% organischer Substanz bezeichnet. Zur näheren Charakterisierung dienen jeweils die Hauptkomponenten. - Unter Schluff (silt) werden Korngrößen zwischen 2 und 60µ verstanden.

2 b Rabensbergmoor: Seespiegelschwankungen und Sedimentationsstörungen

Der Wechsel in der Ausbildung der im vorigen Abschnitt beschriebenen Sedimente ist im wesentlichen direkte oder indirekte Folge großklimatischer Veränderungen. Faktoren wie Wassertiefe und Uferentfernung hatten sicher nur modifizierenden Einfluß. Umgekehrt kann angenommen werden, daß zur selben Zeit im ganzen Sedimentationsraum ähnliche Sedimente gebildet worden sind (von den Flachwasserbereichen sei abgesehen). Das im Zentrum pollenanalytisch ermittelte Alter der verschiedenen Sedimenttypen gilt also in deren gesamten Verbreitungsgebiet. Dies ist die Voraussetzung für die folgenden Annahmen über Stand und Schwankungen des Seespiegels:

(a) Vor-allerödzeitliche Stillwasser-Sedimente sind auf das tiefe Zentrum der Hohlform beschränkt. Dagegen liegen ganz ruhig sedimentierte Feindetritus-Gyttjen des frühen AL auch in den flachen Randbereichen. Folglich hat zum AL-Beginn eine Anhebung der Sedimentationsgrenze[1] stattgefunden, deren wahrscheinlichste Ursache ein Anstieg des Seespiegels ist. Möglicherweise haben aber auch geringere Wasserbewegungen als Folge geringerer Windgeschwindigkeiten eine Rolle gespielt. Die Tatsache, daß die höchsten Stillwasser-Sedimente des AL dem Mittelsand des Seebodens unmittelbar aufliegen (z. B. Stichwand 40", Abb. 28), mag auf eine zeitweilig sehr schnelle Anhebung der Sedimentationsgrenze deuten.

(b) Am Ostrand der Hohlform finden sich in bestimmter Tiefe zwischen ± ruhig abgesetzten AL-Feindetritus-Gyttjen Absätze des bewegten Flachwassers in Form von sand- und grobdetritusreichen Mudden oder dünnen Feindetritus-Lagen, die mit Sand-Lagen wechseln (Abb. 26, Bohrung 19" und 21). Die Feindetritus-Gyttjen unter und über den Flachwasserabsätzen entsprechen morphologisch der unteren bzw. oberen Ausbildung der AL-Feindetritus-Gyttja, wie sie aus dem Tiefsten der Hohlform beschrieben wurde (p. 87). Die Flachwasserabsätze gehen zum Tieferen in Feindetritus-Gyttjen über, die durch höhere Anteile an Grobdetritus (vor allem Scorpidium-Reste) und Sand ausgezeichnet sind. Im Tiefsten gehören diese Sedimente nach pollenanalytischem Befund in das mittlere AL (ALb - vgl. das Diagramm). Die Flachwasserabsätze am Ostrand der Hohlform deuten damit auf einen Seespiegeltiefstand zu dieser Zeit. (Wenn in den Bohrungen 20" und 20' nur die obere AL-Feindetritus-Gyttja angetroffen wurde, so darf daraus nicht auf einen höheren Seespiegelstand im späten AL gegenüber dem im frühen geschlossen werden. Die untere Feindetritus-Gyttja könnte abgesetzt, im mittleren AL aber wieder abgetragen worden sein.)

(c) Der Braunmoos-Schwemmtorf der frühen DR 3, der den Feindetritus-Gyttjen des AL mit stets auffallend scharfer Grenze aufliegt, könnte gedeutet werden, indem ein rascher Anstieg des Seespiegels angenommen wird, der zur Erosion telmatischer Torfe in den flachen Randbereichen des Sedimentationsraumes geführt hat. Eine andere Deutung, die möglicherweise auch die scharfe Grenze zur Gyttja erklärt und keinen Seespiegelanstieg voraussetzt, wird im Zusammenhang mit entsprechenden Beobachtungen im Kubitzbergmoor diskutiert (Abschnitt 2 b, p. 98).

---

1) Mit "Sedimentationsgrenze" wird hier nach LUNDQVIST (1927) die Obergrenze der konsolidierten Sedimente bezeichnet.

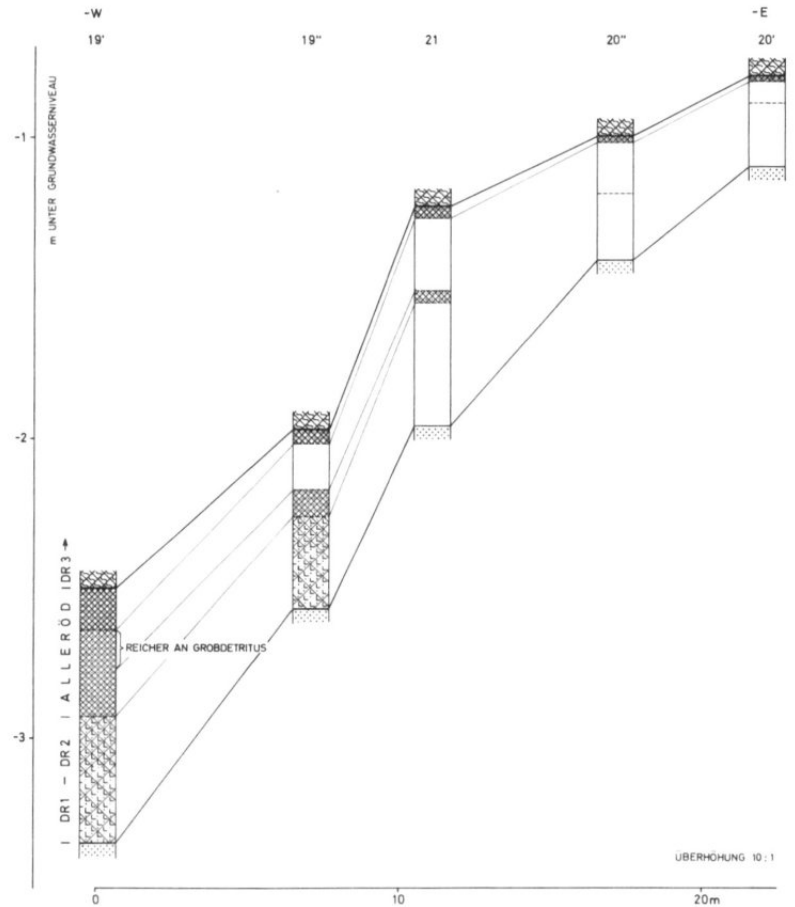


Abb. 26 Rabensbergmoor. Profil A-A' (vgl. Abb. 25). Sediment-Symbole vereinfacht nach TROELS-SMITH (1955); Weiße Flächen: Sedimente des bewegten Wassers.

(d) Die präboreale Feindetritus-Gyttja ist wieder auf das Zentrum des nun fast verfüllten Sedimentationsraumes beschränkt, während der zuvor abgesetzte schluffige Feinsand der späten DR 3 bis in die flachen Randbereiche verfolgt werden kann. Danach scheint eine Wasserspiegelsenkung an der Wende DR 3 / PB stattgefunden zu haben. Wird aber berücksichtigt, daß selbst die tiefst gelegenen schluffigen Sande nach pollenanalytischem Befund Absätze ganz flachen Wassers sind, die höher gelegenen also oberhalb des Wasserspiegels abgesetzt sein können, so kann ein kurzzeitiger Wasserspie-

gelanstieg zum PB, wie ihn das Pollen-Diagramm sehr wahrscheinlich macht (Abschnitt VII C, p.151), stratigraphisch nicht ausgeschlossen werden.

Die scharfe Grenzfläche AL-Gyttja/DR 3-Schwemmtorf ist zweifellos Ausdruck einer erheblichen Störung im Ablauf der Sedimentation - gleichgültig, ob die unter (c) oder auf Seite 103 gegebene Deutung des Schwemmtorfes richtig ist. In beiden Fällen dürften die Absätze der frühen DR 3 teilweise aus umgelagerten AL-Material bestehen!

Zahlreiche Bohrungen im Zentrum des Sedimentationsraumes haben bei den vor-alleröd zeitlichen Sedimenten eine durchlaufende und offenbar störungsfreie Schichtung erkennen lassen (Abschnitt II A mit Phot. 1). Anzeichen für Störungen könnten indessen in den folgenden Beobachtungen gesehen werden: (1) bei 23 und 27 cm über dem Seeboden wurden in dem sonst fast nur Feindetritus führenden Sediment je eine distinkte, etwa 1 mm starke Grobdetri-

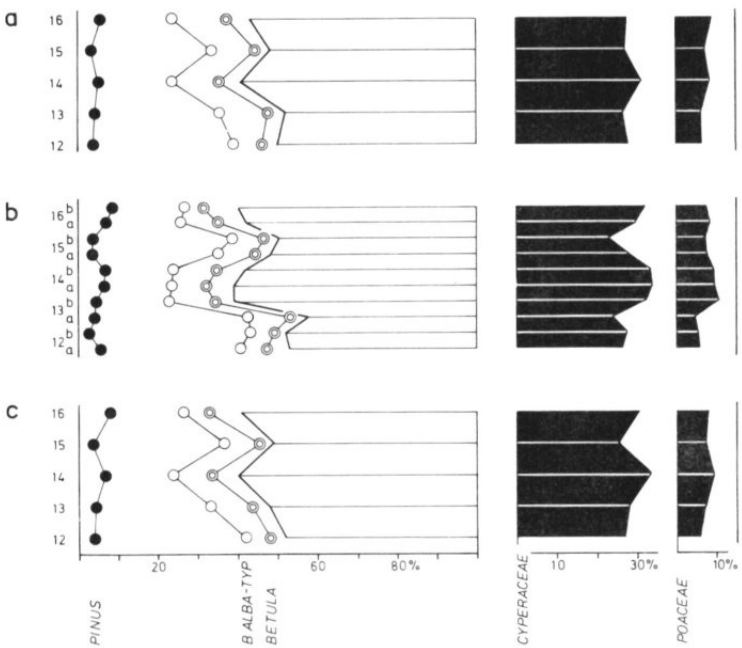


Abb. 27 a) Diagramm Rabensbergmoor, Spektrum 12 - 16. Lückenlose Probenentnahme in 2cm-Abstand.

b) Kontrollzählung an schichtungs-konnektierten, im Abstand von ca. 30 cm erbohrten Kernen (vgl. Abschnitt II A). Lückenlose Probenentnahme in 1cm-Abstand.

c) Dieselbe Kontrollzählung: Mittelwerte aus je 2 benachbarten Werten.

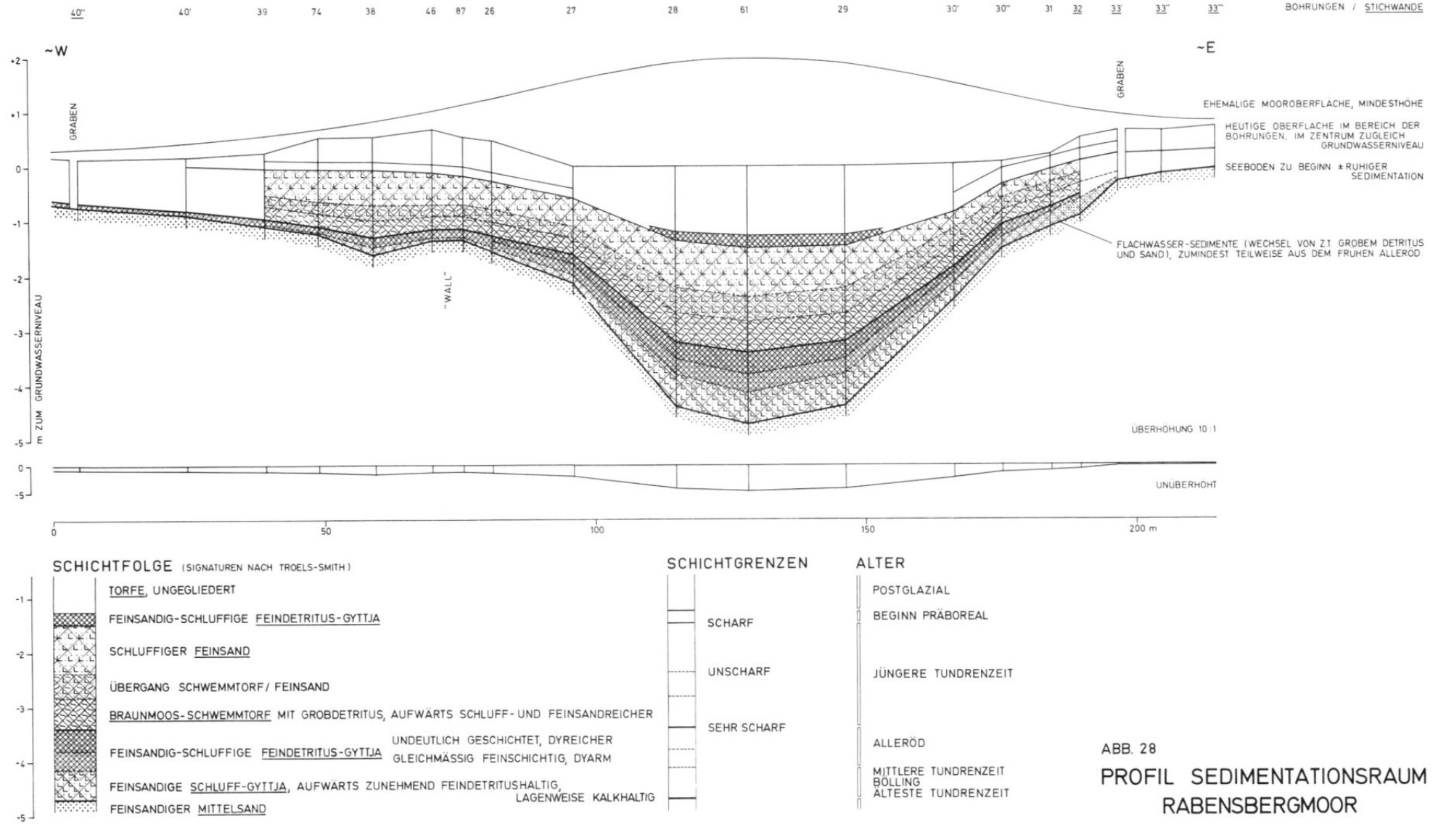


ABB. 28

PROFIL SEDIMENTATIONSRAUM RABENSBERGMOOR

tus-Lage gefunden. (2) Das Pollendiagramm zeigt in Höhe dieser Lagen (Spektrum 12 - 16) auffällig oszillierende Kurven-Verläufe. Wie eine zusätzliche Analyse im 1cm-Abstand ergab, sind die Extremwerte nicht durch Zwischenwerte verbunden, die Kurven springen vielmehr von einem Niveau zum anderen (Abb. 27 a und b).

Ein Zusammenhang zwischen den beiden Beobachtungen ist wahrscheinlich, wenngleich schwer herzustellen. Daß älteres, noch unkonsolidiertes Sediment wiederholt über jüngeres geraten ist, kann anhand des Pollendiagrammes ausgeschlossen werden (p. 112: Bölling).

V B DAS KUBITZBERGMOOR

B 1 Topographie und Geologie

Das knapp 25 ha große Kubitzbergmoor gehört zu den zahlreichen kleinen, heute weitgehend abgetorften Mooren des Dänischen Wohld (der Landschaft im Winkel zwischen Eckernförder Bucht und Kieler Förde). Es liegt 2 km südwestlich Dänischenhagen, unmittelbar nördlich des Hofes Kubitzberg (Topograph. Karte 1 : 25 000, Blatt 1526 - Abb. 23, p. 82).

Als Teil des Östlichen Hügellandes ist der Dänische Wohld in Aufbau und Morphologie von der Tätigkeit des Würm-Eises bestimmt. Beim Abbau des schleswig-holsteinischen Eises kerbte sich der Eisrand im Bereich des Dänischen Wohld nordost- bis ostwärts ein. Die Einkerbung teilte die Eismassen in die Loben von Eckernförder Bucht und Kieler Förde. Zwischen den Loben wurden bei erneuten Vorstößen Moränengabeln aufgebaut, darunter die besonders markante Gabel "Schwedeneck" (Näheres vor allem bei GRIPP 1952 und 1954 und SEIFERT 1954). Südöstlich dieser Gabel ist nach SEIFERT eine Seitenzunge des Kieler-Förde-Lobus über Dänischenhagen nach Westen vorgedrungen. In deren Zungenbecken liegt – erst spät vom Eis freigegeben – der Sedimentationsraum Kubitzbergmoor.

Das Relief der Umgebung zeigt die unruhigen Formen der Jungmoränenlandschaften (Abb. 29). Unter den Kleinformen fallen zahlreiche unregelmäßig geformte, abflußlose Senken auf. Die Genese der Landschaft läßt bereits vermuten, daß z.T. Sackungen über schwindendem Toteis vorliegen. Belege lieferte die Untersuchung limnischer Spätglazial-Sedimente in einigen der tieferen Hohlformen: Nach den Beobachtungen LANGE's (1954) beginnt im Kaltenhofer Moor ruhige limnische Sedimentation im Alleröd, d.h. mit dem Tieftauen zu dieser Zeit (vgl. GRIPP 1964 : Abb. 53). Im Scharnhagener Moor zeigen die spätglazialen Sedimente nach eigenen Beobachtungen z.T. erhebliche Dislokationen.

2 a Kubitzbergmoor: Sedimentationsraum und Sedimente

Die differenzierten morphologischen und stratigraphischen Verhältnisse des Sedimentationsraumes Kubitzbergmoor, die sich bereits bei Voruntersuchungen erkennen ließen, waren Anlaß, die genaueren Untersuchungen auf einen Teilbereich zu beschränken (Abb. 29). Hier wurde durch Bohrung oder Grabung an zahlreichen Punkten ermittelt:

(1) die Tiefe des Sedimentationsraumes, d.h. die heutige Basis seiner Stillwassersedimente, die mit zumeist scharfer Grenze Geschiebemergel oder warvigem Schluff/Sand-Wechsel aufliegen,

(2) die Ausbildung der spätglazialen (und früh-postglazialen) Sedimente,

(3) die Obergrenze kalkhaltiger Sedimente,

(4) die Mächtigkeit der Sedimente aus Älterer Tundrenzeit, Alleröd und Jüngerer Tundrenzeit; das war möglich, da die allerödzeitlichen Gyttjen innerhalb der tundrenzeitlichen Absätze stets gut erkannt und begrenzt werden konnten.



Abb. 29 Kubitzbergmoor, Morphologie der Umgebung (nach der Deutschen Grundkarte 1 : 5 000, Ausgabe 1955). Schwarze Flächen: Abflußlose Senken (Mindestausdehnung).

Die Ergebnisse sind durch die Abb. 30 (als Beilage) und 31 veranschaulicht.

Abb. 30a zeigt das Relief des ehemaligen Seebodens (bzw. der Basis der Stillwassersedimente). Die unruhige Morphologie der Umgebung setzt sich also unter den Sedimenten fort. Bereits im erfaßten Ausschnitt sind auffällige Kleinformen zu erkennen: Eine Rinne (schraffiert), die von einer Schwelle (strichpunktiert) gequert wird; Senken beiderseits der Schwelle. Die Böschung ist stellenweise erstaunlich steil, maximal wurden 37 % ermittelt. (Die Tiefen-Angaben beziehen sich auf ein Seespiegel-Mindestniveau, das aus der Lage der höchsten Stillwassersedimente erschlossen wurde: über diesen Sedimenten wurde 1 m Wasserbedeckung angenommen. Dieses Niveau ist nach dem heutigen Relief zugleich nahezu ein Höchst-Niveau. Bei höherem Wasserstand würde heute Abfluß nach Osten erfolgen.)

Die spätglazialen Sedimente, besonders die des Alleröd und der Jüngeren Tundrenzeit, zeigen in Ausbildung (und Mächtigkeit) auffällige Beziehungen zur Seeboden-Tiefe (Abb. 30a):

Bei mittleren Tiefen (~2 - ~3.5 m) finden sich Abfolgen, für die das auch pollenanalytisch untersuchte Profil als Beispiel dienen kann [vgl. auch Phot. 4 und das Diagramm, dort auch die Ergebnisse der Bestimmung von Glühverlust und NaOH-löslichen Huminstoffen (Dy)]:

cm über Seeboden	Eigenschaften (Deutung)	Alter
86 - 90	Dunkelbraune, schwach elastische Feindetritus-Gyttja mit ca. 30 % mineralischen Anteilen (überwiegend Schluff, wenig Feinsand), oben lagenweise vegetative Potamogeton-Reste (Coleogeton cf. vaginatus).	PB
47 - 86	Bräunlich-grauer, tonreicher, doch kalkfreier Schluff mit wenig Feinsand und zumeist <10 % organischen Anteilen (Feindetritus), durch dessen lagenweise Anreicherung mit ± deutlichen bräunlichen Schichten.	DR 3
33 - 47	Dunkel (leber-)braune, elastische und ebenspaltende, dy-arme Feindetritus- (bzw. Algen-)Gyttja, mineralische Anteile (überwiegend Schluff, wenig Feinsand) zwischen 40 und 70 %. [1]	AL
27 - 33	Übergangssediment	
0 - 27	Bläulich-grauer, sehr plastischer, ton- und kalkreicher (je ~20 %) Schluff mit wenig Feinsand (~5 %), organische Anteile <5 %; nicht sichtlich bis undeutlich geschichtet.	DR 1+2
<0	Geschiebemergel.	

1) Trotz einer sorgfältigen Untersuchung konnten die in AL-Sedimenten weithin beobachteten Laacher Bimstuffe (vgl. STRAKA 1961) nicht nachgewiesen werden.

Bei größerer Seebodentiefe (>~3.5 m) wurden Abfolgen abgesetzt, deren ältertundrenzeitliche Sedimente gegenüber der oben beschriebenen Ausbildung nicht sichtlich unterschieden sind. Auch die jüngertundrenzeitlichen weichen nur insofern ab, als sie Kalk enthalten können (vgl. die Kalkgrenze in Abb. 31, p. 105). Erhebliche Unterschiede zeigen dagegen die Sedimente des AL: Bei Tiefen zwischen ~3.5 und ~5.5 m tritt an die Stelle der ± einheitlichen Feindetritus-Gyttja ein 2facher Wechsel von Feindetritus-Gyttja und Kalk-Gyttja, wie ihn Phot. 6 veranschaulicht. Bei Tiefen > 5.5 m sind die AL-Sedimente - bei sonst ganz ähnlicher Differenzierung - durch hohe FeS_2 (und FeS-)Gehalte charakterisiert (Abb. 30a und 31b)[1].

Nach zahlreichen Bohrungen ist die in Phot. 6 dargestellte 4fache Gliederung der AL-Sedimente von ~-3.5 m an abwärts eine generelle Erscheinung; offensichtlich liegen synchrone Horizonte vor. Die Kalkgehalte sind allerdings häufig weit niedriger als die auf der Photographie angegebenen, der Unterschied im Kalk-Gehalt an der Grenze Kalk-Gyttja/DR 3-Schluff ist vielfach viel deutlicher. Die Gründe für den 2fachen plötzlichen Wechsel von Feindetritus- zu Kalk-Gyttja sind ohne pollenanalytische Untersuchung der Abfolge nicht sicher anzugeben. Da die Fällung von Kalk durch hohe Wassertemperaturen beschleunigt wird, ist aber denkbar, daß die beiden Wechsel den beiden Temperaturmaxima des AL (vgl. Abschnitt B 2, p. 140) bzw. der zunehmenden Erwärmung zu diesen Maxima hin entsprechen.

Bei geringerer Seebodentiefe (<~2 m) entsprechen die Sedimente der Älteren Tundrenzeit und des Alleröd den für mittlere Tiefen beschriebenen Ausbildungen (von der Mächtigkeitsabnahme sei hier abgesehen). Dagegen ist DR 3 nicht durch tonreiche Schluffe, sondern durch Fein- bis Grobsande vertreten. -

Die beobachtete Beziehung zwischen den verschiedenen Ausbildungen der Sedimente aus AL und DR 3 und der Seebodentiefe ist nicht selbstverständlich. Einmal kann nicht allgemein vorausgesetzt werden, daß in derselben Wassertiefe dieselben Sedimente entstehen, zum anderen müssen in potentiellen Toteisgebieten ermittelte Seebodentiefen nicht den Wassertiefen zur Bildungszeit der spätglazialen Sedimente entsprechen. Das heutige Relief des Seebodens kann das Ergebnis postsedimentärer Sackungen sein. Wenn sich die genannte Beziehung dennoch nachweisen ließ, so kann daraus geschlossen werden, daß das Seebodenrelief der Abb. 30a zumindest in Grundzügen schon im Alleröd existiert haben muß. Wesentliche Veränderungen durch Sackungen über schwindendem Toteis können allenfalls im frühen AL erfolgt sein.

Dieses Ergebnis kann anhand eines anderen Kriteriums bestätigt werden: aufgrund der Mächtigkeitsverteilung der spätglazialen Sedimente. Ausgangspunkt ist die Tatsache, daß Sedimente, die weder das Ergebnis lokaler Sonderentwicklung sind (z. B. Kalke vom litoralen Typus), noch unter dem Einfluß erheblicher Strömungen abgesetzt wurden, mit zunehmender Wassertiefe im allgemeinen mächtiger werden. Zumindest ein ausgeprägtes Seeboden-

---

1) Während der erhöhte Sulfid-Gehalt unterhalb -5.5 m durch anaerobe Verhältnisse im Tiefsten zu erklären sein könnte, ist das Fehlen der Kalk-Gyttjen im flacheren Wasser schwer verständlich (vgl. p. 102: Zu (c)!).

Relief muß also in der Mächtigkeitsverteilung der Sedimente zum Ausdruck kommen. Umgekehrt kann - mit entsprechender Vorsicht - aus der Mächtigkeits-Verteilung der Sedimente einer bestimmten Zeit auf das Seeboden-Relief zu dieser Zeit geschlossen und dessen spätere Veränderung erkannt werden.

In Abb. 30b - d sind Mächtigkeitskarten für die tundren- und allerödzeitlichen Sedimente wiedergegeben. Ihre Auswertung, d.h. der Vergleich mit dem Seeboden-Relief der Abb. 30a, ergibt:

Bereits die Mächtigkeiten der ältertundrenzeitlichen Sedimente zeigen - z.T. bis in Einzelheiten - deutliche Beziehungen zum Relief: "Rinne" und "Schwelle" sind als Zonen stärkerer bzw. schwächerer Sedimentation angedeutet. Die Mächtigkeitszunahme nach unten - besonders im Bereich der westlichen "Senke" - ist allerdings auffällig gering und anderenorts liegt mehr Sediment als nach dem Relief zu erwarten. Demgegenüber zeigen Mächtigkeitsverteilung der AL-Sedimente und Relief eine überraschend weitgehende Übereinstimmung. An der Existenz des Reliefs zu dieser Zeit ist kaum zu zweifeln.

Die deutlich bessere Übereinstimmung von Relief und Mächtigkeit der AL-Sedimente läßt Relief-Veränderungen zu Alleröd-Beginn vermuten. Vor allem scheint die Mächtigkeitszunahme der allerödzeitlichen Sedimente im Bereich der beiden "Senken" auf deren Einsinken zu dieser Zeit zu deuten. Indessen muß die Richtigkeit dieser Deutung gleich aus 2 Gründen angezweifelt werden: (1) Die größere Mächtigkeit der AL-Sedimente nach unten ist vorwiegend Folge andersartiger, durch zusätzlichen Absatz von Kalk-Gyttjen gekennzeichneter Sedimentationsverhältnisse in größerer Tiefe und/oder Folge stärkeren Abtrags allerödzeitlichen Sediments in geringerer Tiefe (vgl. p.102): Die Mächtigkeitsunterschiede der AL-Sedimente dürften das Relief überzeichnen. (2) Die Mächtigkeitsverteilung der DR 3-Sedimente (Abb. 30d) bildet das Relief wiederum schlechter ab, vor allem im Bereich der beiden "Senken".

So kann aus der Mächtigkeitsverteilung der spätglazialen Sedimente mit Vorbehalt auf geringe Relief-Veränderungen im frühen Alleröd geschlossen werden. Sicher ist hingegen, daß die wesentlichen Züge des Reliefs bereits zur Älteren Tundrenzeit existiert haben.

2 b Kubitzbergmoor: Sedimentationsstörungen und Seespiegelschwankungen

Aus der Stratigraphie der ältertundren- und allerödzeitlichen Sedimente ergeben sich keine sicheren Hinweise auf Sedimentationsstörungen oder Seespiegelschwankungen. Selbst die höchsten noch erhaltenen Sedimente des AL wurden offenbar in tieferem und relativ ruhigem Wasser abgesetzt. Lagerungsstörungen durch subaquatische Rutschungen oder durch Einsinken über Toteis können zumindest im Bereich der Profilentnahme ausgeschlossen werden: hier liegt der Seeboden fast horizontal und hat nach den Sedimentmächtigkeitskarten zu urteilen sicher keine wesentlichen Veränderungen erfahren.

Dagegen finden sich von Ende AL bis Anfang PB klare Anzeichen für Sedimentationsstörungen und Seespiegelschwankungen:

(A) Die Grenze zwischen den Feindetritus-Gyttjen des AL und den DR 3 - Schluffen (bzw. -Sanden) ist stets auffallend scharf. In deutlichem Gegensatz zu den fließenden Sedimentübergängen an der Wende DR 1+2/AL und DR 3/PB erfolgt der Wechsel übergangslos (Phot. 4 und 5).

Dieser Befund muß überraschen, denn da im Wechsel der genannten Sedimente die sedimentologischen Konsequenzen großklimatischer Veränderungen gesehen werden müssen, wäre eher ein allmählicher Übergang zu erwarten. Der schlagartige Sedimentwechsel läßt also Störungen im Ablauf der Sedimentation bereits vermuten. Bestätigung und nähere Information über die Art der Störung ergaben sich bei der genaueren Untersuchung der Grenze nach Aufschluß durch mehrere Grabungen. Im Bereich der Grenze waren u.a. zu erkennen:

(1) Lokale Lagerungsstörungen in Form von Schmitzen oder kleinen Schollen aus Gyttja im hangenden Schluff, deren Häufigkeit und Größe aufwärts, d.h. mit abnehmender Wassertiefe, zunimmt.

(2) Eindeutige Anzeichen dafür, daß die oberen Gyttja-Schichten zumindest lokal fortgeführt worden sind: Schichten bzw. Schichtfugen, die beim Antrocknen der Stichwände deutlich werden, enden z.T. blind in flachen Ausmuldungen der Kontaktfläche (Phot. 5).

(3) Eine dünne Feinsandlage (oder Feinsandschmitzen) zwischen Gyttja und Schluff, die an Stichwänden vielfach schwer auszumachen ist, aber deutlich wird, wenn sie Sedimentklötze beim Trocknen bevorzugt in der Kontaktfläche aufreißen läßt.

(4) Eine gewisse Anreicherung von Steinen bis zu mittlerer Größe, wie sie in den tundrenzeitlichen Schluffen zwar nicht fehlen, aber sehr selten sind (Eisschollendrift! - Phot. 5).

Nach diesen Beobachtungen kann nicht daran gezweifelt werden, daß die scharfe Grenzfläche Feindetritus-Gyttja/Schluff das Ergebnis von Sedimentationsunterbrechung und gleichzeitigem Abtrag allerödzeitlichen Sediments ist. Dieser dürfte nicht nur lokal, sondern flächenhaft erfolgt sein; darauf deutet sowohl das Fehlen von Übergangssedimenten, als auch die unter (3) beschriebene Sandlage: in ihr blieb wahrscheinlich das gröbste Korn des fortgeführten Sediments erhalten (s.u.).

(A') Die AL-Feindetritus-Gyttja geht zum Tieferen in einen Wechsel von Feindetritus- und Kalk-Gyttja über (p. 97 mit Phot. 6). Auf der oberen Kalk-Gyttjalage liegt DR 3-Schluff. Der Wechsel Kalk-Gyttja/Schluff erfolgt bis zu einer Tiefe von mindestens 5 m wiederum übergangslos: Die Grenze ist vielfach durch sprunghaft abnehmenden Kalkgehalt charakterisiert oder doch wenigstens farblich scharf (Wechsel von bräunlich-gelb zu bräunlich-grau). Ihre höchstgelegenen Teile lassen gelegentlich (an Bohrkernen!) kleine Lagerungsstörungen gemäß (1) erkennen.

Danach erscheint die Annahme berechtigt, daß die scharfe Grenzfläche Kalk-Gyttja/Schluff nicht nur die unmittelbare Fortsetzung der unter (A) beschriebenen Grenzfläche Feindetritus-Gyttja/Schluff ist - sie dürfte auch gleicher Genese sein. Das hieße, daß der abrupte Sedimentwechsel

an der Wende AL/DR 3 durchweg einen Hiatus markiert.[1]-

Die Bedeutung dieser Befunde geht in mehrfacher Hinsicht über den Nachweis eines Hiatus hinaus:

(a) Erosion an der Oberfläche der AL-Sedimente belegt eine vorübergehende Absenkung der Sedimentationsgrenze im ausgehenden AL oder danach. Deren wahrscheinlichste Ursache ist eine Seespiegelsenkung. (Die Grenzfläche ist laut Pollendiagramm deutlich jünger als das Temperaturmaximum des späten AL. Daher kann ein Seespiegeltiefstand zu dieser Zeit nicht Ursache sein[2].)

(b) Erosion von AL-Sedimenten bedeutet zugleich deren Umlagerung. In jüngeren Sedimenten muß also mit Verunreinigung durch umgelagertes AL-Material gerechnet werden.

(c) Erosion von AL-Sediment könnte das aufwärtige Auskeilen der oberen Kalk-Gyttjalage (Abb. 31) verständlich machen. Dann wiese das Auskeilen der unteren ebenfalls auf eine Absenkung der Sedimentationsgrenze.

(d) Die im Kubitzbergmoor gemachten Beobachtungen betreffen offenbar eine überlokale Erscheinung und gestatten möglicherweise deren allgemeine Deutung.

Zu (a): Wenn angenommen wird, daß die AL/DR 3 -Grenzfläche im KBM auch in größerer Tiefe das Ergebnis von Sedimentationsunterbrechung und Erosion ist – wie unter (A¹) begründet –, so muß mit Erosion über eine vertikale Spanne von mehr als 4 m gerechnet werden (vgl. Abb. 31b. - Daß das Relief des Seebodens im Postglazial keine wesentlichen Veränderungen erfahren hat, wurde im vorigen Abschnitt wahrscheinlich gemacht.) Unter diesen Voraussetzungen entfällt die Möglichkeit, die Erosion an der Oberfläche der AL-Sedimente allein durch Abrasion (d.h. durch Wellenbewegung im flacheren Wasser) zu erklären; denn ein Wasserstand, bei dem die Wellenbewegung bereits die tiefsten von Erosion betroffenen AL-Sedimente erreicht hätte, die höchsten aber nicht gleichzeitig vollends abgetragen worden wären, ist nicht denkbar[3]. Abrasion hätte außerdem weithinab Flachwasserabsätze hinterlassen müssen; die liegen aber nur über den höchstgelegenen AL-Sedimenten. Während also dort Abrasion sogar vorausgesetzt werden muß, sind für die Erosionserscheinungen in größerer Tiefe Strömungen verantwortlich zu machen.

---

1) Der Gedanke, daß die Grenzfläche Feindetritus-Gyttja/Schluff in der ebenfalls auffällig scharfen Grenzfläche zwischen oberer Feindetritus-Gyttja und oberer Kalk-Gyttja ihre abwärtige Fortsetzung findet (Phot. 6), ist schon deshalb abzulehnen, weil an dieser Grenzfläche trotz zahlreicher Bohrungen keinerlei Störungen beobachtet wurden.

2) Dasselbe gilt für die Grenzfläche im Rabensbergmoor.

3) Zur Tiefenwirkung von Oberflächenwellen vgl. z.B. RUTTNER (1962, p. 57 ff.).

Diese Vorstellung mag zunächst befremden; sie scheint indessen mit Beobachtungen LUNDQVIST's an südschwedischen Seen in Einklang zu stehen. Wie aus LUNDQVIST's detaillierten Untersuchungen (1924, 1927 u.a.) hervorgeht, läßt die Lage der Sedimentationsgrenze eine auffällige Beziehung zur Exposition des Ufers erkennen: An Ost-Ufern, die den vorherrschenden Westwinden ausgesetzt sind, liegt sie bis zu mehreren Metern tiefer als an den geschützten West-Ufern. Dieser Unterschied kann nicht allein auf stärkere Wellenbewegung im Bereich des exponierten Ufers zurückgeführt werden, denn deren Wirkung klingt bereits in geringer Tiefe ab. LUNDQVIST (1927, p. 90f.) schloß daher auf Bodenströmungen, in denen er die Gegenströmung zu windinduzierten Oberflächenströmungen ("Windstau-, Triftströmungen") sah[1]. Die unterschiedliche Lage der Sedimentationsgrenze wäre danach auch das Resultat häufigerer und stärkerer abwärtsgerichteter Bodenströmungen an exponierten Ufern.

Wird diese Vorstellung als richtig akzeptiert, so kann angenommen werden, daß eine Seespiegelsenkung nicht nur durch Abrasion in flachem Wasser zum Abtrag von Sedimenten führt, sondern auch dadurch, daß Bodenströmungen in größerer Tiefe wirksam werden. Das könnte die Befunde im Kubitzbergmoor bereits erklären.

Ferner kann daran gedacht werden, daß eine Absenkung der Sedimentationsgrenze allein durch verstärkte Bodenströmungen – d.h. auch ohne eine Absenkung des Seespiegels – hervorgerufen worden ist. Im vorliegenden Fall böten sich höhere Windgeschwindigkeiten als Folge zunehmender Entwaldung zu Beginn von DR 3 als Ursache an. Gegen diese Annahme spricht aber nicht nur das wahrscheinliche Ausmaß der Erosionserscheinungen, sondern auch die Tatsache, daß die tonreichen DR 3-Schluffe über der Grenzfläche für die Zeit nach deren Ausbildung erneut ruhigere Sedimentationsbedingungen belegen[2]. Da für diese Zeit schwächere Wind- und Wasserbewegungen nicht sinnvoll angenommen werden können, dürfte ein erneut höherer Wasserstand Ursache sein. Entsprechend sind für den Wechsel Sedimentation/Erosion/Sedimentation an der Wende AL/DR 3 in erster Linie Seespiegelschwankungen verantwortlich zu machen. -

Es bleibt die Frage nach dem Ausmaß des Abtrags alleröd zeitlichen Sediments: Die höchstgelegenen AL-Sedimente, die unter den Einfluß des Wellenschlags gerieten sind sicher ± weitgehend abgetragen worden. Im Bereich der tiefstgelegenen Teile der Grenzfläche hat ebenso sicher nur ganz oberflächlicher Abtrag von unkonsolidiertem Sediment stattgefunden. In mittlerer Tiefe dürften die Wasserbewegungen vor allem die feinen und spezifisch

---

1) Die Gegenströmungen zu Windstauströmungen verlaufen im Allgemeinen oberhalb der Sprungschicht (Thermokline). Sie können aber in weniger tiefen Seen deren Ausbildung verhindern und setzen dann bis zum Boden durch. Ferner ist mit Strömungen parallel zum Ufer zu rechnen (Näheres z.B. bei NAUMANN 1931).

2) Die DR 3-Schluffe des pollenanalytisch untersuchten Profiles entsprechen in ihrer Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Komponente der AL-Feindetritus-Gyttja.

leichten Sedimentkomponenten fortgeführt, gröbere aber hinterlassen haben. (Die unter (3) beschriebene Sandlage kann auf diese Weise gedeutet werden, sofern sie nicht aus neu herangeführtem Material besteht.)

Die Grenzfläche des pollenanalytisch untersuchten Profiles entspricht den zuletzt beschriebenen Verhältnissen. Laut Diagramm scheint ein größerer, zumindest aber ein wesentlicher Hiatus nicht sehr wahrscheinlich (vgl. aber das folgende).

Zu (c): Das Auskeilen der beiden Kalk-Gyttjalagen zum flacheren Wasser (Abb. 31) ist, wie bereits angedeutet, schwer verständlich, und zwar aus sedimentologischen Gründen: Im Allgemeinen nimmt der Kalkgehalt gleichaltriger Sedimente zum Ufer hin zu - dem abnehmenden CO_2-Gehalt und der stärkeren Erwärmung des Wassers entsprechend. Kalk-Gyttjen gehen demgemäß uferwärts vielfach in Seekreide, seewärts aber in Feindetritus-Gyttja über (Näheres vor allem bei LUNDQVIST 1927). Es erscheint danach zunächst unwahrscheinlich, daß die Kalk-Gyttjen des tieferen KBM-Sees aufwärts durch Feindetritus-Gyttjen abgelöst werden und der Gedanke liegt nahe, die beschriebene Erosion von AL-Sedimenten zumindest für das Auskeilen der oberen Kalk-Gyttjalage verantwortlich zu machen. Gegen diese Annahme sprechen aber wenigstens 2 Gründe: Einmal zeigt das pollenanalytisch untersuchte Profil keinen auffälligen Hiatus am Ende AL, obwohl ihm Kalk-Gyttjen fehlen. Zum anderen wird bei allen Schichtgliedern der spätglazialen Serie im KBM - aus schwer erkennbaren Ursachen[1] - erst unterhalb eines bestimmten Niveaus Kalk angetroffen (vgl. die Kalkgrenze in Abb. 31). Das bedeutet, daß auch die vertikale Verbreitung der Kalk-Gyttjalagen in erster Linie von den Faktoren, die dieses Niveau festgelegt haben, bestimmt worden ist und weniger durch Abtrag im flachen Wasser.

[Wie auch die sehr unterschiedlichen Kalkgehalte gleichaltriger Sedimente im Fall KBM bedingt sein mögen - sie machen deutlich, daß Kalkbestimmungen an nur einem Profil von sehr begrenztem Wert sein können und keine sicheren Rückschlüsse auf klimatische Veränderungen oder Veränderungen im Kalkgehalt der Landböden zulassen. Aus der Kalkfreiheit der DR 3-Schluffe des pollenanalytisch untersuchten Profiles (vgl. das Diagramm) auf eine weitgehende Entkalkung der Landböden im AL schließen zu wollen, die selbst durch periglaziale Bodenumlagerungen während DR 3 nicht wenigstens teilweise rückgängig gemacht worden ist, wäre beispielsweise unsinnig.]

Zu (d): Scharfe und z.T. deutlich gestörte oder durch Sandlagen markierte Sedimentgrenzen an der Wende AL/DR 3 wurden bei der Untersuchung mehrerer anderer schleswig-holsteinischer Spätglazialvorkommen gefunden, so nördlich Deutsch Nienhof, im Scharnhagener Moor, in den Hüttener Bergen und schließlich im Rabensbergmoor. Obwohl in diesen Gebieten sowohl im AL als auch in der Jüngeren Tundrenzeit z.T. ganz verschiedenartige Sedi-

---

1) Eine spät-postsedimentäre (epigenetische) Entkalkung kommt bei dem hohen Tongehalt der Sedimente, der eine Wasserbewegung praktisch unterbindet, nicht infrage.

mente gebildet wurden, erfolgte der Wechsel stets übergangslos[1].

Danach scheint der schlagartige Sedimentwechsel an der Wende AL/DR 3 ein allgemeineres Phänomen zu sein. Und der Gedanke liegt nahe, daß stets das Resultat von Sedimentationsunterbrechung und Erosion als Folge einer vorübergehenden Seespiegelsenkung vorliegen dürfte. Bedenken gegenüber einer derart allgemeinen Deutung könnten sich indessen aufgrund der Verhältnisse im Rabensbergmoor ergeben:

Die Grenze ist dort durch den Wechsel von Feindetritus-Gyttja zu grobem Scorpidium-Schwemmtorf realisiert. Auf der Grenzfläche liegt vielfach Feinsand in dünner Lage. Feinsand und Struktur des Schwemmtorfs weisen auf stärkere Wasserbewegung während und nach der Bildung der Grenzfläche. Dementsprechend erscheint auch denkbar, daß vor oder zu Beginn der Ablagerung des Schwemmtorfs feinere Sedimentkomponenten fortgeführt wurden, so daß die Bildung von Übergangssediment unterdrückt worden ist. Schwierig ist dagegen das Verständnis der Tatsache, daß die beschriebene Grenzfläche bis in das Tiefste des damaligen Sees verfolgt werden kann (Abb. 28, p. 91). Auch dort müßten also Wasserbewegungen angenommen werden, die nicht nur den Schwemmtorf aus flacheren Randbereichen des Sees herabgeführt haben, sondern zuvor oder gleichzeitig feine und leichte Sedimentkomponenten fortführen bzw. deren Absatz verhindern konnten. Diese wären erst später zur Ruhe gekommen oder als Drift in Ufernähe abgesetzt. Inwieweit diese Vorstellungen zutreffen, sei dahingestellt. Immerhin berichtet LUNDQVIST (1927) von erheblichen Sedimentlücken am Grunde flacher Seen und vermutet windinduzierte Bodenströmungen als Ursache: "Diese haben in der Weise gearbeitet, daß der ganze See als ein riesengroßer Wasserwirbel zu betrachten gewesen ist, obwohl natürlich die Strömungsgeschwindigkeit verhältnismäßig gering gewesen ist. Derselbe stratigraphische Effekt kann erhalten werden, wenn zonierte Sedimente aufschwimmen und aus der Lagerfolge verschwinden" (l.c. p. 94).

[Der Rabensbergsee dürfte zur Zeit der Bildung der Grenzfläche eine Tiefe von etwa 3 m gehabt haben. Das folgt aus der vertikalen Ausdehnung der Grenzfläche und der Tatsache, daß nach der Morphologie seiner Umgebung eine wesentlich größere Tiefe nicht möglich ist (Abb. 24, p. 84 und Abb. 28, p. 91).]

(B) Abb. 31 veranschaulicht, daß die DR 3-Sedimente gegenüber denen aus Älterer Tundrenzeit und Alleröd zum südlichen Rand des Sedimentationsraumes deutlich früher auskeilen. Die Sedimentmächtigkeitskarten der Abb. 30 belegen die allgemeine Gültigkeit der Erscheinung für das untersuchte Gebiet.

(B') Die höchstgelegenen DR 3-Sedimente sind im deutlichen Gegensatz zu

---

1) In seinem Diagramm Köhlmoor markiert TIDELSKI (1960) an der Grenze AL/DR 3 durch Unterbrechung der Kurvenzüge einen Hiatus (vgl. Abb. 33, p. 131), ohne ihn zu kommentieren. Es kann aber vermutet werden, daß ein übergangsloser Sedimentwechsel ("Algen-Gyttja/Gyttja, braun") zur Annahme dieses Hiatus veranlaßt hat.

den älteren gleichen Niveaus Absätze des stärker bewegten Wassers in Form von groben, z.T. kiesigen Sanden (Abb. 30a und 31). Über diesen Absätzen liegt Feindetritus-Gyttja des Präboreals, d.h. wiederum ein Stillwassersediment.

Diese Befunde zeigen, daß während der Jüngeren Tundrenzeit - zumindest aber zu deren Ende - die Sedimentationsgrenze tiefer gelegen haben muß als im AL und PB. Zu den Seespiegelschwankungen am Ende AL gemäß (A) kommt also ein Seespiegeltiefstand zumindest gegen Ende von DR 3. [1)]

Ein niedrigerer Wasserspiegel während DR 3 gegenüber AL bedeutet, daß hochgelegene AL-Sedimente abgetragen und zusammen mit den DR 3-Schluffen wieder abgesetzt worden sind. Der Abtrag der AL-Sedimente - vom kurzzeitigen Wechsel der Windverhältnisse und Wasserstände gesteuert - kann kaum gleichmäßig erfolgt sein. Entsprechend erfolgte auch der erneute Absatz des AL-Materials eher schubweise. Möglicherweise sind die charakteristischen ± feindetritushaltigen Lagen im DR 3-Schluff das Ergebnis dieses Vorganges (vgl. Phot. 4 und 5): Da diese Lagen in Anzahl und Ausbildung bereits auf geringe Entfernung erhebliche Unterschiede erkennen lassen - man vergleiche Phot. 4 mit Phot. 5 -, sind sie zumindest nicht als synchrone, aus großklimatischen Veränderungen resultierende Horizonte aufzufassen.

---

1) Es kann daran gedacht werden, daß der DR 3-zeitliche Seespiegel-T i e f s t a n d Folge eines A n s t i e g s gewesen ist und zwar insofern, als der See im Zuge eines Anstiegs einen Abfluß gewonnen haben könnte, indem die Schwelle, die das Seebecken nach Osten abriegelt, überschritten wurde und der Abfluß - einmal entstanden - sich schnell in das vorwiegend sandige Lockergestein der Schwelle eingeschnitten hat (Abb. 29, p. 95). Daß der See zeitweise über einen natürlichen Abfluß verfügte, ist kaum zu bezweifeln: das kleine "Kerbtal", das die Straße in der Nordost-Ecke des Kartenausschnittes in Süd-Nord-Richtung quert, kann kaum anders gedeutet werden. Einziges Argument gegen diese Vorstellung sind die genannten früh-präborealen Stillwassersedimente, die zum PB einen erneuten Seespiegelanstieg belegen.

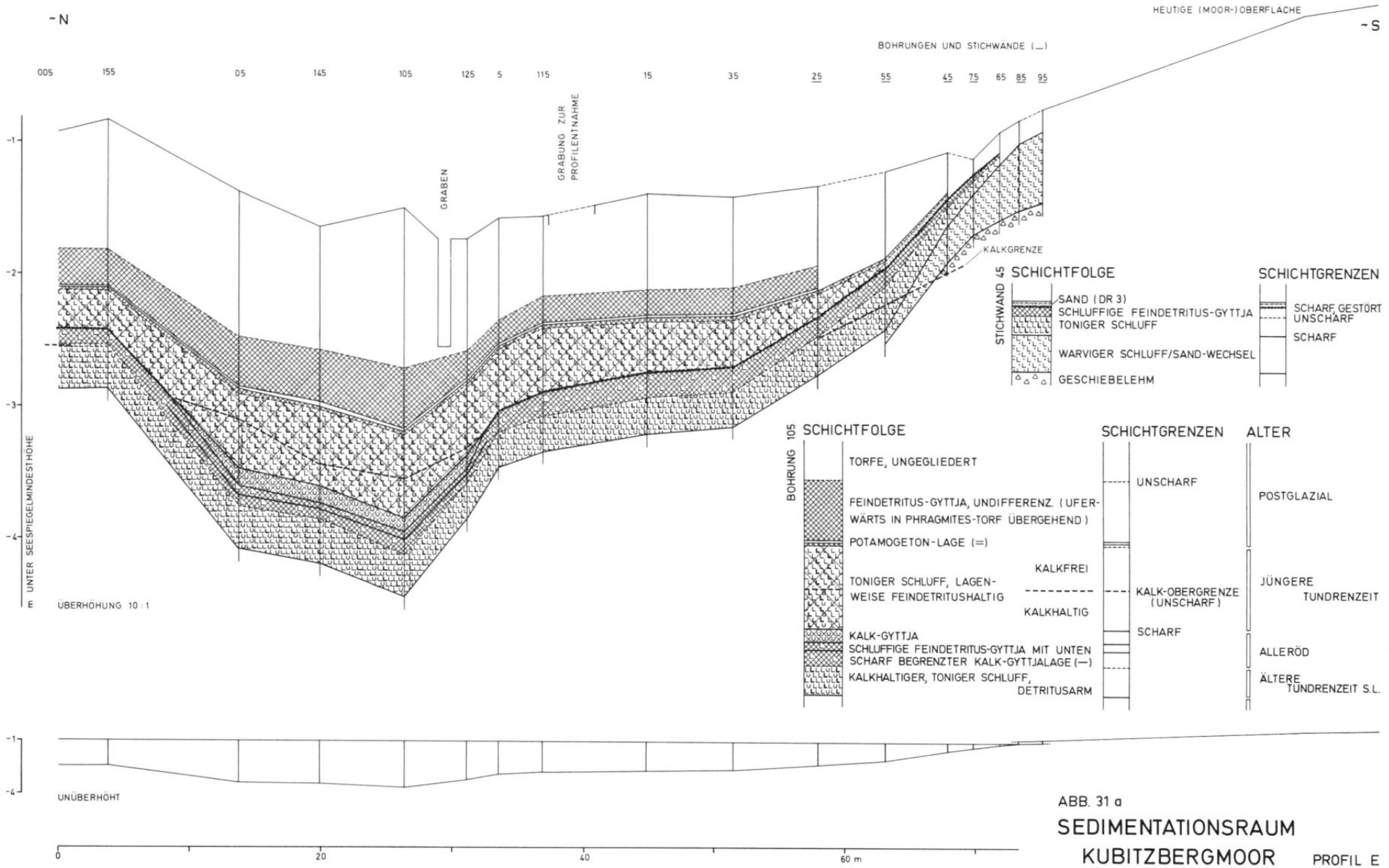


ABB. 31 a

SEDIMENTATIONSRAUM KUBITZBERGMOOR PROFIL E

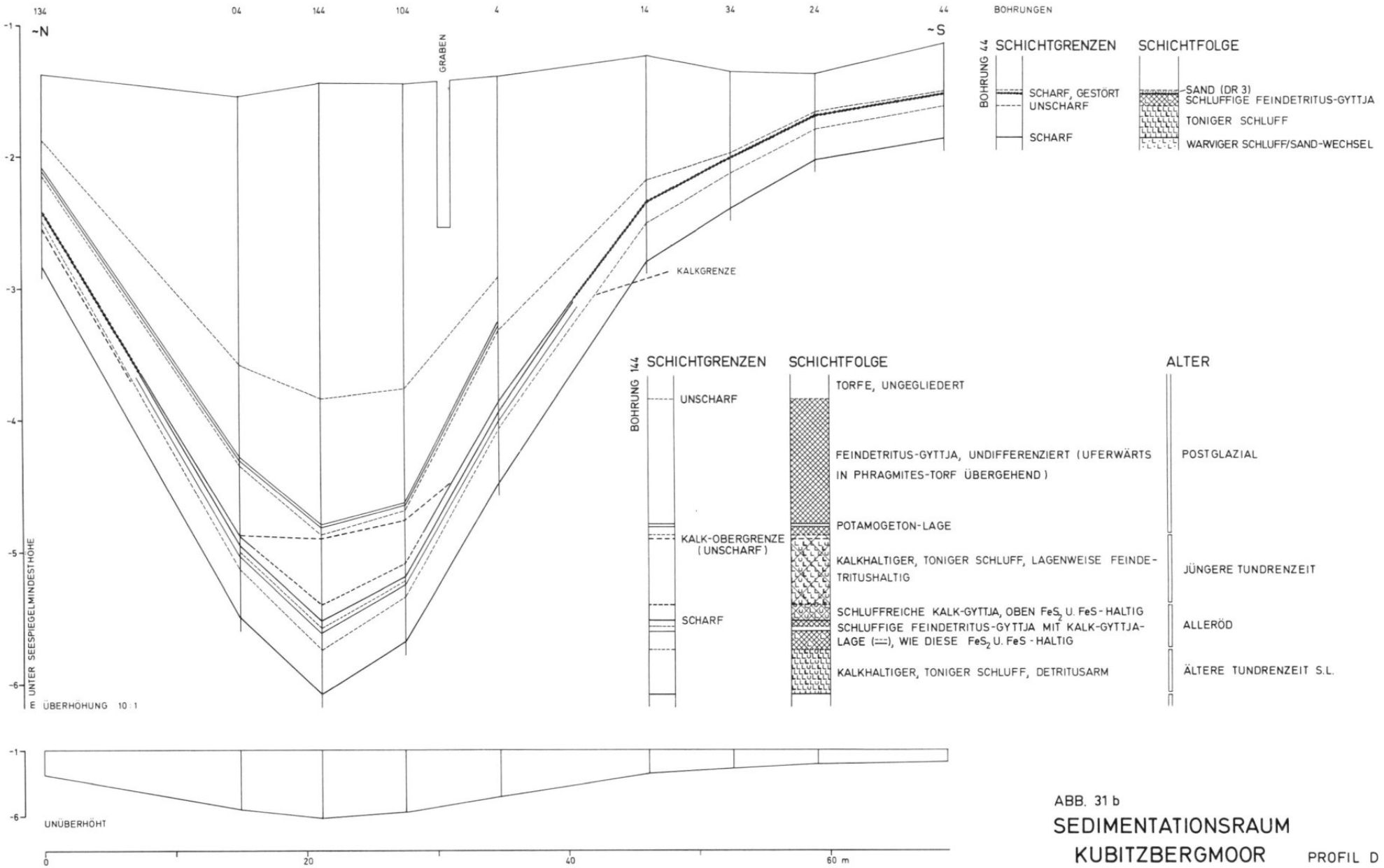


ABB. 31 b

SEDIMENTATIONSRAUM KUBITZBERGMOOR PROFIL D

VI POLLENANALYTISCHE KONSEQUENZEN SPÄTGLAZIALER SEESPIEGELSCHWANKUNGEN

Im vorhergehenden Abschnitt sind eine Reihe von stratigraphischen Befunden beschrieben worden, die für die beiden untersuchten spätglazialen Seen mehrfache Veränderungen ihrer Wasserstände belegen. Spätglaziale Wasserspiegelschwankungen sind auch von anderen Autoren erkannt worden (Abschnitt VII C, p.151). Sie sind darüberhinaus theoretisch zu fordern – als Folge der erheblichen klimatischen Veränderungen während des Spätglazials.

Wasserspiegel s e n k u n g e n führen – wie ebenfalls erläutert – notwendig zur Umlagerung älteren Sediments: dessen Pollenflora gelangt also in jüngere Schichten. Dasselbe geschieht, wenn ein Wasserspiegel a n s t i e g zur Aufarbeitung von telmatischen Torfen in der Umgebung des Sees führt.

Werden pollenführende Sedimente aus einer Zeit bestimmter Pollenproduktivität zu einer Zeit gleicher oder stärkerer Pollenproduktivität umgelagert, dürften die pollenanalytischen Folgen im allgemeinen bedeutungslos sein. Gelangt aber pollenreiches Sediment in die Sedimente einer Zeit geringerer Pollenproduktivität, so muß mit erheblichen Verfälschungen gerechnet werden. Genau dieser Fall dürfte – zumindest lokal – für DR 3-zeitliche Sedimente zutreffen:

(1) Die Sedimente des AL sind nicht nur als Folge der hohen Pollenproduktivität der allerödzeitlichen Wald-Landschaft gegenüber denen von DR 3 weit pollenreicher, sondern auch deshalb, weil sie langsamer gewachsen sind.

(2) Veränderungen des Seespiegelniveaus während AL - DR 3 haben mit Sicherheit stattgefunden. Sie müssen dazu geführt haben, daß AL-Sediment in DR 3-Sediment gelangte und zwar gleichgültig, ob es sich um Seespiegelsenkungen, -anstiege oder beides gehandelt hat.

Das Ausmaß der Verfälschung DR 3-zeitlicher Pollenfloren durch Umlagerung von AL-Sediment ist schwer abzuschätzen. Es hängt aber zweifellos in hohem Maße von der Größe und Morphologie des Sedimentationsraumes ab. Bei Hohlformen, die nach Art des Sedimentationsraumes RBM (Abb. 28, p.91) neben einem tiefen Zentrum von geringer Größe ausgedehnte flache Randbereiche aufweisen, können bereits geringe Wasserspiegelschwankungen zur Aufarbeitung erheblicher Sedimentmengen führen. In diesem Fall muß damit gerechnet werden, daß DR 3-zeitliche Sedimente, die während der Seespiegelbewegungen abgesetzt wurden, im wesentlichen aus AL-Material bestehen und dessen Pollenflora führen. Die Resultate der pollenanalytischen Untersuchung solcher Sedimente sind entsprechend zu bewerten.

Da die Pollenflora AL-zeitlicher Torfe und See-Sedimente erheblich von einander abweichen kann – Torfe dürften im allgemeinen höhere NBP-Anteile aufweisen – ist damit zu rechnen, daß sich am Übergang vom primären AL-Sediment zu umgelagerten AL-Torf eine Veränderung der Pollenflora, z.B. eine Zunahme der NBP, erkennen läßt, wie sie für die Wende AL/DR 3 charakteristisch ist. Ähnliche Effekte können erwartet werden, wenn bei einer Seespiegelsenkung ufernah abgesetztes Sediment seewärts verfrachtet wor-

den ist. Eine Zunahme der NBP-Werte am Ende AL ist also auch denkbar, wenn DR 3 - zeitliches Sediment vorwiegend aus AL-Material besteht; sie kann danach auch nicht Argument gegen Umlagerung sein. -

Eine Wasserspiegelsenkung an der Wende AL/DR 3 oder danach ist wahrscheinlich die Ursache für die im KBM und anderen Sedimentationsräumen beobachtete Erosion AL-zeitlichen Sediments. Mag der resultiertende Hiatus im Fall KBM und RBM auch gering sein, so muß in anderen Fällen damit gerechnet werden, daß spät-allerödzeitliche Sedimente weitgehend abgetragen worden sind. Dies könnte Erklärung dafür sein, daß das AL nach AVERDIECK (mündl.) in einigen wenigen, nicht publizierten Diagrammen aus Schleswig-Holstein nicht den üblichen spät-allerödzeitlichen Kiefern-Anstieg erkennen läßt (vgl. Abschnitt B 2, p. 140).

VII DIE ERGEBNISSE DER POLLENANALYSE

VII A DIE GLIEDERUNG DER POLLENDIAGRAMME

Die Gliederung der beiden hier vorgelegten Diagramme und die Benennung der unterschiedenen Zonen erfolgt nach dem folgenden Schema:

		Zonen nach OVERBECK und SCHNEIDER	Zonen nach FIRBAS bzw. JESSEN, IVERSEN	Bezeichnungen (in dieser Arbeit)	Abkürzungen
Postglazial		V	IV	Präboreal	PB
Spätglazial		IV	III	Jüngere Tundrenzeit Dryas 3	DR 3
		III	II	Alleröd c b a	AL
		IIb	Ic	Mittlere Tundrenzeit Dryas 2	DR 2
		IIa	Ib	Ältere Tundrenzeit s.l. Dryas 1+2 — Bölling	BÖ
		I	Ia	Ältere Tundrenzeit s.l. Dryas 1+2 — Älteste Tundrenzeit Dryas 1	DR 1
Pleni-glazial					

Für eine Wärmeschwankung älter als BÖ, wie sie MENKE (1968) in einigen schleswig-holsteinischen Diagrammen zu erkennen glaubt ("Meiendorf-Intervall"), ergaben sich keine Anhaltspunkte. - Das Alleröd läßt eine 3-Gliederung erkennen: außer einem frühen Kiefernpollen-ärmeren und einem späten Kiefernpollen-reicheren Abschnitt kann ein mittlerer mit anscheinend geringerer Bewaldungsdichte ausgegliedert werden. - Die von IVERSEN (1954) und anderen Skandinaviern ausgeschiedene DR 3/PB-Übergangszone kann zwar unterschieden werden, ist aber in den Diagrammen nicht abgetrennt worden.

A 1 Das Diagramm Rabensbergmoor

Älteste Tundrenzeit - DR 1. Die pollenanalytische Grenze zwischen Pleniglazial und DR 1 kann nach V.D. HAMMEN (1953) dort angenommen werden, wo die Artemisia-Kurve von sehr niedrigem Niveau zu den Werten ansteigt, die für die Ältere Tundrenzeit s.l. charakteristisch sind. Dem Diagramm RBM fehlt solch ein Anstieg. Die Werte liegen bis zum Beginn von AL zwischen 2 und 4%. Pleniglaziale Abschnitte im Sinne V.D. HAMMEN's sind also nicht erfaßt; das Diagramm beginnt mit Spektren der Ältesten Tundrenzeit. Die relativ hohen Juniperus-Werte der Spektren 2 und 3 weisen in dieselbe Richtung.

Bölling - BÖ. Die Untergrenze dieser Zone ist dort angenommen, wo erste deutlich höhere Baumbirken-Werte zu einem Rückgang der NBP-Werte führen. Dieses Niveau fällt mit einem Anstieg der Empetrum-Kurve zusammen.

Die Baumbirken-Kurve oszilliert anfänglich stark. Das mag nach den Angaben auf Seite 90/93 Ausdruck einer Störung sein. Andererseits können die Spektren geringer Baumbirken-Häufigkeit (11, 14, 16) sicher nicht durch die Annahme erklärt werden, daß DR 1-zeitliches Sediment wiederholt über jüngeres gelangte. Das folgt vor allem aus dem Verhalten der Empetrum-Kurve, die während DR 1 Werte >1% nicht überschreitet, dann aber von Spektrum 10 - 16 einen sehr stetigen Anstieg von 1.5 - 6% vollzieht. Ebenso sprechen die gleichbleibend niedrigen Werte von Helianthemum, Menyanthes und Equisetum gegenüber deutlich höheren während DR 1 gegen eine Lagerungsstörung. So darf angenommen werden, daß die Schwankungen der Baumbirken-Kurve im frühen BÖ eher Ausdruck von Bestandsschwankungen im Verlauf der Einwanderung der Baumbirke sind.

Mittlere Tundrenzeit - DR 2. Diese Zone ist wie üblich (IVERSEN 1942, V.D. HAMMEN 1953, MÜLLER 1953, DIETZ / GRAHLE / MÜLLER 1958 u.a.) durch ein markantes, d.h. kurzzeitiges aber kräftiges Maximum der NBP-Häufigkeiten realisiert. Dieses resultiert in erster Linie aus erhöhten Cyperaceen-, Poaceen- und Artemisia-Werten. (Bemerkenswert ist, daß die klimatischen Ursachen des auffälligen Vegetationswechsels keine deutlichen sedimentologischen Konsequenzen gehabt haben: Die allgemeine Zunahme des Glühverlustes zum Alleröd hin läßt während DR 2 allenfalls eine Verzögerung erkennen.)

Alleröd - AL. Die Zone kann in 3 Abschnitte gegliedert werden. Einmal lassen sich ein früher Kiefernpollen-armer und ein später Kiefernpollen-

reicherer Abschnitt unterscheiden. Der Unterschied zwischen den Kiefern-Werten der beiden Abschnitte ist zwar mit durchschnittlich 4.5 % (Spektr. 28 - 37) gegenüber durchschnittlich 8.5 % (Spektr. 38 - 63) relativ gering, die jeweils nur unbedeutenden Abweichungen von diesen Durchschnittswerten lassen aber an der Signifikanz dieses Unterschieds keinen Zweifel zu. Ferner ist der Kiefernpollen-reichere Abschnitt vor allem durch höhere Filipendula-, Sphagnum- und Polypodiaceen-Werte gekennzeichnet.

Anlaß zur Abtrennung eines 3. Abschnittes (AL b) sind deutliche und völlig synchrone Maxima der beiden lichtbedürftigen Taxa Juniperus und Salix zu Beginn des Kiefernpollen-reicheren Abschnitts und die Depression der Baumbirken-Kurve im selben Niveau. Salix erreicht hier mit >6 % die höchsten Werte des gesamten Diagramms, die Baumbirke fällt auf die niedrigsten während des Alleröd (45 %). (Auf die schwache Depression der Glühverlust-Kurve sei hingewiesen.) Das Verhalten der genannten Taxa deutet auf eine Lichtung der Birken-Wälder inmitten AL (Näheres in Abschnitt B 2, p. 140). Ein weiteres Juniperus-Maximum am Ende AL ist nicht mit entsprechenden Bewegungen der Baumbirken- und Salix-Kurve verknüpft.

Jüngere Tundrenzeit - DR 3. Die Grenze AL/DR 3 ist im Niveau des plötzlichen Sedimentwechsels zwischen Feindetritus-Gyttja und Schwemmtorf angenommen worden. Da in diesem Niveau die NBP-Werte sprunghaft zunehmen, ist die Lage der Grenze auch pollenanalytisch gerechtfertigt (vgl. aber Abschnitt VI, p. 109).

Eine Untergliederung von DR 3, die sich vor allem aufgrund des unterschiedlichen Betula alba/nana-Verhältnisses anzubieten scheint, wurde nicht vorgenommen: In den älteren DR 3-Sedimenten dürfte umgelagertes AL-Material enthalten, die Baumbirke also überrepräsentiert sein. Entsprechend könnte deren allmähliche Abnahme nach oben (und die parallele Zunahme der B. nana-Werte) wenigstens teilweise auf aufwärts abnehmende Anteile der aus dem AL stammenden Sedimentkomponenten zurückzuführen sein. Auffällig ist zumindest, daß deutlich und sicher höhere B. nana-Werte erst dort einsetzen, wo die Sedimentation sehr detritusarmer, schluffiger Feinsande beginnt (Spektr. 89+90). Da diese Feinsande offenbar im ganz flachen Wasser des zu dieser Zeit weitgehend verlandeten RBM-Sees abgesetzt worden sind (Abschnitt VII C, p. 151), muß ferner damit gerechnet werden, daß die hohen B. nana-Werte auf unmittelbar angrenzenden Beständen beruhen und nur lokale Verhältnisse wiedergeben. Der Wechsel im B. alba/nana-Verhältnis läßt also keine sicheren Schlüsse auf überlokale Vegetationsveränderungen während DR 3 zu. (Auf die Parallelität von B. nana- und Selaginella-Höchstwerten (Spektr. 91 - 102) sei hingewiesen.)

Präboreal - PB. Die Grenze DR 3/PB ist dort angenommen, wo die NBP-Werte als Folge steigender Baumbirken-Werte deutlich abfallen und Populus einsetzt. In diesem Niveau kann aufgrund des deutlichen Juniperus-Maximums (Spektr. 111, 112) und der ansteigenden Filipendula- und Urtica-Werte die DR 3/PB-Übergangszone im Sinne IVERSEN's (1954) ausgegliedert werden. (Die Maxima von Filipendula und Urtica fallen anscheinend in die Zeit bereits ± geschlossener präborealer Bewaldung.)

[Die mit den Spektren 117 - 119 erfaßte erneute Zunahme der NBP ist sicher

nicht Ausdruck der von BEHRE (1966) auch für Ostfriesland wahrscheinlich gemachten Piottino-Schwankung, sondern allein das Resultat höherer Cyperaceen-Werte als Folge der nun vollständigen Verlandung des RBM-Sees (vgl. Equisetum und Menyanthes).]

A 2 Das Diagramm Kubitzbergmoor

Ältere Tundrenzeit s.l. - DR 1+2. Gleichbleibend hohe Artemisia-Werte von Anfang an zeigen, daß pleniglaziale Abschnitte im Sinne VAN DER HAMMEN's nicht erfaßt worden sind.

Wenn angenommen wird, daß die Bölling-Wärmeschwankung stets in deutlich erhöhten Baumbirken-Werten zum Ausdruck kommt, so fehlt jeder Hinweis auf diese Zone. Denn alle vorallerödzeitlichen Schwankungen der Birkenpollen-Häufigkeit beruhen nach Abschnitt 3a, p. 57, auf Schwankungen der B. nana-Werte; die Baumbirken-Werte sind nahezu konstant (vgl. vor allem Abb. 19). Vor der Differenzierung der Birkenpollen war angenommen worden, daß das Birken-Maximum der Spektren 18 - 20 BÖ repräsentiere. Die Annahme schien sowohl durch das anschließende, vor allem auf höheren Poaceen-Werten beruhende NBP-Maximum (Spektr. 21, 22), als auch durch die Tatsache gestützt, daß die Spektren 18 - 20 einem Horizont entstammen, der mit deutlich dunklerer Färbung höhere Anteile an organischer Substanz zu enthalten schien (Phot. 4). Da aber auch diese letzte Annahme nicht bestätigt werden konnte (Abschnitt II C, p. 15), scheint die Bölling-Wärmeschwankung im Diagramm KBM entweder nicht erfaßt worden zu sein, oder aber weder in höheren Baumbirken-Werten noch sedimentologisch zum Ausdruck zu kommen.

Alleröd - AL. In weitgehender Übereinstimmung mit dem AL vom Rabensbergmoor ist auch hier eine 3-Gliederung zu erkennen: Einem frühen Kiefernpollen-armen Abschnitt folgt ein Kiefernpollen-reicherer, für den wieder höhere Filipendula-, Sphagnum- und Polypodiaceen-Werte charakteristisch sind. Maxima von Juniperus und Salix zu Beginn des Kiefernpollen-reicheren Abschnitts und eine synchrone Depression der Baumbirken-Kurve gestatten die Abtrennung der Zone ALb. Auf die Depression der Glühverlust-Kurve sei hingewiesen.

Zusätzlich könnte der ältere Abschnitt des ALa als selbständige DR 2/AL-Übergangszone abgetrennt werden. Sie würde den Zeitraum vom Beginn der Erwärmung bis zur ± weitgehenden Bewaldung umfassen. Kriterien wären die ausgedehnten Juniperus- und Salix-Maxima und die zunächst noch hohen Werte von B. nana, Artemisia, Helianthemum, Selaginella u.a. Die AL-Untergrenze würde dann nicht mit dem Anstieg der Juniperus- und Salix-Kurve zusammenfallen, sondern mit deren Abfall.

Jüngere Tundrenzeit - DR 3. Die Grenze AL/DR 3 ist, wie beim Diagramm RBM, im Niveau des schlagartigen Wechsels vom warm- zum kaltzeitlichen Sediment angenommen. In diesem Niveau erfolgt zugleich die stärkste Zunahme der NBP.

[Der schlagartige Sedimentwechsel an der Wende AL/DR 3 ist nach Abschnitt 2b, p. 98 f., Ausdruck eines Hiatus. Dessen Umfang ist schwer ab-

zuschätzen. Das Fehlen von deutlich sprunghaften Veränderungen der Pollenhäufigkeiten spricht für einen geringen Umfang.

Die Spektren 72 - 76 weisen deutlich höhere Baumbirken-Werte auf. Obwohl diese Werte allein das Ergebnis morphologisch-habitueller Differenzierung sind, also nicht anhand objektiver Kriterien bestätigt werden konnten (vgl. p. 60: Jüngere Tundrenzeit), könnten sie zumindest tendenziell zutreffend sein. Folgende Indizien deuten darauf hin:

(1) Im Niveau der Spektren 72 - 76 wurden die höchsten Glühverluste während DR 3 ermittelt (>10 %).

(2) Dem An- und Abstieg der Baumbirken-Kurve entspricht eine spiegelbildliche Bewegung der Kiefern-Kurve. Die Kiefer fällt hier auf Werte unter 7 %, die sie während DR 3 sonst nur zu deren Beginn unterschreitet – bei ebenfalls höheren Baumbirken-Werten (Spektr. 51 - 54). Möglicherweise liegt eine Depression der (sehr wahrscheinlich auf Fernflug beruhenden) Kiefern-Werte durch höhere örtliche Baumbirkenpollen-Produktion vor. [1]

(3) Mit dem Baumbirken-Höchstwert (Spektr. 74) fällt einer der höchsten Juniperus-Werte während DR 3 zusammen.

In Verbindung mit diesen Indizien könnten die höheren Baumbirken-Werte der genannten Spektren also tatsächlich Ausdruck einer vorübergehenden Baumbirken-Ausbreitung während DR 3 sein. Bedenken gegenüber dieser Annahme müssen indessen vor allem aus folgendem Grund geäußert werden: Die höheren Glühverluste der Spektren 72 - 76 entsprechen einer der charakteristischen detritushaltigen Lagen im DR 3-Schluff. Diese Lagen dürften nach Abschnitt 2b, p. 98 f., umgelagertes AL-Material enthalten, zumindest aber nicht synchrone Horizonte sein.

Präboreal - PB. Die Grenze DR 3/PB ist im Niveau des ± synchronen Anstiegs der Baumbirken-, Juniperus-, Filipendula- und Urtica-Kurven angenommen. In diesem Niveau setzt zugleich Populus ein. Wieder kann aufgrund der nur anfänglich hohen Juniperus-Werte eine DR 3/PB-Übergangszone im Sinne IVERSEN's ausgeschieden werden.

VII B GLIEDERUNG UND ZONEN DES SPÄTGLAZIALS IN SCHLESWIG-HOLSTEIN

Dieser Abschnitt dient einem Vergleich aller wesentlichen Spätglazial-Diagramme aus Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Diagramme RBM und KBM, die aufgrund geringen Probenabstandes, weitgehender pollenfloristischer Differenzierung und sorgfältiger Beachtung möglicher Fehler durch Sedimentationsstörungen die bislang sichersten Aussa-

---

1) Bei dieser Annahme bleibt allerdings schwer verständlich, warum sich das BP/NBP-Verhältnis nicht stärker verändert hat.

gen zulassen. Ziel des Vergleichs ist in erster Linie, die bisherigen Angaben zur Zonengliederung (bzw. -untergliederung) des schleswig-holsteinischen Spätglazials zu überprüfen und zu ergänzen. Dabei gilt den vor-alleröd zeitlichen Abschnitten, vor allem der Bölling-Schwankung, besondere Aufmerksamkeit: Aussagen über diesen Zeitraum in manchen der älteren Arbeiten entsprechen sicher nicht der statistischen Substanz der zugrundeliegenden Diagramme. Das gilt zumindest dann, wenn mögliche bzw. wahrscheinliche Störungen in Betracht gezogen werden. In diesen Fällen ist also eine kritische Bewertung erforderlich.

Ferner gilt dieser Abschnitt dem Vergleich der spätglazialen Vegetationsentwicklung in Schleswig-Holstein mit der im übrigen nördlichen Mitteleuropa und im südlichen Skandinavien.

B 1 Das vor-alleröd zeitliche Spätglazial und das Problem der Bölling-Schwankung

Nachdem die Untersuchungen von IVERSEN (1942) am mittel-jütländischen Bölling-See ergeben hatten, daß das vor-alleröd zeitliche Spätglazial in Älteste Tundrenzeit, Bölling-Wärmeschwankung und Mittlere Tundrenzeit gegliedert werden kann, ist diese Gliederung mehrfach bestätigt worden. Überzeugende BÖ-Nachweise lieferten vor allem die Arbeiten von VAN DER HAMMEN (1953 - Holland), H. MÜLLER (1953 - Gaterslebener See, Mitteldeutsches Trockengebiet) und DIETZ / GRAHLE / MÜLLER (1958 - Seckbruch, Hannover).

Alle diese Nachweise zeigen, daß BÖ durch einen sehr deutlichen Rückgang der Baumpollen- (Birken- bzw. Kiefern-)Werte während DR 2 vom AL abgesetzt ist. Der entsprechende Anstieg der NBP-Werte resultiert nicht nur aus steigenden Cyperaceen-Werten (die bei kleinen Sedimentationsräumen auf seewärtiger Ausdehnung randlicher Seggen-Bestände beruhen könnten), sondern in allen diesen Fällen zugleich auf deutlich höheren Werten der Poaceen. Vielfach sind auch die Werte der sicher grundwasserunabhängigen Artemisia leicht erhöht.

Die genannten Nachweise – vor allem der vom Gaterslebener See – zeigen zugleich, daß der Vegetationswandel von BÖ bis AL auch in klimatisch günstigeren Landschaften pollenanalytisch noch voll zur Wirkung kam. (DIETZ / GRAHLE / MÜLLER rechnen für DR 2 mit anscheinend weitgehender Vernichtung der Gehölze (außer Salix und Betula nana) nördlich der Mittelgebirge).

Unter diesen Voraussetzungen sollte erwartet werden, daß BÖ und DR 2 in schleswig-holsteinischen Diagrammen, die diese Zonen umfassen, stets deutlich zum Ausdruck kommen. Indessen zeigen die bisher vorliegenden Untersuchungen, daß klare Belege die Ausnahme sind, während in den meisten Diagrammen – entgegen vielfach vertretener Auffassung – BÖ und DR 2 entweder gar nicht oder nur andeutungsweise (und dann mitunter in anderen Diagrammabschnitten als vermutet) erkannt werden können. Das sei im folgenden erläutert; der hierbei getriebene Aufwand ist schon deshalb gerechtfertigt, weil auf vermeintlichen oder höchst unsicheren BÖ-Nachweisen z.T. weitreichende Folgerungen basieren:

1 a Die Diagramme aus der schleswig-holsteinischen Jungmoräne

(I) Die Diagramme aus dem Meiendorf-Ahrensburger "Tunneltal" [1] (SCHÜTRUMPF 1935 - 1955).

Bereits in einem der ersten dieser Diagramme (Stellmoor A, 1935/43) wurden von IVERSEN (1942) Hinweise auf BÖ vermutet. Nach FIRBAS (1954) "scheint sich diese Schwankung" in demselben Diagramm "gut herauszuheben". Spätere Diagramme SCHÜTRUMPF's, vor allem das von Poggenwisch (1955), scheinen den BÖ-Nachweis zu bestätigen. MENKE (1968) sieht in den Diagrammen von Meiendorf, Stellmoor und Poggenwisch nicht nur Belege für BÖ, sondern Hinweise auf eine weitere, vor-böllingzeitliche Wärmeschwankung ("Meiendorf-Intervall"). Bei einer vergleichenden Bewertung aller dieser Diagramme, wie sie im folgenden anhand der Abb. 32, p.125, vorgenommen sei, müssen indessen erhebliche Zweifel an der Richtigkeit dieser Deutungen aufkommen. Es kann davon ausgegangen werden:

(a) Die Diagramme entstammen einem (geomorphologisch einheitlichen) Gebiet von sehr geringer Ausdehnung (maximal ~3.5 km). Innerhalb eines derart kleinen Gebietes ist weitgehende Übereinstimmung des regionalen Pollenniederschlags gewiß. Stärkere Veränderungen in dessen Zusammensetzung müssen – wenn nicht durch gegenläufige Veränderungen des lokalen Pollenniederschlags zufällig verwischt – von allen Diagrammen registriert werden (hinreichend geringer Probenabstand vorausgesetzt). Umgekehrt sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Diagrammen auf vorwiegend lokale Ursachen zurückzuführen (vgl. auch ALETSEE 1959: Tafel VIII, Abb. 15).

(b) Die Pollenanalysen wurden an Sedimenten ausgeführt, die in über tauendem Toteis einsinkenden Hohlformen abgesetzt worden sind. Das Tieftauen hat hier – wie von GRIPP(1936, 1943) anschaulich geschildert – zu ganz erheblichen Lagerungsstörungen geführt. Nachweislich ist älteres Sediment durch subaquatische Rutschungen und andere Phänomene wiederholt über jüngeres gelangt. Folge waren z.T. erhebliche Komplikationen der Diagramme, wie von SCHÜTRUMPF (1936) unter anderem am Beispiel des Diagrammes Meiendorf A_1 überzeugend dargestellt (näheres unten). Das genannte Diagramm dürfte nur ein besonders demonstratives Beispiel für Lagerungsstörungen sein. Bei den anderen muß mit ähnlichen Komplikationen gerechnet werden.

(c) Die untersuchten Hohlformen sind klein bis sehr klein. Soweit aus den Arbeiten SCHÜTRUMPF's zu entnehmen, betrug die Entfernung der Profil-Entnahmestellen zur Uferlinie zumindest zeitweise nur wenige m bis 1 oder 2 Dm. Der Einfluß des lokalen Pollenniederschlags war entsprechend groß. (Extremes Beispiel ist das Diagramm Pinnberg, dessen mittlerer Abschnitt den Torfen eines kleinen, im Querschnitt nur etwa 5 m messenden Seggen-Moores ent-

---

1) Die Existenz echter Tunneltäler in Schleswig-Holstein ist zu bezweifeln (vgl. HORMANN 1969).

stammt (näheres unten).

(d) Nach (b) und (c) kann nicht bezweifelt werden, daß die von den Diagrammen registrierten Veränderungen der Pollenzusammensetzung z.T. auf Lagerungsstörungen und/oder Schwankungen im lokalen Pollenniederschlag beruhen. Unter diesen Voraussetzungen ist anzunehmen, daß Veränderungen der regionalen Vegetation nicht durch die differenziertesten, d.h. an Schwankungen reichsten Diagramme, sondern die mit dem ruhigsten Kurvenverlauf am besten wiedergegeben werden (hinreichend geringer Probenabstand vorausgesetzt).

(e) Gleich langen Abschnitten der einzelnen Diagramme entsprechen z.T. sehr unterschiedliche Sedimentmächtigkeiten. Für den Zeitraum zwischen Hippophaë- und allerödzeitlichem Kiefern-Maximum (die beide nach (a) als ± synchron gelten dürfen) sind Kalk-Gyttjamächtigkeiten zwischen 0.3 und 2.5 m verzeichnet. Derartige Unterschiede dürften nur z.T. auf grundsätzlich unterschiedlichen Sedimentationsraten in den einzelnen Hohlformen bzw. Hohlform-Teilen zurückzuführen sein. Vielmehr muß vermutet werden, daß die mächtigsten Kalk-Gyttjen aus besonders tief eingesunkenen Hohlformen bzw. Hohlform-Teilen stammen und z.T. das Ergebnis von Sediment-Akkumulation als Folge subaquatischer Rutschungen sind (vgl. die Angaben zu den Diagrammen Stellmoor, p. 120).

[Unter diesen Umständen kann die Sedimentmächtigkeit natürlich kein Zeitmaß sein: Die Annahme, hier lägen besonders weit zurückreichende spätglaziale Serien vor, kann durch deren z.T. erhebliche Mächtigkeit weder begründet noch gestützt werden. Ferner ist damit zu rechnen, daß hohe Sedimentmächtigkeiten durch Bohrung in ± steilgestellten Schichten vorgetäuscht worden sind.]

(f) Fast alle Diagramme, die bis zum Boden der Hohlformen hinabreichen, zeigen, daß die limnische Sedimentation mit einer Kalk-Gyttja begann. Später, während der Kiefern-Phase des AL, wurde vielfach ein Seggentorf gebildet. Ausnahme sind die 3 letzten Diagramme der Abb. 32: Das Diagramm Pinnberg belegt Seggentorf-Bildung schon zur Zeit des sicher vor-allerödzeitlichen Hippophaë-Maximums. Im Fall der Diagramme Borneck und Poggenwisch wurde bis in das späte AL Kalk-Gyttja gebildet. Der Wechsel Gyttja/Seggentorf erfolgte also zu ganz verschiedenen Zeiten, d.h. ohne erkennbaren Temperatur-Bezug; er läßt umgekehrt auch keine temperaturklimatischen Aussagen zu.

[Diese Folgerung ist in Toteis-bürtigen Hohlformen an sich selbstverständlich. Veränderungen von Wassertiefe und Sedimentcharakter bei sich verändernden Temperaturen sind hier Funktion von Verdunstung, Sedimentationsgeschwindigkeit und Absenkung des Seebodens als Folge des Toteis-Tieftauens. Der Wechsel von limnischer zu telmatischer Sedimentation kann beispielsweise auch dann eintreten, wenn bei fallenden Temperaturen das Abschmelzen des Toteises stagniert, die Verlandung aber fortschreitet.]

(g) In Sedimenten aus Hohlformen, die über tauendem Toteis einsinken, dürfen höhere Sandgehalte nicht als Indizien für ein kühleres Klima gewertet werden. Sie können ebenso das Resultat stärkeren Tieftauens infolge höherer Temperaturen sein (vgl. GRIPP 1936). In Abb. 32 ist deshalb darauf verzichtet, die unterschiedlichen Sandgehalte der Kalk-Gyttja anzugeben.

Werden die Diagramme aus dem Meiendorf-Ahrensburger "Tunneltal" unter Berücksichtigung dieser Angaben bewertet, so ergibt sich zunächst – vor allem nach (b) bis (d) –, daß sie für Aussagen über regionale Vegetationsveränderungen eher ungeeignet sind. Derartige Aussagen können nur dann Vertrauen erwecken, wenn sie sich auf Veränderung der Pollenzusammensetzung stützen, die in allen oder doch den meisten (hinreichend dicht analysierten) Diagrammen zum Ausdruck kommen. In diesem Sinne lassen die Diagramme die folgenden gemeinsamen Züge erkennen:

(1) Ein deutliches Maximum der Hippophaë-Werte[1)], das stets mit einem NBP-Maximum zusammenfällt. (Nach (a) dürften diese Maxima synchron sein. Sie dienten daher in der Abb. 32 zur Konnektierung der unteren Diagramm-Abschnitte.)

(2) Nach dem Hippophaë/NBP-Maximum einen deutlichen, wenngleich vielfach sehr kurzfristigen Anstieg der Birkenwerte bei zunächst gleichbleibenden Kiefern-Werten. (In diesem Niveau, das in der Abbildung als gepunktete Linie wiedergegeben ist, die Untergrenze der Zone II im Sinne SCHÜTRUMPF's.)

(3) Unmittelbar vor der Kiefern-Phase des AL hohe oder höchste Birken-Werte: Birken-Phase des AL (Zone IIIa im Sinne SCHÜTRUMPF's; in den Diagrammen von Meiendorf noch nicht ausgeschieden, hier Teilen der Zone II entsprechend). Ausnahme ist das Diagramm Stellmoor A.

Diesen gemeinsamen Zügen steht gegenüber, daß die Birken-Kurve zwischen ihrem Anstieg nach dem Hippophaë/NBP-Maximum und ihrem allerödzeitlichen Hochstand (d. h. innerhalb der Zone II SCHÜTRUMPF's) ein von Diagramm zu Diagramm sehr unterschiedliches Verhalten zeigt. In einigen Diagrammen erfolgt nach gleichmäßigem Anstieg ein ebenso gleichmäßiger Abfall zur Kiefern-Phase des AL, bei annähernd gleichbleibenden NBP-Werten. In anderen lassen sich dagegen deutliche Rückgänge erkennen, die offensichtlich aus höheren NBP-Werten resultieren. Diese Rückgange haben bei den Diagrammen Stellmoor A, Pinnberg und Poggenwisch zur Gliederung der Zone II in BÖ und DR 2 veranlaßt.

Die Tatsache, daß BÖ und DR 2 nur in einigen der Diagramme realisiert zu sein scheinen, muß nach den oben gemachten Angaben zu einer kritischen Betrachtung des fraglichen Abschnitts bei allen Diagrammen veranlassen.

---

1) Die Veränderungen des Betula/NBP-Verhältnisses unterhalb des Hippophaë-Maximums werden später betrachtet (p. 134 f., Abschnitt 1 b).

Dabei ergibt sich im einzelnen:

Meiendorf A. Nach deutlichem Hippophaë/NBP-Maximum kontinuierlicher Anstieg der Birken-Kurve zum AL. Mit geringem Proben-Abstand und ruhigem Kurven-Verlauf ein Diagramm im Sinne der unter (d) formulierten Forderung! - Kein Hinweis auf BÖ.

Meiendorf A_1. Nach deutlichem Hippophaë/NBP-Maximum und anschließendem Anstieg der Birken-Kurve 3 Spektren mit niedrigen Birken- und hohen Poaceen-Werten. Diese Spektren stammen aus einer sandreichen Lage, die ausweislich umgelagerter Kulturreste zumindestens teilweise aus umgelagertem Sediment aus der Zeit der Hamburger Stufe besteht und folglich dessen Pollenflora zeigt (näheres bei GRIPP 1936 und SCHÜTRUMPF 1936). Dasselbe gilt sicher für die Sandlage bei 3.35 m und wahrscheinlich auch die bei 3.5 m (Hohe Poaceen-Werte!). Bleiben die Spektren der sandreichen Lagen unberücksichtigt, so gleicht das Diagramm dem vorhergehenden. - Kein Hinweis auf BÖ.

Stellmoor A und B. Im Diagramm Stellmoor A sind, wie gesagt, von mehreren Autoren Anzeichen bzw. Belege für BÖ und DR 2 gesehen worden. Der Verlauf der Birken- und NBP-Kurve scheint diese Annahme zu rechtfertigen: Die Birken-Werte steigen (nach sehr markantem Hippophaë/NBP-Maximum) zunächst deutlich an, fallen dann aber wieder ab, und zwar offensichtlich vorwiegend als Folge zunehmender NBP-Werte! Das NBP-Maximum unterhalb 4.5 m könnte also als DR 2, der vorhergehende Abschnitt hoher Birken-Werte als BÖ gedeutet werden. Dieser Deutung steht entgegen:

(1) Die höchsten NBP-Werte von "DR 2" (bei 4.5 m) lägen unmittelbar vor der AL-Kiefern-Phase. Es müßte also angenommen werden, daß eine AL-Birken-Phase, wie sie in allen übrigen Diagrammen (und zahlreichen weiteren aus dem nördlichen und mittleren Mitteleuropa) stets deutlich ausgebildet ist, ausgerechnet in dem Diagramm nicht entwickelt wäre, das mit fast 4 m die mächtigste spätglaziale Schichtfolge (excl. DR 3) umfaßt. Das ist unwahrscheinlich.

(2) Kurz oberhalb des Birken-Anstiegs im Anschluß an das Hippophaë/NBP-Maximum steigt die Kiefern-Kurve auf kontinuierlich hohe Werte zwischen 20 und 30%. Das ist in allen anderen relevanten Diagrammen erst unmittelbar vor der AL-Kiefern-Phase, d.h. im frühen bis mittleren AL der Fall (vgl. vor allem die Diagramme von Meiendorf, Borneck und Poggenwisch). Danach dürften die Birken-reichen Spektren oberhalb ~6.5 m ebenfalls in das AL zu stellen sein, d.h. die Birken-Phase repräsentieren.

Die aufwärts bis zum Maximum bei 4.5 m ansteigenden NBP-Werte wären dann als das Ergebnis von Lagerungsstörungen aufzufassen, auf die nach (e) bereits die ungewöhnlich hohe Mächtigkeit der Kalk-Gyttja und ferner deren stark wechselnder Sandgehalt hinweist. Da das Profil mit der DACHNOWSKY-Sonde erbohrt wurde, kann nicht davon ausgegangen werden, daß solche Störungen erkannt worden wären.

Einen weiteren Hinweis zur Beurteilung der Gliederung des Diagrammes Stellmoor A liefert Stellmoor B. Dieses Diagramm stammt aus demselben Sedimentationsraum, doch im Gegensatz zu A aus ufernahen (und flachen)

Randbereichen (vgl. SCHÜTRUMPF 1943: Abb. 1 u. 4 und GRIPP 1943: Tafel 3/2). Es umfaßt demgemäß andere und offensichtlich weit weniger mächtige Sedimente. Trotzdem ist die AL-Birken-Phase deutlich entwickelt.

[FIRBAS (1949, p. 407) konnektiert die beiden Diagramme von Stellmoor, indem er A oberhalb 4.5 m abbricht und B anschließt. Das widerspricht nicht nur der Konnektierung SCHÜTRUMPF's (1943: Abb. 5). Es würde auch bedeuten, daß im Entnahme-Bereich des Profiles A, d.h. in größerer Uferferne, bereits Seggentorf entstand, während in Ufernähe (B) noch Gyttja abgesetzt wurde.

Nach der von FIRBAS vorgenommenen Konnektierung sind nun sowohl eine AL-Birken-Phase, als auch ein deutliches, früheres Birken-Maximum zu erkennen. MENKE (1968), der diese Konnektierung übernimmt, schließt also scheinbar zurecht auf BÖ und DR 2.

Andererseits kann aber auch an der in Abb. 32 vorgenommenen Konnektierung der beiden Diagramme gezweifelt werden. Sie beruht im wesentlichen auf dem Hippophaë-Wert des untersten Spektrums des Diagrammes B, der mit 1.2% das Ausklingen des Hippophaë-Maximums anzudeuten scheint.]-

Stellmoor A kein überzeugender, Stellmoor B kein Hinweis auf BÖ.

P i n n b e r g. Das Diagramm nimmt stratigraphisch eine Sonderstellung ein: es entstammt einer ganz kleinen und flachen Hohlform, in der bereits vor dem AL Seggentorf gebildet worden ist. Darunter und darüber geringmächtige durch Rutschungen bzw. Kryoturbationen (?) stark gestörte Gyttjen. (Photographie der Stichwand bei RUST 1959: Tafel 36 und GRIPP 1964: Tafel 41).

Nach deutlichem Hippophaë-Maximum starke Schwankungen der Birken-Werte in offensichtlicher (reziproker) Beziehung zur Cyperaceen-Kurve. Danach kann kaum bezweifelt werden, daß die Bewegungen der Birken-Kurve in erster Linie auf Unterschieden in der Pollenproduktivität der lokalen Seggen-Bestände bzw. unstatistischer Verteilung der Cyperaceen-Pollen im Torf beruhen. Da Poaceen- und Cyperaceen-Kurve keine Parallelität, sondern ebenfalls eher Gegenläufigkeit erkennen lassen, kann in den Bewegungen der Cyperaceen-Kurve nicht einmal eine deutliche regionale K o m p o n e n t e erkannt werden.

Wird trotzdem an den Vorstellungen SCHÜTRUMPF's (1958, p. 18) festgehalten, daß das Birken-Maximum am Beginn seiner Zone II (1.3 - 1.4 m) BÖ zuzuordnen sei, die folgenden 3 Spektren also DR 2 repräsentieren, so bleiben die hohen Kiefern-Werte dieser Spektren schwer bis unverständlich. Relativ höhere Anteile ferntransportierter Kiefern-Pollen infolge geringerer lokaler Birken-Pollenproduktivität kommen als Ursache nicht infrage, da die Kiefer ausweislich der regelmäßigen Stomata-Funde im Bereich der 3 "DR 2"-Spektren im Gebiet vorgekommen sein muß. [1] Man müßte also eine relative

---

1) Es sei denn, daß Juniperus- für Pinus-Stomata gehalten worden sind (vgl. IVERSEN 1939/40, p. 41).

Förderung dieser lokalen Bestände ausgerechnet in der kälteren Phase DR 2 annehmen (während der bei Hannover (DIETZ / GRAHLE / MÜLLER 1958) und selbst im mitteldeutschen Trockengebiet (MÜLLER 1953) deutliche Rückgänge der Pollenwerte einen Rückgang der dortigen Kiefern-Vorkommen belegen). Diese Schwierigkeit hat offenbar auch SCHÜTRUMPF gesehen: Er verlegt die Pinus-Stomata-Vorkommen im Bereich der "DR 2"-Spektren wohl versehentlich in den Bereich seiner BÖ-Schwankung (l.c. p. 18). - Kein Hinweis auf BÖ.

Borneck. Nach deutlichem Hippophaë/NBP-Maximum Anstieg der Birken-Werte; dann allmählicher Abfall zum ALb. - Kein Hinweis auf BÖ.

Poggenwisch. Nach deutlichem Hippophaë/NBP-Maximum kurzer Anstieg und anschließender Abfall der Birken-Werte. Dieser steht zunächst (3.9 und 3.95 m) mit erhöhten Cyperaceen-Werten in Verbindung (wie sie auch für die beiden Birken-"Minima" bei 3.1 und 3.6 m charakteristisch sind). Die niedrigsten Werte des Birken-Minimums (3.8 und 3.85 m) entsprechen unvermittelt hohen Kiefern-Werten. Diese dürften aber –wie oben erläutert– kaum Ausdruck von DR 2 sein! - Sicher kein überzeugender Hinweis auf BÖ.

Zusammenfassend ergibt sich, daß 5 der 7 Meiendorf-Ahrensburger Diagramme BÖ und DR 2 sicher nicht erkennen lassen, zumindest nicht oberhalb des Hippophaë-Maximums. Nur bei Stellmoor A und Poggenwisch könnten positive Hinweise vorliegen. Dieses Resultat ist bei gemeinsamer Bewertung aller Diagramme gemäß (a), p. 117, bereits ein starkes Argument gegen einen BÖ-Nachweis. Wird ferner berücksichtigt, daß die BÖ-Hinweise in den beiden genannten Diagrammen weder widerspruchsfrei sind, noch synchrone Niveaus betreffen dürften (man beachte die deutlich verschiedenen Pinus-Werte!), so bleibt angesichts der hohen Wahrscheinlichkeit von Diagramm-Komplikationen durch lokale Einflüsse gemäß (b) und (c), p. 117, anscheinend kein rationaler Grund, an einem BÖ-Nachweis festzuhalten. So gesehen bliebe als regional verbindliche pollenanalytische Aussage im wesentlichen nur das, was oben als allen Diagrammen gemeinsame Züge bereits herausgestellt worden ist (vgl. aber p. 136).

Die Tatsache, daß BÖ in den Meiendorf-Ahrensburger Diagrammen entgegen bisheriger Annahme oberhalb des Hippophaë-Maximums offenbar nicht realisiert ist, veranlaßt, die Lage der AL-Untergrenze in diesen Diagrammen zu überprüfen:

In seinen ersten Diagrammen (Meiendorf, Stellmoor A) hatte SCHÜTRUMPF diese Grenze mit dem stratigraphischen Wechsel von Kalk-Gyttja zum Seggentorf zusammenfallen lassen. Das war vor allem in der Annahme geschehen, daß die höheren AL-Temperaturen zur Verlandung der Seen führten, das AL also durch die Bildung von Seggentorf stratigraphisch charakterisiert sei (SCHÜTRUMPF 1943, p. 15, 21 und 25). Auf diese Weise wurden aber Birken-dominierte Diagramm-Abschnitte, die nach heutiger Kenntnis ganz fraglos in die AL-Birken-Phase zu stellen sind, vom AL abgetrennt. Sie gaben Anlaß zur Aufstellung einer selbständigen Zone (II, Birken-Phase) zwischen Waldloser Tundrenphase (I) und dem stratigraphisch definierten AL (III).

In späteren Diagrammen stellte SCHÜTRUMPF die jüngeren Spektren dieser

Birken-dominierten Diagramm-Abschnitte in die nun für weite Teile des mittleren Europa belegte Birken-Phase des AL (IIIa), die älteren aber weiterhin in die Zone II. (Inzwischen war deutlich geworden, daß der stratigraphische Wechsel Kalk-Gyttja/Seggentorf nicht zur unteren Begrenzung des AL dienen kann (vgl. (f), p. 118).) Die Abtrennung der Zone II von IIIa erschien nun vor allem dadurch begründet, daß in ihrem ersten Teil BÖ, in ihrem zweiten DR 2 realisiert zu sein schien. Da diese Annahme aber kaum aufrecht zu erhalten ist, besteht anscheinend auch keine Veranlassung, in diesem Niveau eine selbständige Zone II beizubehalten: Der Anstieg der Birken-Kurve oberhalb des Hippophaë/NBP-Maximums kennzeichnet den Beginn des AL. Allenfalls könnte hier eine DR 2/AL-Übergangszone ausgeschieden werden. Für deren Abgrenzung bietet aber die geringe pollenfloristische Differenzierung der Diagramme keine Handhabe.

Die von SCHÜTRUMPF vorgenommene Gliederung des Spätglazials ist von OVERBECK und SCHNEIDER (1938) und danach von zahlreichen anderen Autoren übernommen worden. Dabei ergaben sich vielfach Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Zone II ("Subarktische Birkenzeit", "Ältere Parktundrenzeit") - so z.B. bei OVERBECK selbst (1949, p. 381 und 387) und bei ALETSEE (1959, p. 27 f.). Diese Schwierigkeiten scheinen zumindest bei einigen der Arbeiten darauf zu beruhen, daß – wie bei den Diagrammen SCHÜTRUMPF's – versucht worden ist, Teile des frühen AL bzw. der DR 2/AL-Übergangszone als selbständige Zone II abzutrennen (vgl. z.B. die Angaben zum Diagramm Dätgen unter (II), p. 124 f., und das Diagramm Hinkelsmaar bei STRAKA 1958/1960). Daß andererseits die Abtrennung einer Phase lichter, vor-alleröd zeitlicher Birken-Wälder als Zone II nicht unberechtigt ist, hat der Nachweis der BÖ-Warmzeit ergeben, (die in der Gliederung nach SCHÜTRUMPF / OVERBECK als erster Abschnitt dieser Zone (IIa) rangiert). So dürfte also die bemerkenswerte Situation vorliegen, daß die Zone II in den Diagrammen SCHÜTRUMPF's, von denen sie ihren Ausgang nahm, zu Unrecht ausgeschieden worden ist, ihre Abtrennung aber durch den späteren Nachweis der BÖ-Schwankung grundsätzlich gerechtfertigt erscheint. -

Zutreffen der Annahme, daß die Zone II der Meiendorf-Ahrensburger Diagramme nicht BÖ und DR 2, sondern das frühe AL umfaßt, würde ferner bedeuten, daß manche Folgerungen, die auf der SCHÜTRUMPF'schen Gliederung beruhen, zu korrigieren sind oder fraglich werden (vgl. SCHÜTRUMPF 1955). So müßte angenommen werden, daß die Hamburger Kulturstufen I und II jünger sind, als bislang vermutet: Sie wären nicht deutlich ä l t e r als BÖ, sondern wahrscheinlich gleichaltrig (vgl. Abschnitt 1b, p. 134 f.)[1]. Das hieße, daß der "Grömitz-Vorstoß", der aufgrund von Artefakten, die in der Grömitzer Moräne gefunden worden sind und typologisch denen der Hamburger Stufe entsprechen (BRÜCKNER 1953), erkannt wurde, während DR 2 erfolgt sein müßte. Ein derartig später Eisvorstoß ist aber in Schleswig-Holstein nicht nur höchst unwahrscheinlich, ihm widerspräche auch der BÖ-Nachweis von Heiligenhafen durch SCHMITZ (1954 - vgl. p. 134: (IV)). Auf die Diskussion dieser Unstimmigkeiten sei vorerst verzichtet. -

---

1) Die ^{14}C-Daten zum Alter der Hamburger Stufen streuen so erheblich, daß sie kaum eine begründete Datierung zulassen.

Unterhalb des Hippophaë/NBP-Maximums lassen fast alle Diagramme aus dem Meiendorf-Ahrensburger "Tunneltal" ein ±ausgeprägtes Birken-Maximum erkennen (das MENKE (1968) in Verbindung mit Folgerungen aus anderen Diagrammen zur Ausgliederung seines "Meiendorf-Intervalls(?)" veranlaßte.) Inwieweit hierin ein Hinweis auf BÖ gesehen werden kann, wird in Abschnitt 1b, p. 134f., diskutiert.

(II) Die Diagramme Dätgen (ALETSEE 1959), Trent- und Köhlmoor (TIDELSKI 1960) und Kubitzbergmoor (Abb. 33, p. 131)

(mit einer Bewertung des spätglazialen Artemisia-Verhaltens im nördlichen Mitteleuropa).

Beim Diagramm vom Großen Moor bei Dätgen könnte nach ALETSEE (1959, p. 27) "der erneute, wenn auch geringe Anstieg der NBP in 685 cm Tiefe Ausdruck des kurzen Stadials der Älteren Dryaszeit (DR 2) sein, ... Der vorausgehende Diagrammabschnitt mit den ersten Betula-Fruchtfunden und dem kleinen Betula-Gipfel entspräche dann der Bölling-Oszillation." Andererseits hält ALETSEE es für "nicht ausgeschlossen, daß mit dem plötzlichen Absinken der hohen Artemisia-Prozente bei 705 cm die Allerödperiode einsetzt...". MENKE (1968) schließt sich der ersten Deutung ALETSEE's an und vermutet darüber hinaus in den vorhergehenden Schwankungen des BP/NBP-Verhältnisses Hinweise auf sein "Meiendorf-Intervall(?)" und seine "Grömitz-Oszillation(?)".

Die geringe, vor allem auf unterschiedlichen Cyperaceen-Werten beruhende Differenz zwischen den NBP-Werten in 6.95 und 6.85 m Tiefe muß bereits Zweifel daran erwecken, daß hier der tiefgreifende vegetationskundliche Wandel BÖ-DR 2 zum Ausdruck kommt. Umgekehrt lassen sich für die zweite Deutung ALETSEE's, die das AL mit dem Artemisia-Abfall beginnen läßt, gute Gründe anführen. (Dabei ergeben sich zugleich Bedenken gegen die von MENKE vorgenommene weitere Untergliederung des Diagrammes.):

(1) Ein Vergleich des Diagrammes Dätgen mit dem dicht analysierten vom nur 30 km nördlich liegenden Kubitzbergmoor (vgl. die Karte in Abb. 33) läßt Übereinstimmung in wesentlichen Zügen erkennen: Bei Birken-Werten um 35% zunächst ein Hippophaë-Maximum mit annähernd 20 bzw. mehr als 10%. Danach steigende und bald maximale Werte von Helianthemum sowie kontinuierlich hohe bis höchste Artemisia-Werte. Dann schneller und annähernd synchroner Abfall beider Taxa (Abb.: "Artemisia-Abfall"). Genau in diesem Niveau übersteigt die Birken-Kurve nach kurz zuvor beginnendem deutlichen Anstieg erstmals 50%. Später werden maximal wenig über 70% erreicht, bevor höhere Kiefern-Werte (als Ausdruck der AL-Kiefern-Phase) den Birken-Abfall zur DR 3 einleiten.

Die weitgehende Übereinstimmung der beiden Diagramme dürfte zu der in Abb. 33 vorgenommenen Konnektierung berechtigen, zumal alle übrigen aus der weiteren Umgebung Kiels vorliegenden Diagramme zwanglos angeschlossen werden können. (Für den Pinus-Anstieg, der möglicherweise allein auf Fernflug beruht, kann in einem derart kleinen Gebiet praktisch Synchronität angenommen werden. Dasselbe gilt für den Artemisia-Abfall

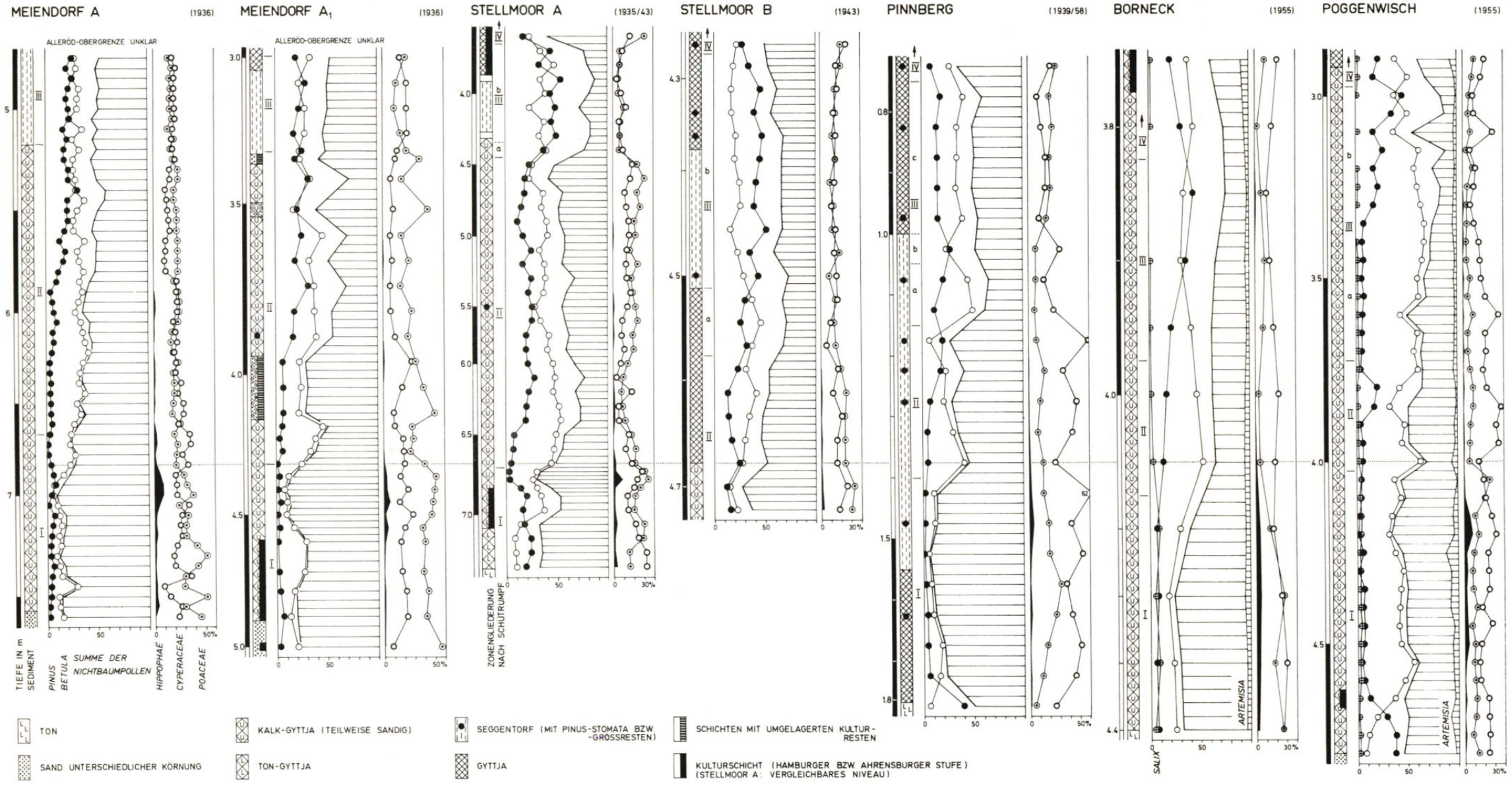


Abb. 32 Die Diagramme von Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935-1958). Auf "IVERSEN"-Darstellung umgerechnet bzw. (Borneck, Poggenwisch) nur maßstabsverändert umgezeichnet. Die jüngeren Diagramm-Abschnitte sind fortgelassen, ebenso die Salix-Kurven, sofern sie Artemisia enthalten.

in Verbindung mit dem ersten deutlichen Birken-Anstieg (vgl. unten). Bezweifelt werden könnte dagegen die Synchronität der Hippophaë-Maxima. Sie könnten auf lokaler Massenentfaltung des Strauches zu verschiedenen Zeiten beruhen. Indessen deutet die Tatsache, daß die Hippophaë-Maxima der vorliegenden Diagramme stets mit einem NBP-Minimum oder doch mit abnehmenden NBP-Werten zusammenfallen und stets(?) vor den Helianthemum-Höchstwerten liegen eher auf ein im Raum dieser Diagramme synchrones Phänomen (vgl. aber p. 136 f.: (1)-(3)).

Wird die in Abb. 33 vorgenommene Konnektierung als richtig vorausgesetzt, so kann die auf lückenlosen Probenabstand und weitgehende pollenfloristische Differenzierung gestützte Gliederung des Diagrammes Kubitzbergmoor auf das Diagramm Dätgen (und die beiden anderen) übertragen werden. Das bedeutet im einzelnen:

(a) Der Artemisia-Abfall liegt beim Diagramm Kubitzbergmoor eindeutig am Beginn des AL bzw. in der DR 2/AL-Übergangszone. Der kurz zuvor einsetzende deutliche Anstieg der Birken-Kurve resultiert aus steigenden Baumbirken-Werten bei fallenden B. nana-Werten. Der plötzliche Rückgang von Artemisia (und zahlreicher anderer NBP) ist also offensichtlich Folge einer schnellen (früh-)alleröd zeitlichen Ausbreitung von Baumbirken (die entweder kurz zuvor eingewandert sind, oder doch nur ganz vereinzelte Vorkommen besessen haben). Daß die Schwankungen im BP/NBP-Verhältnis oberhalb des Artemisia-Abfalls zu BÖ und DR 2 gehören, erscheint damit beim Diagramm Kubitzbergmoor ausgeschlossen und beim Diagramm Dätgen höchst unwahrscheinlich.

[ALETSEE fand zwischen 6,87 und 7,2 m 36 Baumbirkenfrüchte, zw. 7,2 u. 7,3 m 5 unbestimmte Birkenfr., zw. 7,3 u. 7,35 m 1 Baumbirkenfr., zw. 7,35 u. 8,1 m 2 Betula nana-Fr. bzw. Fruchtschuppen. Das spricht dafür, daß der Anstieg der Birken-Kurve oberhalb 7,2 m das Resultat der Baumbirken-Ausbreitung ist und stützt indirekt die Ergebnisse der Birkenpollen-Differenzierung vom Kubitzbergmoor bzw. die Konnektierung der beiden Diagramme.]

(b) Die Schwankungen der Birkenkurve unterhalb ihres früh-alleröd zeitlichen Anstiegs beruhen beim Diagramm Kubitzbergmoor im wesentlichen auf Schwankungen der B. nana-Häufigkeit bei annähernd konstanten Baumbirken-Werten (vgl. Abb. 19, p. 69). Das bedeutet, daß Schwankungen im Verhältnis zwischen NBP und BP inclusive B. nana in diesem Diagramm-Abschnitt nur mit Vorsicht zu Aussagen über klimatische Veränderungen herangezogen werden können. Dasselbe dürfte also für die Veränderungen des BP/NBP-Verhältnisses gelten, die das Diagramm Dätgen unterhalb AL erkennen läßt (vgl. aber p. 137: (1)).

(2) Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Häufigkeitsveränderungen von Artemisia-Pollen im Spätglazial des nördlichen Mitteleuropa (excl. DR 3). Ausgewertet wurden unter A) Diagramme, die auch nach Ansicht ihrer Autoren BÖ und DR 1 sicher nicht oder doch nicht mit Sicherheit umfassen, unter B) Diagramme mit (anscheinend) sicheren Belegen für BÖ und DR 1. Angegeben sind jeweils die Artemisia-Mittel- und Extremwerte für DR 2 und AL und - sofern erfaßt - für DR 1 und BÖ. Der Unterschied zwischen den mittleren Artemisia-Häufigkeiten von BÖ bzw. AL und DR 1 bzw. DR 2

	1) Lokalität	2) Autor	3) Artemisia-Extrem- und Mittelwerte DR 1	BÖ	4) Unterschied: DR 1-/BÖ-Mittelwerte in % d. DR 1-Mittelwertes	5) Unterschied: höchster DR 1-Wert /niedrigster BÖ-Wert	6) BÖ-Höchstwert für Betula (u. Pinus)	7) Artemisia-Extrem- und Mittelwerte DR 2	AL	8) Unterschied: DR 2-/AL-Mittel- wert in % d. DR 2-Mittelwertes	9) Betula- (u. Pinus-) Wert vor und nach dem Artemisia-Abfall im frühen AL
A)	Ruds Vedby, Seeland	KROG 1954	-	-	-	-	-	2 -4.5-6.5	0.5- 1 - 2	-78	37-55 (10-11)
	Akkerup Mose, Fünen	IVERSEN 1947	-	-	-	-	-	5 - 7 - 9	0 - 1 - 2	-86	41-65 (7- 5)
	Kohlmoor, Schleswig-Holstein	TIDELSKI 1960	-	-	-	-	-	5 -7.5- 9	0.7-1.5-4.5	-80	59-80 (11- 7)
	Kubitzbergmoor, "	USINGER	-	-	-	-	-	3 - 5 - 7	1 -1.5- 2	-70	50-52 (4- 5)
	Trentmoor, "	TIDELSKI 1960	-	-	-	-	-	3 - 5 - 7	0.5-1.5-2.5	-70	41-72 (15- 7)
	Gr. Moor b. Daigen, "	ALETSEE 1959	-	-	-	-	-	5 -12 - 20	1.5-2.5-3.5	-79	47-55 (8- 6)
	Dosenmoor, "		-	-	-	-	-	15	0.5-2.5- 5	-83	36-56 (8- 7)
	Vielmoor, "	AVERDIECK 1957	-	-	-	-	-	10-13.5-18	0 -3.5- 8	-74	44-68 (8- 6)
	Esinger Moor, "	HALLIK/ GRUBE 1954	Im Niveau von "BÖ" der Artemisia-Kurve		eine schwache Depression			4 - 6 - 7.5	0 -0.7-1.5	-88	37-64 (4-13)
	Westrhauderfehn, Ostfriesland	BEHRE 1966	Im Niveau von "BÖ"		höchste Artemisia-Werte			4 - 5 - 6.5	1 - 2 - 3	-60	23-60 (2- 2)
B)	Bölling-See, Jütland	IVERSEN 1942	1 -4.5- 8	4 - 8 -12	+78	-50	46 (-)	3 -4.5- 6	2 -3.5- 5	-22	45/41 (3/15)
		IVERSEN 1954	8 -10 -12	3 - 5 - 7	-50	-75	33 (7)	5 - 8 -12	2 -3.5- 6	-56	53/41 (8/12)
		KROG, unpubl. 1)	3.5	2.5-5.5-9.5	+57	-29	27 (2.5)	1 -5.5-7.5	2 - 4 - 8	-27	34/38 (5/ 7)
	Rabenabergmoor, Schl.-Holst.	USINGER	2 - 3 - 4	1.5-2.5-3.5	-17	-62	51 (4)	2.5- 3 -3.5	0.5- 1 - 2	-67	41-56 (10- 4)
	Eichholz/Heiligenhafen "	SCHMITZ 1954	1.5-2.5- 4	2.5- 3 -3.5	+ 20	-33	62 (3)	1.5- 3 - 4	0 - 1 - 3	-67	29-45-63(5-4-1)
	Mekelermeer, Holland		1 - 2 - 3	1.5-2.5-3.5	+ 25	-50	45 (3)	3 -5.5- 8	0.5- 2 - 3	-64	53-70 (2- 4)
	Üsselo A, "	V.D. HAMMEN	8 - 9 -12	7 - 8 -10	-11	-42	45 (2)	5 - 8 -11	1 - 2 - 3	-75	34-64 (4-17)
	Gulickshof, "	1953	1.5- 3 -6.5	7 - 9 -11	+200	+ 8	47 (3)	5 -8.5-12	1 - 3 - 5	-65	58-63 (5-12)
	Lattrop, "		-	5.5	-	-	-	6.5-10 -15	0.5-1.5-2.5	-85	33-89 (3- 1)
	Seekbruch SB1, Niedersachsen	DIETZ/GRAHLE MÜLLER 1959	2 -2.5- 4	3 - 4 - 5	+60	-25	23 (17)	5.5- 6 -6.5	0.5- 1 -2.5	-83	29-58 (4-10)
	Gatersleben A1, Sachsen	MÜLLER 1953	0.5-2.5- 4	2.5- 4 -5.5	+60	-38	34 (45)	5 -7.5-12	1 -2.5- 5	-67	28-49 (17-21)

Werte der beiden AL-Betula-Maxima

Tab. 4 Häufigkeit von Artemisia-Pollen im frühen Spätglazial und Alleröd; nach Diagrammen aus dem nördlichen Mitteleuropa einschließlich Dänemark

1) Herrn Dr. H. Krog, Kopenhagen, danke ich vielmals für eine Kopie seines unveröffentlichten Diagrammes vom Böllingsö.

wurde in % der DR 1- bzw. DR 2-Werte ausgedrückt. Ferner sind die Birken- (und Kiefern-)Werte vor und nach dem früh-alleröd zeitlichen Artemisia-Abfall sowie die BÖ-Höchstwerte für Birke (und Kiefer) genannt. Die Auswertung der Tabelle ergibt:

(a) Die durchschnittlichen Artemisia-Werte des AL liegen generell weit unter denen von DR 2. Die Wende DR 2/AL führt fast in allen Fällen zu einem Rückgang um mindestens 60 bis maximal fast 90%. Ausnahme bilden lediglich die 3 Diagramme vom Bölling-See; hier beträgt der Unterschied zwischen AL- und DR 2-Werten nur 22, 56 bzw. 27%. [Die tiefsten AL-zeitlichen Artemisia-Werte fallen bei vielen Diagrammen in das späte AL. Es kann also eingewendet werden, daß der Artemisia-Abfall an der Wende DR 2/AL – aus der durchschnittlichen Artemisia-Häufigkeit für das ganze AL ermittelt – durch die Werte der Spalte 8) überbetont wird. Dies ist in einigen Fällen sicher richtig. In vielen anderen Fällen ist dagegen mit dem umgekehrten Effekt zu rechnen. Dann nämlich, wenn die Artemisia-Kurve während DR 2 ansteigt und erst unmittelbar vor ihrem früh-alleröd zeitlichen Abfall maximale Werte erreicht.]

(b) Der Artemisia-Abfall an der Wende DR 2/AL, (der auch bei geringem Proben-Abstand zumeist relativ rasch erfolgt), fällt in fast allen Diagrammen mit dem Niveau zusammen, in dem die Birke (zum ersten Mal) Werte von 50% überschreitet. Ausnahmen sind das Kiefern-reiche Diagramm Gatersleben sowie die Diagramme Köhlmoor, Mekelermeer und Gulickshof, in denen die Birke bereits unmittelbar vor dem Artemisia-Abfall 50% überschritten hat.

(c) Die durchschnittlichen Artemisia-Werte für BÖ liegen nur bei 3 Diagrammen (geringfügig) unter denen von DR 1; zumeist sind sie wenig bis deutlich höher! [Durchschnittlich höhere Artemisia-Werte während BÖ gegenüber DR 1 schließen selbstverständlich eine Depression der Artemisia-Kurve zur Zeit der dichtesten BÖ-zeitlichen Bewaldung nicht aus (man vergleiche die Diagramme Seckbruch und Gatersleben!). Indessen sind selbst die Rückgänge zwischen den jeweils höchsten DR 1- und den niedrigsten BÖ-Werten fast stets deutlich geringer als die zwischen den durchschnittlichen Werten von DR 2 und AL (vgl. Spalte 5 der Tabelle).]

(d) Die BÖ-zeitlichen Birken-Höchstwerte liegen fast stets deutlich unter 50%. Ausnahme: die Diagramme Rabensbergmoor und Eichholz mit 51 bzw. 52%.

Nach (a) und (b) und im Anschluß an die Befunde der Birkenpollen-Differenzierung im Kubitzbergmoor darf angenommen werden, daß Birken-Werte größer etwa 50% Baumbirken-Beständen entsprechen, deren Dichte (bzw. Pollenproduktivität) ein reichliches Vorkommen von Artemisia (bzw. hohe Artemisia-Werte) nicht mehr zuläßt. Indirekte Bestätigung für die Richtigkeit dieser Annahme sind – neben den Angaben unter (c) und (d) – die 3 Bölling-See-Diagramme: Die Höchstwerte der (2gipfeligen) AL-Birkenkurve liegen hier fast stets weit unter 50%. Nur im Diagramm von IVERSEN (1954) werden einmal 53% erreicht. Entsprechend ist der Artemisia-Rückgang an

der Wende DR 2/AL ungewöhnlich gering! [1] [Ein zusätzlicher Beleg für die geringe Dichte der AL-zeitlichen Wälder im Bereich des Bölling-Sees ergibt sich aus dem Verhalten von Helianthemum: Während die Werte der Gattung bei allen anderen hier betrachteten Diagrammen bereits im frühen AL deutlich abfallen – ± synchron mit Artemisia – erreichen sie in denen vom Bölling-See ihr Maximum inmitten AL.]

Befund (c) bedeutet zunächst, daß die Dichte der BÖ-zeitlichen Birken-Bestände im betrachteten Gebiet die lichtoffenen Artemisia-Standorte nicht oder nur wenig eingeschränkt haben kann (vgl. auch DIETZ / GRAHLE / MÜLLER 1958, p. 79). Die Tatsache, daß die Birken-Werte nach (d) 50% praktisch nicht überschreiten, stützt in Übereinstimmung mit dem oben Gesagten diese Annahme.

Befund (c) bedeutet weiter, daß die mit dem Ende des Pleniglazials beginnende, vermutlich zunächst klimatisch bedingte Ausbreitung von Artemisia (vgl. V. D. HAMMEN 1953) sich wenigstens lokal während BÖ fortgesetzt hat. Hier mag an eine weitere Förderung durch die BÖ-zeitliche Erwärmung gedacht werden. Da aber in mehreren Diagrammen die Aufwärtsbewegung der Artemisia-Kurve auch während der kühleren DR 2 andauert (z. B. MÜLLER 1953: Gaterslebener See, V. D. HAMMEN 1953: Mekelermeer), muß mit anderen Faktoren zumindest gerechnet werden. -

Zusammenfassend ergibt sich anhand der ausgewerteten Diagramme, daß DR 1/BÖ und DR 2/AL durch ein sehr unterschiedliches Artemisia-Verhalten gekennzeichnet sind: Während BÖ mit Birken-Höchstwerten <50% allenfalls zu einer schwachen Depression der Artemisia-Kurve führt, ist für das frühe AL bei weit über 50% ansteigenden Birken-Werten ein ausgeprägter Abfall charakteristisch (Ausnahme: die Diagramme vom Bölling-See mit AL-Birken-Werten kleiner 50%)[2]. Deutliche Beziehungen zwischen Artemisia- und Birken-Werten gestatten anscheinend eine einfache Interpretation der beobachteten Unterschiede in der oben vorgenommenen Weise. Die grundsätzliche Übereinstimmung des Artemisia-Verhaltens in den einzelnen Diagrammen berechtigt ferner zu der Annahme, daß eine im nördlichen Mittel-

---

1) Ein Birken-Wert von etwa 50% kann in diesem Zusammenhang natürlich nur ein ungefährer Richtwert sein, da Birken-Bestände derselben regionalen Dichte als Folge unterschiedlicher lokaler Pollenproduktivität zu verschiedenen Werten führen müssen. Umso erstaunlicher ist die offenbar deutliche Beziehung zwischen diesem Wert und der Artemisia-Häufigkeit.

2) Es kann angenommen werden, daß eine nähere Betrachtung des spätglazialen Verhaltens anderer heliophiler und grundwasser-unabhängiger Taxa (wie vor allem Helianthemum) zu ganz ähnlichen Ergebnissen führt. Die geringe Pollenhäufigkeit dieser Taxa und die deshalb stark zufallsabhängigen Bewegungen ihrer Kurven bei kleinen Stichprobenumfängen erschweren allerdings eine solche Betrachtung.

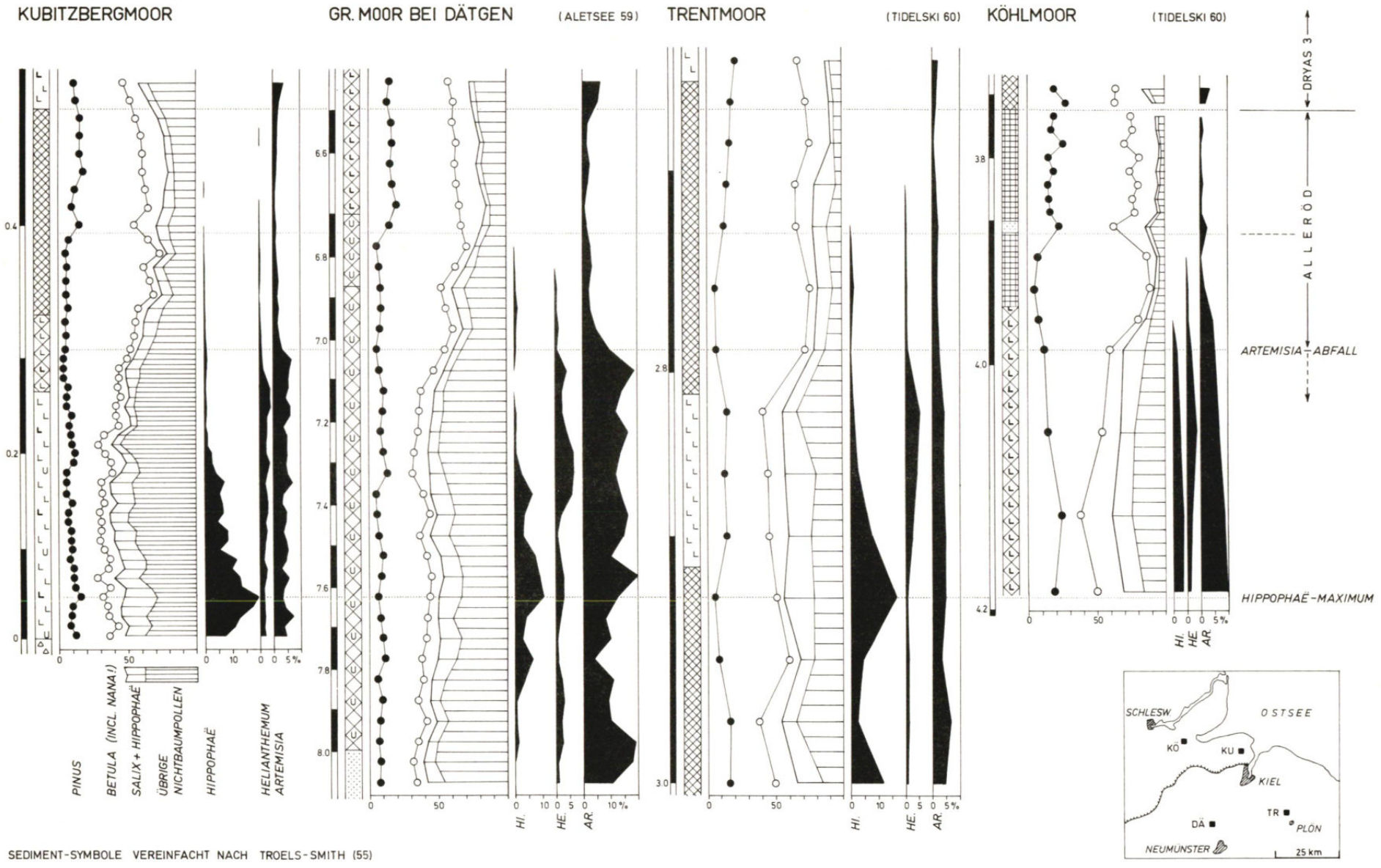


Abb. 33 Spätglazial-Diagramme (excl. DR 3) aus der Jungmoränen-Landschaft um Kiel. (Das Diagramm Schlüsbeker Moor (TIDELSKI 1955) wurde nicht berücksichtigt, da es aus DR 2 und AL insgesamt nur 5 Spektren umfaßt.)

europa regional[1] gültige Erscheinung vorliegt. Sie dürfte hier allgemein zur Beurteilung fraglicher BÖ-Nachweise herangezogen werden können. Geschieht dies im Fall des Diagrammes Dätgen, so läßt dessen markanter Artemisia-Abfall kaum einen Zweifel, daß das Birken-Maximum bei 6.95 m bereits in das AL gehört. Damit entfällt hier jeder sichere Hinweis auf BÖ. -

Im unteren Teil des Diagrammes Trentmoor erfolgt bei abnehmenden Birken-Werten ein Sedimentwechsel von Gyttja zu Schluff. Inwieweit hierin der Übergang BÖ/DR 2 gesehen werden kann, wird in Abschnitt 1 b, p. 134, diskutiert.

(III) Das Diagramm Großer Segeberger See (AVERDIECK / ERLENKEUSER / WILLKOMM 1972)

Dieses Diagramm, in dem von seinen Autoren zumindest Hinweise auf BÖ und DR 2 gesehen werden, sei hier nur anhangsweise betrachtet, da seine Gliederung auf einem weit dichter analysierten, noch nicht publizierten Parallel-Diagramm basiert.

Eine vergleichende Bewertung dieses Diagrammes muß die bereits von den Autoren selbst geäußerten Zweifel an der Sicherheit des BÖ-Nachweises erheblich verstärken: Der Diagramm-Abschnitt, der als Ende DR 1/BÖ/DR 2 ausgewiesen ist, zeigt bis hin zu Einzelheiten die pollenanalytischen Merkmale und Tendenzen des Zeitraumes Ende DR 2/AL/Anfang DR 3, wie sie nicht nur für Schleswig-Holstein charakteristisch sind. Hervorgehoben sei hier nur die deutlich ausgeprägte AL-Gliederung in einen frühen Kiefernpollen-armen (~4 %) und einen späten Kiefernpollen-reicheren (~15 %) Abschnitt - dieser wie üblich durch maximale Filipendula- (und Polypodiaceen-) Werte und minimale Werte von Artemisia, Poaceen u.a. ausgezeichnet. (Über die regionale Gültigkeit der AL-Gliederung und ihrer Merkmale in Schleswig-Holstein vgl. Abschnitt B 2, p. 140).

Andererseits läßt der als AL und DR 3 ausgewiesene Diagramm-Abschnitt manche Merkmale dieser beiden Zonen gar nicht oder nur andeutungsweise

---

1) Zweifel an der regionalen Gültigkeit der Befunde könnten sich aufgrund des BÖ-Nachweises von der südwestschwedischen Halbinsel Kullen (BERGLUND 1971) ergeben: Im Diagramm Björkeröds Mosse erreicht die Birke bereits im BÖ (nach einem anfänglichen Höchstwert von 68 %) Werte um 55 %. Die durchschnittlichen Werte des AL liegen nicht höher. Der bedeutendste Artemisia-Abfall erfolgt (dementsprechend) bereits zu Beginn von BÖ! Das hieße aber, daß auf der Halbinsel Kullen die BÖ-zeitlichen Birken-Bestände bereits die Dichte derjenigen des AL etwa erreicht haben müßten, während alle anderen hier betrachteten und größtenteils aus weit südlicher gelegenen Gebieten stammenden Diagramme für BÖ deutlich lichtere Birken-Bestände belegen. Wird eine Fehlinterpretation der Diagramme ausgeschlossen, so bleibt als Erklärung dieser Diskrepanz wohl nur die Annahme, daß die Birken-Bestände der Halbinsel Kullen von der kälteresistenteren Betula "tortuosa" gebildet waren.

erkennen. Hervorgehoben sei einmal, daß die genannte AL-Gliederung vollkommen fehlt, und ferner, daß weder die Kurve von Empetrum (noch die der Chenopodiaceen) den für die Wende AL/DR 3 charakteristischen, deutlichen Anstieg zeigt (ein derartiger Anstieg ist dagegen zumindest für Empetrum während "DR 2" zu erkennen!).

Damit liegt die Vermutung nahe, daß der als BÖ und DR 2 ausgeschiedene Diagramm-Abschnitt in das AL und die frühe DR 3 zu stellen ist und die folgenden Spektren als AL/DR 3-Mischspektren aufzufassen sind (Umlagerung AL-zeitlicher Sedimente während DR 3 - vgl. Abschnitt VI). Das ^{14}C-Alter der spätglazialen Sedimente ist im vorliegenden Fall kein stichhaltiges Argument gegen diese Interpretation (ERLENKEUSER mündl.).

(IV) Das Diagramm Eichholz-Ost/Heiligenhafen (SCHMITZ 1954)

In diesem Diagramm scheint bislang der einzige sichere BÖ-Nachweis aus der schleswig-holsteinischen Jungmoräne vorzuliegen. Da an schwer zugänglicher Stelle veröffentlicht[1], sei es hier – mit freundlichem Einverständnis des Autors – noch einmal auszugsweise wiedergegeben (Abb. 34).

Das Diagramm läßt pollenanalytisch wie stratigraphisch kaum einen Zweifel an der von SCHMITZ vorgenommenen Gliederung[2]: BÖ ist durch einen Anstieg der Birken-Werte bis auf 52% ausgewiesen. Die Artemisia-Kurve zeigt in Übereinstimmung mit ihrem allgemeinen Verhalten zu dieser Zeit (Tab. 4, p. 128) kaum eine Reaktion. (Dasselbe gilt für Helianthemum!) Dem Rückgang der Birken-Werte während DR 2 (um nahezu 25%!) entsprechen deutlich erhöhte Poaceen- und maximale Artemisia-Werte, ferner ein distinktes Selaginella-Maximum. Beim Anstieg der Birken-Werte zum AL der übliche (wenngleich verzögerte) Artemisia-Abfall (bis zu niedrigsten Werten im späten AL!) und Abfall der Helianthemum-Werte auf 0. (Auf die charakteristisch ausgeprägte AL-Gliederung wird in Abschnitt B 2, p. 140, eingegangen.)

1 b Zur pollenanalytischen und vegetationskundlichen Realisierung der Bölling-Schwankung in der schleswig-holsteinischen Jungmoräne

Für die Diagramme aus der schleswig-holsteinischen Jungmoräne sind – im Gegensatz zu denen der Altmoränen- und Sander-Gebiete – anfänglich hohe Hippophaë-Werte charakteristisch, die vielfach markante Maxima bilden. Danach muß der Strauch, dessen Pollenproduktivität relativ gering ist (FIRBAS 1949, p. 297) hier zeitweise ausgedehntere Bestände besessen haben.

---

1) in einem Gutachten für das Wasser- und Schiffahrtsamt Ostsee.

2) Auch DAHM (1959) findet die Gliederung aufgrund seiner Diatomeen-Untersuchung bestätigt.

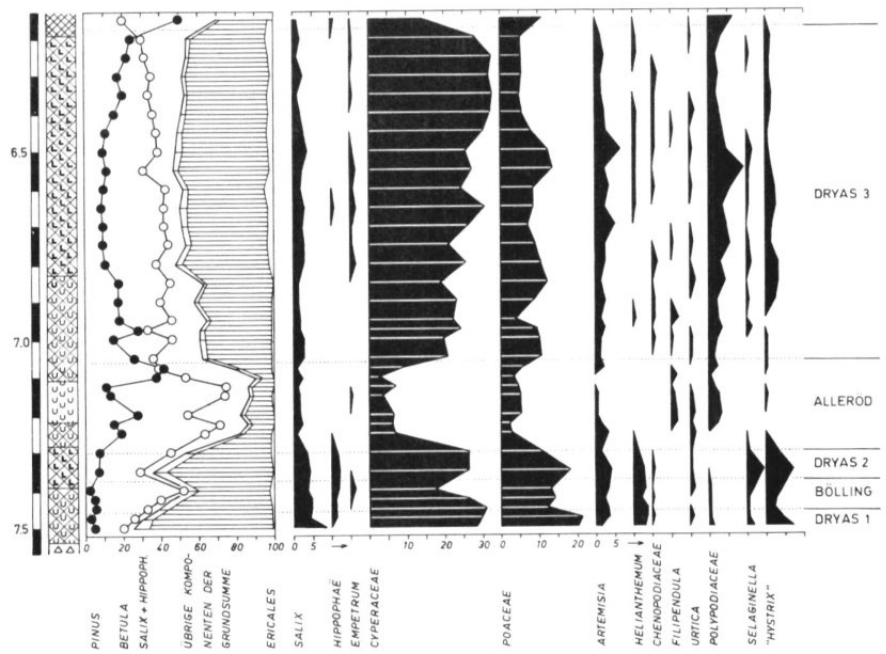


Abb. 34 Spätglazialer Abschnitt des Diagrammes Eichholz-Ost (SCHMITZ 1954). Umgezeichnet; einige Taxa fortgelassen; Stratigraphie etwas vereinfacht und unter Verwendung der Symbole nach TROELS-SMITH (1955) dargestellt.

BÖ-Belege bzw. -Hinweise sind bei den meisten Diagrammen oberhalb des Hippophaë-Maximums gesehen worden. Dies erscheint insofern sinnvoll, als in weiten Teilen Europas eine Hippophaë-Förderung oder -Massenentfaltung der ersten spätglazialen Bewaldung voranzugehen pflegt (z. B. FIRBAS 1949, p. 48) und in Schleswig-Holstein bereits während BÖ mit einer zumindest lichten Bewaldung gerechnet werden darf. Indessen existiert nach der oben vorgenommenen Bewertung anscheinend kein einziges schleswig-holsteinisches Jungmoränen-Diagramm mit einem sicheren BÖ-Nachweis oberhalb der Hippophaë-Höchstwerte: Wie in Dänemark und im südlichen Schweden die Regel (BERGLUND 1966: Fig. 50)[1], scheint auch hier die Hippophaë-Massenentfaltung in die Zone DR 2 zu fallen. BÖ wäre also unterhalb der Hippophaë-Höchstwerte zu suchen.

Tatsächlich liegt in diesem Niveau nicht nur der überzeugende BÖ-Nachweis von Eichholz-Ost! Wie bereits angedeutet, lassen sich hier auch bei ande-

1) Bei den Diagrammen vom Bölling-See liegt das Hippophaë-Maximum an der Wende DR 1/BÖ bzw. am Beginn von BÖ.

ren Diagrammen Anzeichen einer Wärmeschwankung erkennen:

Bei der Mehrzahl der Meiendorf-Ahrensburger Diagramme (Abb. 32, p. 125) liegt unterhalb der Hippophaë-Höchstwerte ein ± ausgeprägtes Birken-Maximum. Die Birken-Kurve steigt von anfänglichen Werten um 10% auf 30 bis maximal (Poggenwisch) über 50%. Das anschließende NBP-Maximum umfaßt in fast allen Fällen ± deutlich erhöhte Poaceen-Werte. Hier können also mit MENKE (1968) Zeichen einer Abkühlung nach einer kurzfristigen Erwärmung gesehen werden[1]. Es dürfte sich aber nicht um eine vor-böllingzeitliche Temperatur-Schwankung, sondern um BÖ selbst und DR 2 handeln. (Eingewendet werden kann, daß die hohen Birken-Werte unterhalb des Hippophaë-Maximums nach SCHÜTRUMPF (1936, p. 21 - 22 und 1943, p. 15) aufgrund von Großrest-Analysen im wesentlichen der Zwerg-Birke zuzuschreiben sind. Wenn diese Annahme zutrifft, muß unterstellt werden, daß Wärme-Schwankungen allein durch B. nana-Maxima realisiert sein können und die Jungmoräne während BÖ keine stärkere Besiedlung durch Baumbirken erfahren hat. Dies sei hier zunächst angenommen und unten diskutiert.)

Im Diagramm Trentmoor (Abb. 33, p. 131) liegt unmittelbar unterhalb des Hippophaë-Maximums ein Spektrum mit deutlich erhöhtem Birken-Wert. Von hier fällt die Birken-Kurve bis zu einem Minimum unmittelbar vor dem schnellen früh-allerödzeitlichen Anstieg ab. Der Abfall koinzidiert mit dem Wechsel von Gyttja zu "mehlsandigem Schluff". Lagerungsstörungen als Ursache dieses Wechsels sind vor allem aufgrund des charakteristischen Helianthemum-Verhaltens (Höchstwerte nach dem Hippophaë-Maximum!) unwahrscheinlich. Es scheint, daß auch hier – wie TIDELSKI (1960, p. 96) bereits vermutet – BÖ realisiert ist.

Damit liegen außer dem BÖ-Nachweis von Eichholz-Ost glaubwürdige Belege auch von 2 weiteren Jungmoränen-Lokalitäten vor, und zwar in anscheinend gut vergleichbarer Diagrammlage.

Es bleibt die Frage nach der Realisierung von BÖ in jenen Jungmoränen-Diagrammen, die unterhalb der Hippophaë-Höchstwerte keine deutlichen Hinweise auf eine Wärmeschwankung erkennen lassen. Die nächstliegende Antwort, daß BÖ hier nicht erfaßt sei, mag zutreffen; sie kann aber zumindest im Fall des Diagrammes Dätgen, das weit unter das Hippophaë-Maximum hinabreicht, nicht befriedigen. Eine andere Deutungsmöglichkeit ergibt sich aus der folgenden Betrachtung des Hippophaë-Verhaltens in der schleswig-holsteinischen Jungmoräne:

(1) In den Diagrammen von Meiendorf-Ahrensburg (Abb. 32, p. 125) fallen die Hippophaë-Höchstwerte genau mit den maximalen NBP-Werten von DR 2 zusammen. Die Massenentfaltung des Strauches scheint hier mit einem Temperatur-Minimum zu koinzidieren. (Das widerspricht zwar der verbreiteten Vorstellung, nach der Hippophaë durch steigende Temperaturen

---

1) Ein Indiz hierfür könnte auch darin gesehen werden, daß die Kulturschichten der Hamburger Stufe stets im Niveau des Birken-Maximums liegen: der folgende Kälterückschlag mag zur Aufgabe der Wohnplätze veranlaßt haben.

gefördert wird (vgl. z.B. BERGLUND 1966, p.90), kann aber kaum bezweifelt werden, wenn das BP/NBP-Verhältnis wie üblich als Temperatur-Kriterium gewertet wird.)

(2) Das Diagramm Eichholz-Ost (Abb.34, p.135) zeigt zwar die durchschnittlich höchsten Hippophaë-Werte während DR 2, die BÖ-Werte sind aber nicht wesentlich niedriger. Beim Diagramm Trentmoor (Abb.33, p.131) liegt das ausgeprägte Hippophaë-Maximum unmittelbar über dem höchsten BÖ-zeitlichen Birken-Wert, gehört aber zumindest stratigraphisch noch zu BÖ; der Hippophaë-Rückgang erfolgt während DR 2 bei steigenden NBP- und fallenden Birken-Werten, d.h. offensichtlich nicht infolge der früh-allerödzeitlichen Bewaldung.

(3) Die Hippophaë-Maxima der Diagramme Kubitzbergmoor und Dätgen (Abb.33) liegen im Niveau niedriger NBP-Werte. Der Rückgang der Hippophaë-Werte erfolgt - wie beim Diagramm Trentmoor - in Verbindung mit steigenden NBP-Werten; der Anstieg der Birken-Werte zum AL findet deutlich später statt. Dies dürfte bedeuten, daß die Hippophaë-Massenentfaltung hier während einer klimatisch günstigeren Phase erfolgte (vgl. MENKE 1968: Abb.3).

Wird an der Annahme festgehalten, daß das BP/NBP-Verhältnis auch dann die üblichen Rückschlüsse auf klimatische Veränderungen zuläßt, wenn die BP-Summe vor allem B.nana umfaßt, so folgt aus diesen Angaben, daß die vor-allerödzeitliche Hippophaë-Massenentfaltung in der Jungmoräne Schleswig-Holsteins sowohl während einer Kaltzeit (DR 2), wie in einem Zeitraum abnehmender Temperatur (BÖ/DR 2), als auch während einer klimatisch günstigeren Phase, d.h. im ganzen ohne erkennbaren Temperaturbezug stattgefunden hat. So gesehen könnten die ausgeprägten Hippophaë-Maxima der Diagramme Kubitzbergmoor und Dätgen auch BÖ repräsentieren. -

Wie oben angedeutet dürften die frühen, unter den Hippophaë-Höchstwerten gelegenen Birken-Maxima der Meiendorf-Ahrensburger Diagramme im wesentlichen auf B.nana zurückzuführen sein. Dasselbe scheint bei den Diagrammen Kubitzbergmoor und Dätgen für die erhöhten Birken-Werte im Niveau der Hippophaë-Höchstwerte zu gelten. (Für das Diagramm Kubitzbergmoor belegt die Birkenpollen-Analyse bis weit über dieses Niveau gleichbleibend niedrige Baumbirken-Werte, die möglicherweise allein auf Ferntransport zurückgeführt werden können. ALETSEE (Diagramm Dätgen) findet ebenfalls bis weit über dieses Niveau keine Baumbirken-Reste, sondern nur B.nana-Früchte und -Fruchtschuppen.) Die Annahme von BÖ unterhalb der Hippophaë-Höchstwerte bzw. in deren Niveau muß also anscheinend mit der überraschenden Vorstellung verbunden werden, daß die BÖ-zeitliche Erwärmung in der Jungmoräne Schleswig-Holsteins zwar zu einer Förderung der Zwergbirke, nicht aber zu einer stärkeren Ausbreitung der Baumbirken geführt hat. Diese Vorstellung wirft zwei Fragen auf:

(1) Kann eine Förderung von B.nana bzw. ein Birken-Maximum, das im wesentlichen auf erhöhten B.nana-Werten beruht, Ausdruck einer Wärmeschwankung sein?

(2) Inwieweit steht die Annahme, daß die schleswig-holsteinische Jung-

moräne während BÖ Baumbirken-arm gewesen ist, mit den Vorstellungen in Einklang, die über die BÖ-zeitliche Bewaldungsdichte in anderen Gebieten gewonnen werden können ?

Zu Frage (1): Beobachtungen an Zwerg-Birken-Vorkommen Skandinaviens und Islands lassen erkennen, daß Wuchskraft und Pollenproduktivität der Art von ihren höchsten (nördlichsten) Vorkommen bis in den Bereich der Baumgrenze zunehmen. Hier erreicht sie mit kräftigen, strauchig-aufrechten und reichblühenden Formen ihr Optimum; der anschließende Rückgang ist zunächst offensichtlich Folge des Schattendrucks von Baumbirken (und Kiefern). Danach ist nicht zu bezweifeln, daß B. nana durch Temperaturanstieg solange gefördert werden kann, bis Temperaturen erreicht sind, die eine Ausbreitung der Baumbirken ermöglichen. Die Art entspräche in dieser Hinsicht dem Verhalten von Juniperus, wie es z.B. von IVERSEN (1954, p. 102f.) geschildert worden ist.

FIRBAS (1949, p. 296) hält es für "... möglich, daß der spätglazialen Waldgrenze vielfach ein eigener Betula nana-reicher Gürtel vorgelagert war, ähnlich der heutigen 'Unterzone der Zwergbirkentundra' im nördlichen Rußland ...".

Ein pollenanalytischer Beleg für die Richtigkeit dieser Vorstellungen mag im Diagramm Kubitzbergmoor gesehen werden: Hier erreicht B. nana maximale Werte unmittelbar vor dem früh-allerödzeitlichen Anstieg der Baumbirken-Werte. Ihr wenig später erfolgender, schneller Abfall – synchron mit dem von Artemisia, Helianthemum und anderen Heliophyten – weist auf den beginnenden Schluß der Baumbirken-Bestände. Die Abfolge: steigende B. nana-Werte - Juniperus/Salix-Höchstwerte - Baumbirken-Höchstwerte entspräche ganz der Sukzession von der Baumgrenzen-fernen Tundra bis zum ± geschlossenen Birkenwald.

Daß die Höhe der Birken-Werte selbst dann nicht gegen überwiegende Herkunft von B. nana spricht, wenn weit über 50% erreicht werden, dürfte aus den Untersuchungen IVERSEN's (1947, p. 75) an rezenten Gyttjen Grönlands hervorgehen: Obwohl an der rezenten Vegetation nur mit 19 bzw. 33% beteiligt, erreicht die Art im (regionalen) Pollenniederschlag 56 bzw. 58%. – Auf jeden Fall kann Frage (1) bejaht werden.

Zu Frage (2): Aufgrund von (anscheinend) sicheren BÖ-Nachweisen lassen sich über die BÖ-zeitlichen Bewaldungsverhältnisse im nördlichen Mitteleuropa die folgenden Angaben machen:

Im mittleren Niedersachsen (Seckbruch bei Hannover) kann nach DIETZ / GRAHLE / MÜLLER (1958, p. 78f.) mit lichten Birken-Wäldern und eventuell geringem Kiefern-Vorkommen gerechnet werden. Die Autoren gründen diese Annahme u.a. auf das Verhalten von Artemisia, nach dem die Birken-Bestände die Heliophyten-Standorte nicht wesentlich eingeschränkt haben können (vgl. die Bewertung des regionalen Artemisia-Verhaltens, p. 127:(2)).

Für die Niederlande vermutet VAN DER HAMMEN aufgrund des Verhaltens von Salix (und Juniperus), daß Baumbirken bereits eingewandert waren (1953, p. 106f.). Das Artemisia-Verhalten zeigt auch hier, daß nur an lichte Be-

stände gedacht werden kann.

Im nordwestlichsten Schleswig-Holstein (Rabensbergmoor) muß nach den Ergebnissen der Birkenpollen-Analyse ebenfalls mit lichten Baumbirken-Beständen gerechnet werden, in denen B. nana allerdings zweifellos häufig gewesen ist.

Im mittleren Jütland (Bölling-See) rechnet IVERSEN (1954, p. 94) aufgrund der Tatsache, daß der Großteil der Birkenpollen ihrer Größe nach zu Baumbirken gehört, mit deren Einwanderung. Andererseits findet BRANDT (1954, p. 154) bei der Großrest-Analyse der BÖ-zeitlichen Sedimente vom Bölling-See nur Früchte von B. nana. Diese dürfte also zumindest in der Umgebung des Sees die herrschende Art, die Baumbirke dagegen selten gewesen sein.

Diese Zusammenstellung ergibt zunächst, daß selbst südliche und südwestliche BÖ-Nachweise eine nur lichte Bewaldung belegen. Die Annahme liegt nahe, daß zu niedrige Temperaturen einen dichteren Schluß der Wälder unterbanden. Ist dies richtig, so muß in Schleswig-Holstein und spätestens in Dänemark mit dem Ausklingen der BÖ-zeitlichen Baumbirken-Vorkommen gerechnet werden. Auch das scheint in der Zusammenstellung zum Ausdruck zu kommen. Andererseits kann kaum bezweifelt werden, daß Baumbirken zumindest bis in das Altmoränen-Gebiet des nordwestlichen Schleswig-Holstein häufig gewesen sind.

Mit diesen Vorstellungen scheint die Annahme, daß die schleswig-holsteinische Jungmoräne während BÖ selbst in ihren südlichen Teilen Baumbirken-arm gewesen sein soll, schwer vereinbar. Dies dürfte bedeuten, daß entweder die Lage von BÖ in den betrachteten Diagrammen oder aber die Folgerungen aus der Großrest- bzw. Birkenpollen-Analyse angezweifelt werden müssen. Eine dritte Denkmöglichkeit könnte zwar die Widersprüche lösen, läßt aber ihrerseits Fragen offen und sei daher nur mit größter Vorsicht formuliert:

Die Baumbirken können ohne Zweifel als Pionierholzarten gelten. Ihre Ansiedlung erfolgt aber – zumindest im heutigen Mitteleuropa – bevorzugt auf Substraten, die entweder kalkarm sind oder bereits eine ± ausgeprägte Bodenbildung erfahren haben. Kalkreiche Rohböden werden auf jeden Fall gemieden. (So fehlt die Birke zum Beispiel den frischen Geschiebemergel-Standorten der Steilufer der Ostsee praktisch vollkommen und zwar auch dort, wo Bodenbewegungen nicht Ursache sein können.)

In der Jungmoräne Schleswig-Holsteins ist zur Zeit von BÖ mit allgemein kalkreichen Böden zu rechnen. Das gilt zu dieser Zeit sicher auch für Böden über fluvioglazigenen Absätzen (Binnensandern), wie deren noch heute in geringer Tiefe oft hoher Kalkgehalt belegt (vgl. auch IVERSEN 1954, p. 107).

In der Altmoräne hatten zwar Würm-periglaziale Bodenumlagerungen der tiefgreifenden eemzeitlichen Entkalkung sicher z. T. entgegengewirkt; dennoch kann nicht bezweifelt werden, daß hier mit durchschnittlich kalkärmeren und stellenweise auch weiter entwickelten Böden zu rechnen ist. Auf die zumeist deutlich unterschiedenen Kalkgehalte von limnischen Spätglazial-Sedimenten aus Jung- und Altmoräne sei hingewiesen.

Es kann also daran gedacht werden, daß eine BÖ-zeitliche Besiedlung der Jungmoräne durch Baumbirken aus edaphischen Gründen eingeschränkt war. Gleichzeitig ist aber zu bedenken, daß auch die Zwergbirke nach ihrem heutigen ökologischen Verhalten auf kalkreichen Rohböden nur schwer vorstellbar ist.[1)]

1 c Die Diagramme aus der schleswig-holsteinischen Altmoräne.

Aus diesem Gebiet liegen infolge seiner Armut an geeigneten Sedimentationsräumen bislang nur 3 Spätglazial-Diagramme vor (außer dem vom Rabensbergmoor).

Das Diagramm E s i n g e r M o o r (HALLIK / GRUBE 1954) belegt nach seinen Autoren "mit einiger Wahrscheinlichkeit" BÖ und DR 2. Die Annahme beruht im wesentlichen auf der Vermutung, daß die Folgen der Temperatur-Depression während DR 2 in gleichzeitig erhöhten Salix- und Betula nana-Werten zu erkennen seien. Nun können erhöhte Salix-Werte unmittelbar vor dem AL zumindest genauso gut Ausdruck steigender Temperaturen sein. Dasselbe gilt für B. nana, deren Werte im übrigen "als geschätzt aufzufassen" sind. Eine Beurteilung des Diagrammes unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wird durch Berechnungs- bzw. Darstellungsfehler erschwert, die gerade im Niveau von "BÖ" und "DR 2" unterlaufen sind.

Das Diagramm V i e l m o o r (AVERDIECK 1955) reicht nur mit wenigen Spektren unter das AL hinab. Hinweise auf BÖ und DR 2 fehlen.

Das Diagramm G l ü s i n g (MENKE 1968) läßt nach seinem Autor sowohl BÖ als auch Anzeichen für eine weitere, vor-böllingzeitliche Wärmeschwankung ("Meiendorf-Intervall") erkennen. Daß andererseits eine grundsätzlich andere Gliederung denkbar ist, wird am Ende des folgenden Abschnitts erläutert.

B 2 D a s A l l e r ö d

Im Gegensatz zum älteren Spätglazial läßt das schleswig-holsteinische AL eine klare und anscheinend allgemeingültige Gliederung erkennen:

Zunächst kann in allen hier berücksichtigten Diagrammen ein früher Birken-beherrschter und Kiefern-armer Abschnitt von einem späteren mit deutlich höheren Kiefern-Werten unterschieden werden (Abb. 35). Diese Zweiteilung ist im s ü d ö s t l i c h e n Schleswig-Holstein besonders ausgeprägt: Hier erreicht die Kiefer im späten AL höhere Werte als die Birke. Großreste belegen bei Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935 - 1958) und im Vielmoor (AVERDIECK 1955) ihre Anwesenheit zu dieser Zeit. Analog zu den Verhältnissen im südlich und südöstlich anschließenden Mitteleuropa kann im südöstlichen Schleswig-Holstein ohne Frage eine AL-Kiefernphase von einer -Birkenphase abgetrennt werden, wenngleich die Kiefer deutlich hinter den weiter südlich und südöstlich erreichten Werten zurückbleibt und daher eher von einer Birken-Kiefernphase zu sprechen ist (vgl. SCHMITZ 1953).

1) Nach ersten orientierenden Analysen zeigen die Birkenpollen-Kollektive aus den BÖ-zeitlichen Schichten von Heiligenhafen eine stärkere Baumbirken-Beteiligung !

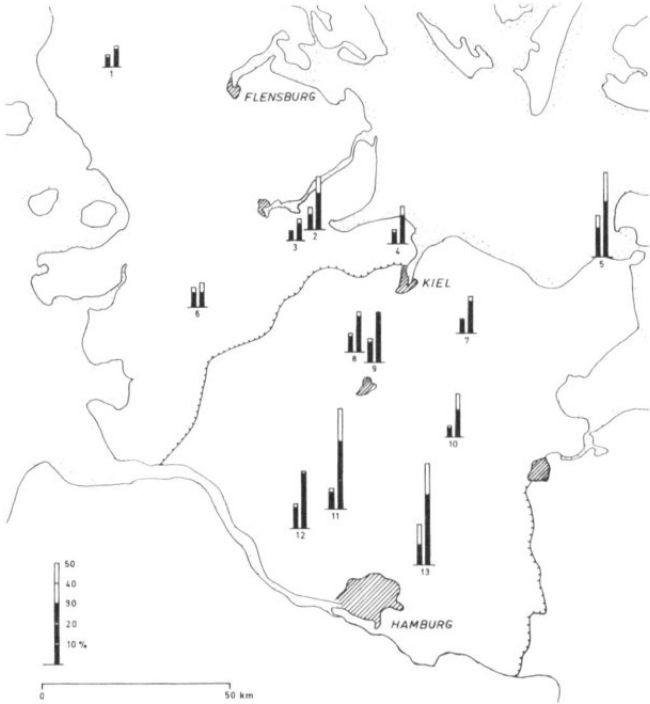


Abb. 35 Häufigkeit der Kiefer im frühen und späten Alleröd Schleswig-Holsteins (in Bezug auf die Summe der Landpflanzen-Pollen). Schwarz: Mittelwerte, Weiß: Höchstwerte.

1) Rabensbergmoor
2) Köhlmoor (TIDELSKI 1960)
3) Brammer Berg (USINGER unpubl.)
4) Kubitzbergmoor
5) Eichholz-Ost (SCHMITZ 1954)
6) Glüsing (MENKE 1968)[1)]
7) Trentmoor (TIDELSKI 1960)
8) Dätgen (ALETSEE 1959)
9) Dosenmoor (ALETSEE 1959)
10) Segeberger See (AVERDIECK unpubl.)[1)]
11) Vielmoor (AVERDIECK 1955)
12) Esinger Moor (HALLIK / GRUBE 1954)
13) Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935 - 58)

(Vgl. auch die Sektorenkarte für die Zonen IIIa u. b bei ALETSEE 1959: Tafel VIII, 15a - e)

---

1) Die Werte gelten für den Fall, daß die in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagene Gliederung des Diagrammes zutrifft.

Im mittleren Schleswig-Holstein führt der mittel-alleröd-zeitliche Anstieg der Kiefern-Werte nur im äußersten Osten (SCHMITZ 1954: Eichholz-Ost) zur Übergipfelung der Birken-Kurve; weiter westlich werden die Birken-Werte zumeist nicht annähernd erreicht. Da AL-zeitliche Kiefern-Großreste bislang nicht angetroffen wurden, dürfte dieses Gebiet bereits nördlich reichlichen Kiefern-Vorkommens gelegen haben (vgl. ALETSEE 1959, p. 29).

[Es kann nicht einmal völlig ausgeschlossen werden, daß die spät-alleröd-zeitlichen Kiefern-Werte dieses Gebietes, die durchschnittlich zwischen 15 und 20 % liegen und maximal 25 % überschreiten, allein auf Fernflug aus dem Kiefern-reicheren Süden und Südosten beruhen. Immerhin werden bereits für das frühe AL, d.h. für eine Zeit, zu der die Kiefer höchstens vereinzelt den Südosten des Landes erreicht hatte, trotz relativ dichter Birken-Wälder Werte zwischen 5 und 12 % registriert!]

Im nordwestlichsten Schleswig-Holstein (Rabensbergmoor) ist der Anstieg der Kiefern-Werte zum späten AL schließlich so geringfügig (von ~4.5 auf ~8.5 %), daß er nur aufgrund geringen Probenabstandes und großer Grundsummen sicher nachgewiesen werden konnte. -

Wie bei der Besprechung der Diagramme RBM und KBM bereits erläutert, läßt das AL in diesen beiden Fällen eine weitergehende Gliederung erkennen: Zu Beginn des Kiefernpollen-reicheren 2. Abschnittes deuten unter anderen Juniperus und Salix mit deutlichen und synchronen Maxima bei erniedrigten Birken-Werten auf eine Lichtung der Birken-Wälder. Mit großer Wahrscheinlichkeit - wenngleich deutlich abgeschwächt - kommt hier dieselbe Temperatur-Depression zum Ausdruck, die von zahlreichen dänischen und einigen südschwedischen Diagrammen in Form einer deutlich 2-gipfeligen Birken-Kurve registriert worden ist und zur Gliederung des AL in ALa, b und c veranlaßt hat (IVERSEN 1934, 1947; NILSSON 1935 u.a.).

Die Tatsache, daß die Merkmale des ALb sowohl in der Altmoräne des Nordwestens als auch in der Jungmoräne des mittleren Schleswig-Holsteins, d.h. in edaphisch (und klimatisch) unterschiedlichen Landschaften zu erkennen sind, läßt bereits vermuten, daß die Temperatur-Depression zumindest in diesen Teilen des Landes ein regional wirksames Phänomen gewesen ist; Bestätigung liefern - trotz großen Probenabstandes und Nichtberücksichtigung von Juniperus - die folgenden Diagramme:

(1) Das Diagramm Köhlmoor (Abb. 33, p. 131) zeigt zu Beginn des Kiefernpollen-reicheren AL ein Spektrum mit deutlich erniedrigtem Birken-Wert in Verbindung mit einem NBP-Maximum. Die Temperatur-Depression wäre hier auch stratigraphisch realisiert!

(2) Beim Diagramm Trentmoor (Abb. 33) sind die Birken-Werte der beiden ersten Kiefern-reicheren Spektren deutlich erniedrigt. Gleichzeitig erreicht Salix maximale Werte. (Im Fall dieser beiden Diagramme werden bereits von ihrem Autor (TIDELSKI 1960, p. 97) Hinweise auf die mittel-alleröd-zeitliche Temperatur-Depression vermutet.)

(3) Beim Diagramm Eichholz-Ost (Abb. 34, p. 135) fällt mit dem ersten deutlich erhöhten AL-Kiefern-Wert ein niedriger Birken-Wert und ein kleines NBP-Maximum zusammen. (Dieses letzte Diagramm scheint dadurch abzuweichen, daß die Kiefern-Kurve nach ihrem ALb-zeitlichen Anstieg deutlich abfällt. Andererseits macht diese Erscheinung möglicherweise auf ein regionales Phänomen aufmerksam: Auch in den Diagrammen Rabensberg-, Köhl- und Kubitzbergmoor ist die ALb-zeitliche Depression der Birken-Kurve mit einem ersten Kiefern-Maximum verbunden, an dessen statistischer Signifikanz im Fall KBM und RBM kaum zu zweifeln ist. [1]) Denkbare Deutung wäre, daß die ALb-zeitliche Lichtung der Birken-Wälder zu einer relativen Förderung der Anteile an ferntransportierten Kiefernpollen geführt hat.)-

Offenbleiben muß vorerst, inwieweit die ALb-Temperatur-Depression im südlichen Schleswig-Holstein nachgewiesen werden kann. Die bislang vorliegenden Diagramme liefern keine sicheren Belege.

[Die Annahme, daß die pollenanalytischen Merkmale des ALb Ausdruck einer Temperatur-Depression sind, ist nicht völlig widerspruchsfrei. Bedenken ergeben sich vor allem aus dem AL-zeitlichen Verhalten von Populus (tremula). Die Art erreicht im ALb ihre höchsten Werte (KBM; KROG 1954: Ruds Vedby; KROG (unpubl.): Böllingsö) oder sie ist auf diesen Zeitraum beschränkt (RBM; IVERSEN 1954: Vallensgaard Mose / Bornholm). Aus dem heutigen Verhalten von Populus im nördlichen Europa (vgl. IVERSEN 1954, p. 96) ist schwer verständlich, warum sie durch eine Temperatur-Depression inmitten AL relativ gefördert worden sein sollte, und wenn zu dieser Zeit, warum nicht ebenfalls am Ende des AL. KROG (1954, p. 129) vermutet, daß der mittlere AL-Abschnitt seines Diagrammes Ruds Vedby – durch maximale Juniperus- und Populus-Werte und ein Kräuterpollen-Minimum ausgezeichnet – das AL-zeitliche Temperatur-Optimum repräsentiert.]

Bei der Besprechung der Diagramme RBM und KBM wurde auch darauf hingewiesen, daß das späte AL (ALb und c) gegenüber ALa nicht nur durch erhöhte Kiefern-Werte, sondern zugleich durch deutlich erhöhte Werte von Filipendula, Sphagnum und Polypodiaceen charakterisiert ist. Wiederum deutet die überraschend gleichartige Realisierung dieser Merkmale in Alt- und Jungmoräne auf deren zumindest im Bereich dieser Diagramme regionale Gültigkeit. Beweiskräftige Gegenargumente scheinen nicht zu existieren. Vielmehr kann angenommen werden, daß die Merkmale sowohl im übrigen Schleswig-Holstein als auch in anderen Teilen des nördlichen Mitteleuropa und im südlichen Skandinavien zutreffen:

Zu Filipendula: Die Gattung wurde bislang nur selten berücksichtigt: im Diagramm Eichholz-Ost (Abb. 34, p. 135) fehlt sie dem ALa und erreicht im ALb und c kontinuierlich-hohe Werte. Dasselbe gilt für das Diagramm Großer Segeberger See (AVERDIECK, unpubl.), wenn die auf Seite 133 f. vorgeschlagene Zonengliederung als richtig vorausgesetzt wird. (Ebenso scheint in den südskandinavischen Diagrammen das allerödzeitliche Filipen-

---

1) Angedeutet auch b. AVERDIECK: Vielmoor; vgl. auch BEHRE (1966, p. 73).

dula-Maximum stets im späten AL zu liegen (IVERSEN 1954: Böllingsö und Vallensgaard Mose/Bornholm; KROG 1954: Ruds Vedby; KROG, unpubl.: Böllingsö; BERGLUND 1966: Lösensjön; HAFSTEN 1963). Auch die niedersächsischen Diagramme von Westrhauderfehn (BEHRE 1966) und Seckbruch/Hannover (DIETZ / GRAHLE / MÜLLER 1958) verzeichnen klare Maxima im späten AL.

Zu Sphagnum: Nach allen schleswig-holsteinischen Diagrammen, in denen Sphagnum berücksichtigt worden ist, erfolgt dessen erste (stärkere) Ausbreitung am Beginn des späten AL (AVERDIECK 1955: Vielmoor; ALETSEE 1959: Dätgen und Dosenmoor). Dasselbe gilt offenbar für das südliche Schweden (BERGLUND 1966: Lösensjön BP II u. III [1]), die Niederlande (VAN DER HAMMEN 1953), das nordwestdeutsche Flachland (BEHRE 1966) und selbst noch für Polen (WASYLIKOWA 1964: Witów II). [Während Sphagnum in den beiden Altmoränen-Diagrammen Rabensbergmoor und Vielmoor und denen von VAN DER HAMMEN, BEHRE und WASYLIKOWA dem vor-alleröd-zeitlichen Spätglazial fast oder völlig fehlt, erreicht es im Jungmoränen-Diagramm Kubitzbergmoor zu dieser Zeit bereits erhebliche Werte. Dies ist aus vegetationskundlich-ökologischer Sicht unverständlich. Da der vor-alleröd-zeitliche Abschnitt des Diagrammes KBM neben reichlich "Hystrix" hohe Anteile an umgelagerten Sporomorphen aufweist und außerdem Parallelität zwischen deren Häufigkeitsveränderungen und der von Sphagnum zu erkennen ist (Abschnitt 3c, p. 22), liegt es nahe, die betreffenden Sphagnum-Anteile dieses und anderer an umgelagerten Sporomorphen reichen Diagramme[2] auf Umlagerung zurückzuführen. Sie können auf jeden Fall kein stichhaltiges Argument gegen die Annahme sein, daß die Ausbreitung von Sphagnum im nördlichen Mitteleuropa und südlichen Skandinavien allgemein im mittleren AL eingesetzt hat.]

Zu den Polypodiaceen: In allen schleswig-holsteinischen Diagrammen, in denen die Polypodiaceen berücksichtigt worden sind, erfolgt im mittleren AL bzw. am Anfang von ALb ein deutlicher Anstieg der Werte (Jungmoräne) oder doch der Beginn der ± geschlossenen Kurve (Altmoräne). (ALETSEE 1959: Dätgen; SCHMITZ 1954: Eichholz-Ost (Abb. 34, p. 135); AVERDIECK 1955: Vielmoor) Dänische und südschwedische Diagramme verzeichnen im selben Niveau den Beginn bzw. Anstieg der Dryopteris linnaeana-Kurve (IVERSEN 1954: Vallensgaard Mose; KROG 1954; BERGLUND / DIGERFELDT 1970).

Wiederum dürften die relativ hohen vor-alleröd-zeitlichen Polypodiaceen-Werte der beiden an umgelagerten Sporomorphen reichen Diagramme KBM und Eichholz-Ost zumindest teilweise auf Umlagerung beruhen. -

---

1) wenn in diesen beiden Diagrammen die Grenze ALa/b tiefer angenommen wird, als BERGLUND es tut! Diese Verschiebung erschiene u.a. auch durch das Populus-Verhalten gerechtfertigt (vgl. p. 143).

2) Die höchsten vor-alleröd-zeitlichen Sphagnum-Werte (~2%) fand VAN DER HAMMEN bezeichnender Weise in jenem Diagramm (Mekelermeer), das zugleich die höchsten Anteile an umgelagerten Sporomorphen aufweist.

Zusammenfassend ergibt sich aus diesen Angaben, daß das AL zumindest im nördlichen und mittleren Schleswig-Holstein nach folgenden Merkmalen gegliedert werden kann:

	Betula	Pinus	Juniperus Salix (NBP)	Filipendula Sphagnum Polypodiaceae
ALc	hohe Werte	relativ hohe Werte		relativ hohe Werte
ALb	Minimum		Maximum	steigende Werte
ALa	hohe bis höchste Werte	relativ niedrige Werte		relativ niedrige Werte oder fehlend

Dieselbe Gliederung kann für das südliche Schleswig-Holstein mit der Einschränkung angenommen werden, daß das ALb dort bislang nicht zu erkennen ist und möglicherweise auch nicht mehr erkannt werden kann. Offenbleiben muß auch die Frage nach der Untergrenze des AL. Hier scheinen zwischen Jung- und Altmoränen-Diagrammen Unterschiede vorzuliegen: Während beim Diagramm KBM (und Gr. Segeberger See - AVERDIECK unpubl.) aufgrund anfänglich hoher Juniperus- (und Salix-)Werte eine DR 2/AL-Übergangszone ausgeschieden werden kann, fehlt diese beim Diagramm RBM vollkommen.

Anhangsweise sei das Diagramm Glüsing (MENKE 1968) betrachtet. In dessen mittlerem Teil steigt die Birken-Kurve nach lange anhaltenden Werten um 20% unvermittelt auf Werte bis zu annähernd 60%. Dann erfolgt ein allmählicher Abfall bis wenig unter 40% und schließlich ein erneuter Anstieg auf durchschnittlich 55 und maximal fast 60%.

Der Zeitraum stärkster Depression der Birken-Kurve und erhöhter Cyperaceen-, Poaceen-, Artemisia- und Juniperus-Werte ist von MENKE als DR 2 ausgewiesen, der vorhergehende mit den ersten hohen Birken-Werten als BÖ. Diese Gliederung würde - wenn richtig - bedeuten:

(1) Die Mächtigkeit der Sedimente von BÖ+DR 2 wäre größer als die des AL.

(2) Der Rückgang der Birken-Werte von BÖ zu DR 2 wäre mit durchschnittlich 12% ungewöhnlich gering.

(3) Die (stärkere) Ausbreitung von Sphagnum, die im nördlichen Mitteleuropa allgemein erst im mittleren AL zu beginnen scheint, würde hier - durch kräftigen Anstieg der Werte bis zu 15% belegt - bereits im BÖ einsetzen.

(4) Die maximalen Filipendula-Werte fielen eindeutig und im Widerspruch zum sonstigen Verhalten der Gattung in das frühe AL.

Unter diesen Voraussetzungen und in Kenntnis der oben für das nördliche und mittlere Schleswig-Holstein beschriebenen AL-Gliederung dürfte der genannte Abschnitt des Diagrammes Glüsing eher folgendermaßen zu gliedern sein: "BÖ" wäre als ALa, "DR 2" als ALb und der folgende Zeitraum hoher Birken-Werte als ALc aufzufassen. Würde ferner die Untergrenze von "DR 2" bzw. ALb etwas tiefer gelegt, was nach dem Verlauf der Birken-Kurve gerechtfertigt ist, so gälte:

(1) Die Ausbreitung von Sphagnum beginnt wie üblich mit dem mittleren AL.

(2) ALb ist durch erhöhte Juniperus- (und Salix-)Werte charakterisiert.

(3) Die maximalen Filipendula-Werte fallen wie üblich in das späte AL.

Die hier vorgeschlagene Gliederung des Diagrammes Glüsing mag vor allem aus folgendem Grunde nicht ganz befriedigen: Wird die Sedimentmächtigkeit als Zeitmaß verwendet, muß für ALa gegenüber ALb und c ein sehr kurzer Zeitraum angenommen werden! Es sei aber darauf hingewiesen, daß auch nach den Diagrammen RBM und Bölling-See (IVERSEN 1954) ALa nur ein ganz kurzer Abschnitt des AL gewesen sein dürfte.

Da andererseits die von MENKE vorgenommene Ausgliederung von BÖ und DR 2 offenbar noch weniger befriedigen kann, wird die vor allem auf das Diagramm Glüsing gestützte Vermutung, daß in Schleswig-Holstein eine vor-böllingzeitliche Wärmeschwankung ("Meiendorf-Intervall(?)") zu erkennen sei, nun vollends fragwürdig (nachdem bereits oben erläutert worden ist, daß auch in den anderen von MENKE zitierten Diagrammen von einem Hinweis auf "Meiendorf" kaum die Rede sein kann)[1]. An dieser Auffassung kann auch die Tatsache nichts ändern, daß nach den Untersuchungen von MÖRNER und anderen Autoren (MÖRNER 1970) an der Existenz eines vor-böllingzeitlichen Interstadials von weltweiter Bedeutung ("Vintapper"- bzw. "Sucacá"- und andere wahrscheinlich zeitgleiche Interstadiale) grundsätzlich kaum gezweifelt werden kann.

Bemerkungen zur klimatischen Differenzierung des AL:
Wie oben angegeben scheint der Kiefern-reichere Abschnitt des AL in weiten Teilen des nördlichen Mitteleuropa durch deutlich erhöhte (bzw. steigende) Werte von Filipendula, Sphagnum (und Polypodiaceen) ausgezeichnet zu sein. Dasselbe gilt zumindest für Teile des südlichen Skandinavien. Hier liegen demnach pollenanalytische Merkmale vor, deren offenbar weiter Gültigkeitsbereich kaum anders als großklimatisch bedingt sein kann, die also klimatische Rückschlüsse zulassen dürften (und ferner zur Gliederung des AL verwendbar sein könnten):

---

1) Dasselbe gilt übrigens für das Diagramm Marais des Vance II (HEIM-THOMAS 1969), in dem sein Autor das "Meiendorf-Intervall" zu erkennen glaubt: Die anschließende "Kaltzeit" ("Grömitz-Schwankung(?)") ist in diesem Diagramm allein durch stark erhöhte Cyperaceen-Werte ausgewiesen – bei gleichzeitigem Tiefstand aller übrigen NBP.

Die Ausbreitung von Sphagnum inmitten AL kann vor allem deshalb auf klimatische Ursachen zurückgeführt werden, weil sie in edaphisch (und klimatisch) unterschiedlichen Landschaften offenbar ± gleichzeitig erfolgte. Edaphische Unterschiede bestimmten zwar sehr wahrscheinlich das Ausmaß der Ausbreitung (vgl. Abschnitt VII D, p.154), nicht aber den Zeitpunkt ihres Beginns. Der Klimawandel, der zur Ausbreitung von Sphagnum geführt hat, dürfte vor allem in einer Zunahme der Ozeanität bestanden haben.

Der mittel-allerödzeitliche Polypodiaceen-Anstieg (der nur in schleswig-holsteinischen und südskandinavischen Diagrammen gut ausgeprägt zu sein scheint und hier mit dem von Sphagnum z.T. erstaunlich synchron ist (vgl. die Diagramme RBM und KBM) mag ebenfalls auf eine Zunahme der Ozeanität weisen. (Es kann angenommen werden, daß die Polypodiaceen-Werte der schleswig-holsteinischen Diagramme wie die der südskandinavischen im wesentlichen auf der nordisch(-subozeanen) Dryopteris linnaeana beruhen). An eine Förderung durch erhöhte Temperaturen kann schon deshalb nicht gedacht werden, weil die Polypodiaceen während DR 3 z.T. weit häufiger sind und der Anstieg ihrer Werte mit dem Beginn des ALb, d.h. einer kühleren Phase, erfolgte.)

Mit einer Zunahme der Ozeanität im späten AL rechnet auch VAN DER HAMMEN (1953, p.110). Seine Argumente sind vor allem die Expansion von Empetrum und das Ausklingen von Helianthemum, Sanguisorba minor und ökologisch ähnlichen Arten zu Beginn dieser Zeit.

Die klimatische Deutung des spät-allerödzeitlichen Filipendula-Maximums bleibt selbst dann problematisch, wenn unterstellt wird, daß es im wesentlichen auf Filipendula ulmaria beruht. Diese Art gilt als relativ wärmebedürftig. Das folgt aus ihrem heutigen Verhalten in Skandinavien und den Alpen, wo sie die Baumgrenze kaum bzw. nicht überschreitet (IVERSEN 1954, p.98), und dem im frühen Präboreal, auf dessen günstigere Temperaturen sie als eins der ersten pollenanalytisch erfaßbaren Taxa reagiert. So kann angenommen werden, daß die Art auch während des späten AL durch höhere Temperaturen gefördert worden ist (vgl. BEHRE 1966, p.73). Diese Auffassung entspräche der Vorstellung FIRBAS's (1949, p.120). nach der der AL-zeitliche (wie präboreale Wechsel) von Birken- zu Kiefern-beherrschten Wäldern am besten als Folge erhöhter Temperaturen während der Vegetationsperiode verstanden werden kann; sie widerspräche dagegen der oben begründeten Annahme höherer Ozeanität im späten AL, es sei denn, daß mit den erhöhten Temperaturen eine erhebliche Zunahme der Niederschläge verbunden gewesen wäre.

Unter diesen Umständen sind die folgenden Fakten bemerkenswert: (1) Die Diagramme KBM, Heiligenhafen und Vallensgaard Mose lassen erkennen, daß der Anstieg der Filipendula-Kurve zum spät-allerödzeitlichen Maximum entweder im ALb beginnt, oder nach Beginn im ALa sich im ALb fortsetzt. Wird das ALb zurecht als Zeitraum erniedrigter Temperatur aufgefaßt, so kann die Förderung von Filipendula zumindest zu dieser Zeit nicht Folge steigender Temperaturen gewesen sein. Andererseits zeigt das Diagramm RBM im ALb eine schwache Depression der Filipendula-Kurve! (2) In den niederländischen Diagrammen (V.D. HAMMEN 1953), d.h. im

nordwestlichen Mitteleuropa, erreicht Filipendula bereits im frühen AL hohe bis maximale Werte. Dasselbe gilt zumindest für einen Teil der Diagramme aus dem südlichen Mitteleuropa (vgl. z.B. WEGMÜLLER 1966). Dagegen verzeichnen die Diagramme von Witów / Polen (WASYLIKOWA 1964) ein klares Filipendula-Maximum im späten AL. - Damit erscheint denkbar, daß Filipendula ulmaria, deren heutiges eurasiatisches Verbreitungs-Gebiet Auflockerung nach Osten erkennen läßt (OBERDORFER 1970, HULTÉN 1950) im AL durch steigende Temperaturen und steigende Ozeanität gefördert worden ist.

[Eine kritische Bewertung der klimatischen Differenzierung des AL (die hier nicht vorgenommen werden soll) müßte vor allem von der Frage ausgehen, ob die Kiefern-Zunahme am Beginn des späten AL tatsächlich klimatische Ursachen hatte oder sich aus einwanderungs- bzw. ausbreitungsgeschichtlichen Gründen bis zu diesem Zeitpunkt verzögert hat. Immerhin sprechen eine Reihe von Argumenten für die letzte Auffassung, so vor allem die Tatsache, daß die DR 3-zeitlichen Pinus-Werte selbst im nördlichen und nordwestlichen Mitteleuropa häufig noch so hoch sind, daß mit einem Überdauern der Kiefer gerechnet wird (SCHÜTRUMPF 1943, V.D. HAMMEN 1953, p. 112, IVERSEN 1954, p. 98, BEHRE 1966, p. 75). Zutreffen dieser Auffassung würde - wie VAN DER HAMMEN (l.c.) hervorhebt - mit großer Wahrscheinlichkeit bedeuten, daß auch schon das frühe AL der Kiefer ein zusagendes Temperatur-Klima geboten haben dürfte. Dieselbe Folgerung erscheint möglich, wenn die AL-Temperaturen zugrunde gelegt werden, die IVERSEN (1954) für Dänemark ermittelt hat.

Anhaltspunkte könnten sich auch aus der Analyse des AL-zeitlichen Verhaltens von Artemisia und Salix ergeben: beide Taxa zeigen in den weitaus meisten Diagrammen aus dem nördlichen und mittleren Mitteleuropa einen Tiefstand im späten AL. Dieser ist zumeist deutlicher als der der übrigen NBP, er kann also nicht allein auf erhöhte BP-Produktion zu dieser Zeit zurückgeführt werden. Im Fall der vorwiegend kontinental verbreiteten Gattung Artemisia kann wieder an erhöhte Ozeanität als Ursache gedacht werden.

Schließlich kann der AL-zeitliche Gang des BP/NBP-Verhältnisses Kriterium sein und zwar bei Diagrammen, die eine nur unbedeutende Kiefern-Beteiligung aufweisen, so daß Veränderungen des BP/NBP-Verhältnisses nicht auf der unterschiedlichen Dichte bzw. Pollenproduktivität von Birken- und Kiefern-Wäldern beruhen können. Solche Diagramme (RBM, KBM; Böllingsö, Nörre Lyngby, Akkerup Mose (IVERSEN 1942 u. 47)) lassen keine oder keine signifikante Zunahme der Bewaldungsdichte erkennen, obwohl die maximal mögliche im AL sehr wahrscheinlich noch nicht erreicht gewesen ist.]

B 3 Jüngere Tundrenzeit - DR 3

Die Jüngere Tundrenzeit erscheint bislang in schleswig-holsteinischen Diagrammen (wie allgemein) als vegetationskundlich-klimatisch ± einheitlicher Zeitraum. Andererseits lassen die während DR 3 entstandenen mittelschwedischen und südfinnischen Endmoränen (Salpausselkä) einen mehr-

fachen Wechsel von Rückzugs- und Vorstoßphasen erkennen, der auf zumindest geringfügige klimatische Schwankungen in dieser Zeit schließen läßt. Dies veranlaßte im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf Anhaltspunkte für eine (entsprechende) vegetationskundlich-klimatische Gliederung von DR 3 zu achten. Dabei war davon auszugehen, daß

(1) die klimatischen Veränderungen während DR 3 sicher nur zu geringen quantitativen Vegetationsveränderungen geführt haben konnten und pollenanalytisch kaum anders als durch eine Verschiebung des BP/NBP-Verhältnisses zum Ausdruck kommen würden und

(2) die regionale Vegetation des DR 3-zeitlichen Schleswig-Holstein Zwerg-Birken-reiche "Parktundren" gewesen sein dürften, deren Pollenniederschlag erhebliche Anteile von B. nana und Baumbirken enthalten haben muß.

Aus diesen Voraussetzungen war gefolgert worden, daß eine mögliche vegetationskundlich-klimatische Gliederung von DR 3 ohne eine pollenanalytische Differenzierung der Birken kaum erkannt werden konnte.

Nun ist zwar bei den beiden hier vorgelegten Diagrammen nicht nur eine Differenzierung der Birkenpollen vorgenommen, es sind auch in beiden Fällen DR 3-zeitliche Schwankungen des BP/NBP- bzw. Baumbirken/Zwergbirken-Verhältnisses festgestellt oder doch wahrscheinlich gemacht worden. Trotzdem kann nicht von glaubwürdigen Hinweisen auf eine vegetationskundlich-klimatische Differenzierung von DR 3 gesprochen werden: Wie in den Abschnitten V und VI begründet, könnten die Schwankungen des BP/NBP-Verhältnisses auf wechselnden Anteilen umgelagerten AL-Sediments beruhen.

In Abschnitt VI, p. 109, ist ebenfalls erläutert worden, daß während DR 3 allgemein mit Umlagerung von AL-Sediment gerechnet werden muß und daß aufgrund der hohen Pollengehalte der AL-Sedimente vor allem in kleinen Hohlformen erhebliche Verfälschungen der DR 3-zeitlichen Pollenflora zu befürchten sind. Das bedeutet, daß die Untersuchung von Sedimenten aus solchen Hohlformen ganz allgemein zu Aussagen über die vegetationskundlich-klimatische Differenzierung von DR 3 kaum geeignet sein dürften und darüber hinaus zu größenordnungsmäßig falschen Schlüssen führen können; dann nämlich, wenn die DR 3-zeitlichen Absätze zum überwiegenden Teil aus umgelagertem AL-Sediment bestehen.

Dieser letzte Fall scheint nicht nur für die frühen DR 3-Absätze des Rabensbergmoores zu gelten; er könnte auch in anderen Sedimentationsräumen realisiert sein: Nach den Untersuchungen SCHÜTRUMPF's bei Meiendorf-Ahrensburg liegt dort über spät-allerödzeitlichen Torfen vielfach limnisches Sediment des ausgehenden AL und der Jüngeren Tundrenzeit. Ein Wasserspiegelanstieg an der Wende AL/DR 3 ist genausowenig zu bezweifeln, wie die daraus resultierende Aufarbeitung und Umlagerung des AL-Torfes, der also mit seinen hohen Gehalten an Birken- und Kiefernpollen in DR 3-Sediment gelangte. Eventuell kann hierin ein Grund dafür gesehen werden, daß einige der Diagramme (Meiendorf) den DR 3-zeitlichen Rückgang der Baumpollen nur andeutungsweise oder gar nicht erkennen lassen (die DR 3-zeitliche Pollenzusammensetzung des Diagrammes Meiendorf A

ist der des späten AL praktisch identisch!) während die meisten anderen Diagramme aus demselben Gebiet die übliche deutliche Abnahme zeigen. -

Wird im Fall Rabensbergmoor angenommen, daß der Braunmoos-Schwemmtorf der frühen DR 3 tatsächlich größere Mengen umgelagerten AL-Sediments enthält, so können Aussagen über die DR 3-zeitliche Pollenflora nur anhand jener Pollenspektren gemacht werden, die den fast rein mineralischen Absätzen der späten DR 3 entstammen (Spektr. 89 - 110, "Schluffiger Feinsand"). Diese Spektren sind (bezeichnenderweise) durch die höchsten NBP- und B. nana-Werte ausgezeichnet; trotzdem ist B. nana-Pollen deutlich seltener als der der Baumbirken. Im Gegensatz hierzu sind Pollen der beiden Taxa im Diagramm KBM durchschnittlich zumindest gleich häufig, möglicherweise (p. 60: Zu (1)) ist aber B. nana weit stärker vertreten. Auf jeden Fall spielen Baumbirken während DR 3 im Bereich des RBM eine größere Rolle als im Bereich des fast 100 km südöstlich gelegenen KBM. Inwieweit sich hier ein allgemeiner Unterschied zwischen Alt- und Jungmoräne zeigt, kann anhand der beiden bislang vorliegenden Diagramme mit Birkenpollen-Differenzierung natürlich nicht entschieden werden (vgl. p. 139f.).

B 4 DR 3/Präboreal (PB)-Übergangszone

Zu Beginn des Präboreals kann in den Diagrammen RBM, KBM und einem weiteren, hier nicht veröffentlichten, vom Brammer Berg (Abb. 35; Nr. 3, p. 141) aufgrund deutlicher Juniperus-Maxima eine DR 3/PB-Übergangszone ausgeschieden werden, wie sie von IVERSEN (1954) anhand dänischer Diagramme beschrieben worden ist. Sie wäre Ausdruck der beginnenden präborealen Erwärmung, durch die Juniperus solange gefördert worden ist, bis die sich verdichtenden Wälder ihn standörtlich oder doch pollenanalytisch eingeschränkt haben.

Mit dem früh-präborealen Anstieg der Juniperus-Kurve fällt in allen drei Diagrammen ein schneller Anstieg der Filipendula- und Urtica-Werte zusammen, der ebenfalls im wesentlichen Folge steigender Temperaturen sein dürfte. Da der Rückgang der beiden Taxa stets deutlich nach dem Juniperus-Abfall erfolgt[1)], ist anzunehmen, daß sie auch zur Zeit stärker geschlossener Bewaldung noch weite Verbreitung besessen haben. Ihr präboreales Verhalten entsprach also ganz dem im AL.

Die nahezu identische Entwicklung der DR 3/PB-Übergangszone in den drei genannten Diagrammen läßt auf eine zumindest im nördlichen und mittleren Schleswig-Holstein regional gültige Erscheinung schließen. Daß die Zone auch im Süden des Landes realisiert ist, kann vermutet werden, wenngleich Belege fehlen, da Juniperus in den bisherigen Diagrammen aus diesem Gebiet nicht berücksichtigt worden ist. (Immerhin verzeichnet das Diagramm

---

1) Dasselbe Verhalten zeigt Filipendula in den Diagrammen von Vallensgaard Mose / Bornholm (IVERSEN 1954), Böllingsö (KROG, unpubl.) und denen aus dem südlichen Schweden (BERGLUND 1966, BERGLUND / DIGERFELDT 1970).

Westrhauderfehn (BEHRE 1966) für das nordwestliche Niedersachsen hohe Juniperus-Werte im frühen Präboreal!)

Nach IVERSEN (1954, p. 99) ist die DR 3/PB-Übergangszone ("juniper zone") einiger dänischer Diagramme durch reichlich Populus-Pollen ausgezeichnet. Auch in den hier vorliegenden Diagrammen setzt die Populus-Kurve etwa mit dem Juniperus-Anstieg ein. Die höchsten Werte werden aber deutlich nach dem Juniperus-Maximum erreicht (Diagramm Brammer Berg bis 17 %!).

VII C SEESPIEGELSCHWANKUNGEN

Hinweise auf Seespiegelschwankungen, die sich aus stratigraphischen Befunden ergeben, sind bereits auf den Seiten 88 f. und 98 f. zusammengestellt worden. Sie sollen hier anhand pollenanalytischer Kriterien überprüft und ergänzt werden, was zumindest im Fall Rabensbergmoor möglich zu sein scheint.

Ausgangspunkt ist die Tatsache, daß die Häufigkeitsveränderungen von Menyanthes und Equisetum im Diagramm RBM weitgehende Parallelität erkennen lassen. Danach scheint Equisetum im wesentlichen durch E. fluviatile, d.h. jene Art vertreten zu sein, die Menyanthes in ökologisch-soziologischer Hinsicht am nächsten steht. Die Annahme wird durch Funde von makroskopischen E. fluviatile-Resten in den Gyttjen und telmatischen Torfen des Präboreals bestätigt bzw. gestützt.

Der Verbreitungsschwerpunkt von Menyanthes und E. fluviatile liegt in meso- (bis eu-)trophen Flach- und Verlandungsmooren. Beide Arten neigen zur Massenentfaltung im flachen Wasser der Uferzone kleiner Seen. Schwankungen ihrer Pollen- bzw. Sporenhäufigkeit können also als Ausdruck von wechselnder Uferentfernung, d.h. als Folge von Seespiegelschwankungen aufgefaßt werden. Bedingung ist natürlich, daß die Häufigkeitsveränderungen der beiden Arten nicht durch Veränderungen der Bewaldungsdichte erklärbar sein dürfen, d.h. sie müssen deutlich größer sein als synchrone Veränderungen der NBP-Häufigkeit. Unter diesen Bedingungen gilt:

(1) Die BÖ- und DR 2-zeitlichen Menyanthes- und Equisetum-Werte sind gegenüber denen von DR 1 um durchschnittlich mehr als die Hälfte erniedrigt. (Dasselbe gilt für die Werte des Potentilla-Typs, die vorwiegend zu dem ökologisch ähnlichen Comarum palustre gehören dürften!) Die Abnahme der NBP von DR 1 bis DR 2 ist weit geringer. Zu Beginn des AL fällt Equisetum auf noch niedrigere Werte; Menyanthes geht gegen 0. In Übereinstimmung mit dem stratigraphisch erschlossenen Befund kann für den Zeitraum DR 1 - frühes AL ein Seespiegelanstieg angenommen werden. (Die Veränderungen der Menyanthes- und Equisetum-Häufigkeit während BÖ und DR 2 sind dagegen nicht größer als die korrespondierenden Veränderungen der NBP-Häufigkeit.)

(2) Deutlich erhöhte Equisetum-Werte während ALb sind zwar nicht mit erhöhten Menyanthes-Werten verbunden, aber immerhin ein Hinweis auf die stratigraphisch für diese Zeit wahrscheinlich gemachte Seespiegelsenkung.

(3) Zur Frage, ob an der Wende AL/DR 3 eine Seespiegelhebung oder -senkung stattgefunden hat, liefern Menyanthes und Equisetum mit gleichbleibenden Werten keine Information.

(4) Während der späten DR 3 nehmen die Werte von Menyanthes und Equisetum bei ± gleichbleibenden NBP-Werten sprunghaft zu. Dann erfolgt allmählicher Rückgang zum PB. Zu dessen Beginn (DR 3/PB - Übergangszone) fehlt Menyanthes, während Potamogeton, Batrachium, Isoëtes und Myriophyllum (die während der späten DR 3 praktisch nicht registriert wurden) ausgeprägte Maxima erreichen. Mit dem anschließenden Rückgang der Hydrophyten steigen die Kurven von Menyanthes und Equisetum auf zuvor nicht erreichte Werte.

Der spät-DR 3-zeitliche Anstieg der Menyanthes- und Equisetum-Kurven dürfte auf eine Seespiegelsenkung weisen, wenngleich auch an eine Aufhöhung des Seebodens durch die schnelle DR 3-zeitliche Sedimentation bei ± konstantem Wasserstand gedacht werden kann (vgl. BEHRE 1966, p. 80). Als sehr wahrscheinlich gelten kann ein Seespiegelanstieg zum PB mit kurzfristigem Maximum während des frühen PB. Sicher und auch stratigraphisch belegt ist die unmittelbar folgende, zur endgültigen Verlandung führende Seespiegelsenkung. -

Beim Diagramm KBM können pollenanalytische Aussagen über Seespiegelschwankungen - wenn überhaupt - praktisch nur anhand der Equisetum-Kurve gemacht werden, da die sehr niedrigen Menyanthes-Werte kaum signifikante Veränderungen zeigen. Eine Abnahme der Equisetum-Werte vom Beginn des Diagrammes bis zum AL-Beginn um weit mehr als die Hälfte (bei zunehmenden Kräuterpollen-Werten!) könnte auf einen Seespiegelanstieg deuten, der aber durch eine Absenkung des Seebodens als Folge des Tauens von Toteis hervorgerufen sein kann. Erhöhte Werte während ALb mögen Hinweis auf eine Senkung sein. Dasselbe gilt für die geringfügig erhöhten Menyanthes-Werte während der späten DR 3. -

Detaillierte Angaben über spätglaziale Seespiegelschwankungen sind bisher nur von wenigen Autoren gemacht worden: vor allem von WASYLIKOWA (1964) und BERGLUND / DIGERFELDT (1970). Einige Informationen können auch der Arbeit von BEHRE (1966) entnommen werden. Zusammen mit den im RBM und KBM gewonnenen Ergebnissen ergibt sich das folgende Bild:

	Zentral-Polen Witów WASYLIKOWA 1964	Niedersachsen Westrhauderfehn BEHRE 1966	Süd-Schweden Torreberga BERGLUND / DIGERF. 1970	Schleswig-Holstein RBM | KBM diese Arbeit			
				strati-graphisch	pollen-analytisch	strati-graphisch	pollen-analytisch
PB	(–)			–	–	–	
DR 3-PB	+	+	(+)		+	+	
DR 3	(–) +	–	– +	+oder–	(+) –	– + –	(–)
AL a AL b AL c	+		–	(+) –	(–)	(+) (–)	(–)
DR 1+2				+	+		(+)

\+ Seespiegelanstieg – Seespiegelsenkung ( ) unsicher

Die Zusammenstellung zeigt z.T. sehr gute Übereinstimmung: In allen Gebieten ist ein Seespiegel-Tiefstand während der späten DR 3 zumindest sehr wahrscheinlich. Dasselbe gilt für einen Anstieg zum PB, d.h. während DR 3 - PB. Dieser Anstieg war zumindest im RBM, KBM (und bei Witów) von nur kurzer Dauer.

Bei der klimatischen Deutung dieses Befundes kann davon ausgegangen werden, daß das Spiegel-Niveau eines Sees ohne Überlauf im wesentlichen Funktion von Niederschlagshöhe und Temperatur ist. Temperaturerhöhung bei gleichbleibenden Niederschlägen muß zu einer Spiegelsenkung führen. An der Wende DR 3/PB ist das Gegenteil der Fall. Die zum PB ansteigenden Temperaturen müssen also mit einer Zunahme der Niederschläge verbunden gewesen sein. Die anschließende Spiegelsenkung kann als Folge des weiteren präborealen Temperatur-Anstiegs bei nun gleichbleibenden oder abnehmenden Niederschlägen gewertet werden.

Im Rabensbergmoor kann für den Zeitraum DR 1-Beginn AL ein deutlicher

Seespiegelanstieg angenommen werden. Die Ergebnisse vom KBM sprechen nicht dagegen. Sollte ein allgemein gültiges Phänomen vorliegen, so müßte angenommen werden, daß auch die Erwärmung zum AL mit zunehmenden Niederschlägen verknüpft gewesen ist.

Eine Seespiegelsenkung im mittleren AL kann bislang nur im RBM als ziemlich wahrscheinlich gelten.

Unklar sind die Verhältnisse um die Wende AL/DR 3. Sehr wahrscheinlich lag der Seespiegel der frühen DR 3 über dem des späten AL. Im KBM und anderen spätglazialen Seen Schleswig-Holsteins muß aber mit einem vorübergehenden Tiefstand am Ende AL oder danach gerechnet werden. Belege für einen Anstieg in der frühen DR 3 liefert auch ein Teil der Diagramme von Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF l.c.) mit DR 3-Gyttjen über AL-Torfen.

VII D VEGETATIONSKUNDLICHE UNTERSCHIEDE DER SPÄTGLAZIALEN ALT- UND JUNGMORÄNEN-LANDSCHAFTEN SCHLESWIG-HOLSTEINS

Daß solche Unterschiede bestehen müssen, kann bereits theoretisch gefordert werden; denn edaphische Unterschiede, wie sie in der rezenten Alt- und Jungmoränen-Vegetation zum Ausdruck kommen, haben zweifellos schon in spätglazialer Zeit existiert. Zwar kann angenommen werden, daß Würm-periglaziale Bodenumlagerung der tiefgreifenden Eem-zeitlichen Verarmung der Altmoränen-Böden entgegen gewirkt hatten, das günstige Nährstoffangebot der Jungmoränen-Substrate, vor allem deren hoher Kalkgehalt, war aber sicher nur stellenweise erreicht worden[1].

Auch kann damit gerechnet werden, daß die in den Altmoränen-Landschaften weitverbreitete Ablagerung äolischer Sedimente zu einer gewissen Nährstoffzufuhr geführt hat. Da aber äolische Sedimente in Schleswig-Holstein fast ausschließlich aus feinkornarmen Sanden bestehen (vgl. z.B. PICARD 1969), die bereits primär nur geringen Nährstoffgehalt aufgewiesen haben, zumindest aber schnell verarmten, kann diese Nährstoffzufuhr hier nur von geringer und vorübergehender Bedeutung gewesen sein: Auf Dauer waren die Flugsanddecken der schleswig-holsteinischen Altmoränen-Landschaften vielmehr ein zusätzlicher Grund für den edaphischen Gegensatz zur Jungmoräne.

Gegensätze bestanden auch insofern, als die Altmoränen-Landschaften am Ende der letzten Eiszeit wenigstens lokal von Vegetation und ± entwickelten Bodenbildungen bedeckt gewesen sind, während auf den frisch ausgetauten Jungmoränen-Substraten allenfalls Rohböden angenommen werden können,

---

1) wo unverwitterter Geschiebemergel an die Oberfläche oder in deren unmittelbare Nähe gelangte und nicht durch Flugsande abgedeckt wurde; die rezente Vegetation solcher Bereiche ist der der reichsten Jungmoränen-Böden praktisch identisch.

die durch Instabilität der Substrate (Relief, Toteis!) lokal durch das ganze Spätglazial erhalten geblieben sind.

Die spätglaziale Vegetation der Alt- und Jungmoränen-Landschaften (Schleswig-Holsteins) läßt also Unterschiede erwarten, die erstens die bereits zu Beginn des Spätglazials bestehende weiter fortgeschrittene Entwicklung und weniger günstige Nährstoff-Versorgung der Altmoränen-Böden und zweitens deren schnellere Verarmung erkennen lassen.

Tatsächlich belegen die beiden Diagramme RBM und KBM für die betreffenden Bereiche der Alt- und Jungmoräne Schleswig-Holsteins vegetationskundliche Unterschiede, die sehr wahrscheinlich in der genannten Weise erklärt werden können. Ein Vergleich mit anderen Diagrammen zeigt, daß wenigstens teilweise Unterschiede von allgemeinerer Gültigkeit vorliegen (wenngleich generelle Gültigkeit nicht erwartet werden kann - vgl. die Anmerkung p. 154).

Die Unterschiede sind sowohl in der aquatischen Vegetation bzw. der Trophie der spätglazialen Seen (vgl. Abschnitt VII E, p. 157), wie vor allem in der regionalen Landvegetation zu erkennen:

(1) Hippophaë: Die vor-allerödzeitlichen Höchstwerte der Art betragen 0.4 (RBM) bzw. 20 % (KBM). Der Unterschied ist im Vergleich zu den sonst registrierten zwar ungewöhnlich hoch, er unterstreicht aber voll deren offenbar allgemeine Gültigkeit (Tab. 5).

Altmoräne		Jungmoräne	
Rabensbergmoor	0.4 %	Köhlmoor (TIDELSKI 1960)	3.5 %
Glüsing (MENKE 1968)	1.5	Kubitzbergmoor	20
Vielmoor (AVERDIECK 1955)	1.0	Eichholz-Ost (SCHMITZ 1954)	2.2[1]
Esinger Moor (HALLIK / GRUBE 1954)	2.2	Trentmoor (TIDELSKI 1960)	16.5
		Dätgen (ALETSEE 1959)	10.5
		Segeberger See (AVERDIECK / ERLENKEUSER / WILLKOMM 1970)	2.5
		Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935 - 1955)	8

1) Für dieselbe Lokalität wurde von WALDVOGEL (unpubl.) ein Wert von ca. 8 % ermittelt.

Tab. 5 Hippophaë-Höchstwerte für das frühe Spätglazial Schleswig-Holsteins

Ursache für die unterschiedliche Häufigkeit der Art dürfte nicht allein der geringere Kalk- (bzw. Nährstoff-)gehalt der Altmoränen-Substrate sein (Hippophaë kann in Europa nur als kalkhold gelten), sondern zugleich deren weiter fortgeschrittene Boden- und Vegetationsentwicklung. (Die

extrem hohen Jungmoränen-Werte könnten eventuell darauf beruhen, daß Hippophaë-Bestände bis an die Ufer der Jungmoränen-Seen herangereicht haben. Die Altmoränen-Seen boten mit flachen und versumpften Randbereichen diese Möglichkeit sicher nicht.)

(2) Empetrum: Die geschlossene Kurve beginnt im Diagramm KBM im frühen AL. Hohe Werte werden – wie in der schleswig-holsteinischen Jungmoräne allgemein – erst während DR 3 erreicht. Das Diagramm RBM belegt dagegen reichliches Vorkommen der Gattung schon während BÖ (mit Werten, die während DR 3 kaum erreicht werden!).

Eine derart frühe Ausbreitung von Empetrum ist selbst in den Altmoränen-Gebieten anscheinend bislang nicht beobachtet worden (es sei denn, daß die von MENKE (1968) beim Diagramm Glüsing vorgenommene Ausgliederung von BÖ entgegen der auf Seite 145 f. entwickelten Vorstellung richtig ist). In anderen Altmoränen-Diagrammen sind nur ganz geringe vor-allerödzeitliche Werte verzeichnet.[1] Allgemeine Häufigkeit von Empetrum in den Altmoränen-Landschaften kann für diese Zeit also sicher nicht angenommen werden.

Als Ausnahmefall muß die BÖ-zeitliche Empetrum-Massenentfaltung vom RBM natürlich Zweifel erwecken. Da aber an eine Fehlbestimmung schon deshalb nicht gedacht werden kann, weil derart hohe Ericales-Werte in limnischen Sedimenten von kaum einem anderen Taxon, als dem windblütigen Empetrum stammen dürften, müßte die Gliederung des Diagrammes angezweifelt werden. Dazu besteht aber anscheinend kein vernünftiger Anlaß.

Reichliches Vorkommen von Empetrum setzt ausgedehntere Bereiche kalkarmer und nicht zu nasser Substrate voraus: Die Torfböden der während BÖ und DR2 noch ± Sphagnum-freien Seggenmoore in der Umgebung des RBM-Sees dürften weniger geeignet gewesen sein, als oberflächlich entkalkte, grundwasser-unbeeinflußte Mineralböden.

Die BÖ-zeitliche Empetrum-Massenentfaltung vom RBM liefert einen weiteren Hinweis auf die Ursachen der spätglazialen Empetrum-Ausbreitung (die teils als vorwiegend klimatisch bedingt (z.B. V.D. HAMMEN 1953, p. 112), teils als Folge einer Verarmung und Versauerung der Böden gedeutet wird). Da Empetrum auf geeigneten Substraten des BÖ-zeitlichen Schleswig-Holstein offenbar reichlich gedieh, dürfte sein weitgehendes Fehlen in anderen Teilen des Landes zu dieser Zeit hauptsächlich in der weiten Verbreitung basenreicher Böden begründet und seine AL - und DR 3-zeitliche Ausbreitung im wesentlichen Folge der im AL forcierten Bodenverarmung gewesen sein. Daß gleichzeitig klimatische Ursachen eine Rolle gespielt haben dürften, soll nicht bezweifelt werden (vgl. die zusammenfassende Darstellung bei BERGLUND 1966, p. 128 f.).

---

1) Eine geringe BÖ-zeitliche Empetrum-Förderung, die das vom Altmoränen-nahen Böllingsö stammende, von IVERSEN (1952) publizierte Diagramm erkennen läßt, findet in dem Diagramm von KROG (unpubl.) keine Bestätigung.

(3) Sphagnum: Im Diagramm RBM sind gegenüber KBM während AL und DR 3 weit höhere Sphagnum-Werte verzeichnet[1]. Zwar können die extrem hohen Werte der frühen DR 3 zum großen Teil auf Umlagerung von AL-Torf beruhen, doch sind selbst die der späten DR 3 um mehr als das 10fache höher. Dieselben Unterschiede Alt-/Jungmoräne zeigen alle schleswig-holsteinischen Diagramme, die Sphagnum berücksichtigen (AVERDIECK (1955): Vielmoor; ALETSEE (1959): Dätgen, Dosenmoor; AVERDIECK (unpubl.): Großer Segeberger See). Ebenso verzeichnen zahlreiche andere Altmoränen-Diagramme für das späte AL und DR 3 erhebliche Sphagnum-Werte (z.B. BEHRE (1966), V.D. HAMMEN (1953), WASYLIKOWA (1966): Witów II), während z.B. die südschwedischen Diagramme Sphagnum-arm sind (BERGLUND 1966).

Es kann also angenommen werden, daß der hohe Kalk-Gehalt der Jungmoränen-Böden die Ausbildung von Sphagnum-reichen Mooren während AL und DR 3 noch weithin unterbunden hat. In den Altmoränen-Gebieten haben solche Moore dagegen wenigstens in den Randbereichen der Seen existiert.

(4) Betula: Auf das vermutlich unterschiedliche Verhalten von Baum- und Zwergbirke im Alt- und Jungmoränen-Gebiet Schleswig-Holsteins und dessen möglicherweise edaphische Bedingtheit, ist bereits auf den Seiten 139f. und 150 oben hingewiesen worden.

VII E DIE ENTWICKLUNG DER SPÄTGLAZIALEN SEEN RABENSBERG- UND KUBITZBERGMOOR

Nachdem in den Abschnitten V und VII C die Genese der Seen und die Bewegung ihrer Wasserspiegel behandelt worden sind, sollen hier Angaben über ihre höhere Vegetation und ihre trophische Entwicklung folgen.

(1) Rabensbergmoor. Für den vor- und früh-allerödzeitlichen See RBM belegt das Pollendiagramm das Vorkommen von Potamogeton, Ranunculus sectio Batrachium und Myriophyllum spicatum vel verticillatum. Wahrscheinlich war auch Nymphaea vertreten (Fund eines einzelnen Pollenkorns).

Die Taxa Potamogeton und Batrachium umfassen neben zahlreichen eutraphenten einige meso- bis oligotraphente Arten; sie gestatten also zur Trophie des Sees keine sicheren Aussagen. Die beiden Myriophyllum-Arten sind dagegen auf ± nährstoffreiche Gewässer beschränkt; bereits ihr geringes Vorkommen weist auf Eutrophie. Berücksichtigung der Sedimente führt zu demselben Ergebnis: Es handelt sich – wie unter anderem Kalkgehalt (und das Eisen-II-phosphat Vivianit belegen) – zunächst um eutrophe Gyttjen, später um Algen-Gyttjen.

Zu Beginn von ALc vollzieht sich ein Umschwung: Myriophyllum spicatum/

---

1) Zu den Sphagnum-Werten im vor-allerödzeitlichen Abschnitt des Diagrammes KBM vgl. p. 144.

verticillatum setzt aus. Potamogeton verschwindet fast völlig. Gleichzeitig setzen mit Isoëtes setaceum und Myriophyllum alterniflorum zwei streng oligotraphente Arten ein, die vorher völlig gefehlt haben[1]. Die Sedimente wechseln von Algen- zu Feindetritus-Gyttja mit deutlich erhöhtem Dy-Anteil (von ca. 2 - 3 auf 4 - 7%).

Zu Beginn von DR 3 klingen Isoëtes und Myriophyllum alterniflorum aus und verschwinden in der späten DR 3 vollständig (ohne daß Potamogeton, Batrachium und Myriophyllum spicatum/verticillatum wieder erscheinen). Offenbar fehlten dem zu dieser Zeit ± verlandeten See aquatische Arten weitgehend. Sie treten erst wieder mit dem Wasserspiegel-Anstieg im frühen PB auf.

Die für das mittlere AL beschriebene Veränderung in der Zusammensetzung der aquatischen Vegetation und der Sedimente läßt kaum einen Zweifel daran, daß der anfänglich eutrophe See zu dieser Zeit oligotroph geworden ist. In diesem Wechsel dürfte die zunehmende und im AL forcierte Verarmung der umgebenden Landböden und ihrer Sickerwässer zum Ausdruck kommen, deren Nährstoffgehalt die Trophie des kleinen, von oberflächennahen Wässern gespeisten Sees im wesentlichen bestimmt hat. Der unmittelbar zuvor einsetzende Anstieg der Sphagnum-Werte, der auf eine Vermoorung der flachen Randbereiche des Sedimentationsraumes schließen läßt, scheint dagegen ein vorwiegend klimatisch gesteuertes Phänomen gewesen zu sein (vgl. p. 147 oben). Vermoorung der Seeufer dürfte eine Erklärung für die vom mittleren AL an erhöhten Dy-Anteile sein.

Da unter den aquatischen Arten des PB Myriophyllum alterniflorum und Isoëtes setaceum von Anfang an dominieren, kann angenommen werden, daß die Einwehung von Flugsanden während DR 3 zu keiner wesentlichen Nährstoffzufuhr geführt hat.

(2) Kubitzbergmoor. Nach pollenanalytischem Befund beherbergt der See KBM vom Zeitpunkt seiner Entstehung bis zum Präboreal Potamogeton und Myriophyllum spicatum/verticillatum in geringer und geringfügig wechselnder Häufigkeit. Während DR 3 tritt Batrachium hinzu. Oligotraphente Arten fehlen völlig. Danach hat der See in spätglazialer Zeit keinen Trophiewechsel vollzogen, der in einem Wechsel der aquatischen Arten zum Ausdruck gekommen ist. Myriophyllum spicatum/verticillatum und Ausbildung der Sedimente weisen auf durchgehend eutrophe Verhältnisse. (Aus der im Pollendiagramm verzeichneten Kalkfreiheit der AL- und DR 3-zeitlichen Sedimente kann nach den Angaben auf Seite 102 weder auf Kalkarmut des Wassers noch auf weitgehende Entkalkung der umgebenden Landböden während des AL geschlossen werden. Wieder sind mit den vom mittleren AL an steigenden Sphagnum-Werten erhöhte Dy-Anteile verbunden!) -

Die beiden Seen zeigen also in Trophiegrad und -entwicklung deutliche Unterschiede: Der Altmoränen-See RBM verarmt nach kurzer eutropher Phase,

---

1) Die neben Isoëtes und Myriophyllum alternifl. zu erwartenden Littorellion-Arten Littorella und Lobelia konnten pollenanalytisch nicht nachgewiesen werden.

der Jungmoränen-See KBM bleibt mindestens bis zum Präboreal eutroph. Diese Unterschiede sind aus der trophischen Situation der Alt- und Jungmoränen-Landschaft leicht verständlich. Sie dürften darüber hinaus von allgemeinerer Gültigkeit sein: Der Trophiewechsel eutroph/oligotroph ist für mehrere spätglaziale Altmoränen-Seen beschrieben worden oder den betreffenden Diagrammen zu entnehmen:

(a) Mekelermeer, Niederlande (V.D. HAMMEN 1953, p. 102): Trophiewechsel inmitten AL (Potamogeton / Isoëtes, Myriophyllum alterniflorum).

(b) Vielmoor, Schleswig-Holstein (AVERDIECK 1955): Trophiewechsel(?) zu Beginn des AL (Batrachium / Myriophyllum alterniflorum; Potamogeton wurde nicht erfaßt).

(c) Hohes Moor bei Scheeßel, Niedersachsen (SCHNEEKLOTH 1963): Trophiewechsel an der Wende AL/DR 3 (zitiert nach BEHRE 1966).

(d) Westrhauderfehn, Niedersachsen (BEHRE 1966): Trophiewechsel inmitten AL (Potamogeton, Myriophyllum spicatum vel verticillatum / Myriophyllum alterniflorum, Isoëtes setaceum).

Bei anderen Altmoränen-Diagrammen (in denen nur wenige subaquatische Arten berücksichtigt worden sind) kann ein Trophiewechsel nur vermutet werden, so beim Diagramm Huxfeld bei Bremen (OVERBECK 1949), das Myriophyllum alterniflorum erst während DR 3 verzeichnet. Es kann aber auch nicht bezweifelt werden, daß ein Teil der Altmoränen-Seen keinen spätglazialen Trophiewechsel erfahren hat, so mehrere der von VAN DER HAMMEN untersuchten niederländischen Seen.

Der Großteil der Jungmoränen-Seen dürfte während des Spätglazials eutrophe Bedingungen beibehalten haben. Das folgt unter anderem aus der Liste spätglazialer Pflanzen-Nachweise für Dänemark (IVERSEN 1954), nach der Myriophyllum alterniflorum und Isoëtes dort durchgehend sehr selten, Myriophyllum spicatum aber häufig gewesen ist (vgl. aber BERGLUND 1966, p. 95).

VIII ^{14}C-DATIERUNGEN

Sie wurden nur an den Sedimenten des Rabensbergmoores durchgeführt. Im Fall Kubitzbergmoor ließ der sehr geringe Gehalt an organischem C bei den vor-allerödzeitlichen Sedimenten (deren Alter besonders interessierte) keine sinnvollen Werte erwarten.

Die Bestimmungen wurden im ^{14}C-Labor der Universität Kiel vorgenommen (KI 419 - 421 und 549 - 557)[1]. Angegeben wurde das Libby-Alter (mit T = 5568 Jahre). Eine Isotopen-Korrektur war nicht erforderlich, da sich das ^{12}C / ^{13}C-Verhältnis als normal erwies.

Die Ergebnisse sind in Abb. 36 wiedergegeben: Eine erste Bestimmung an 3 Proben ergab für das Ende von BÖ mit 10700 ± 280 B.C. ein deutlich

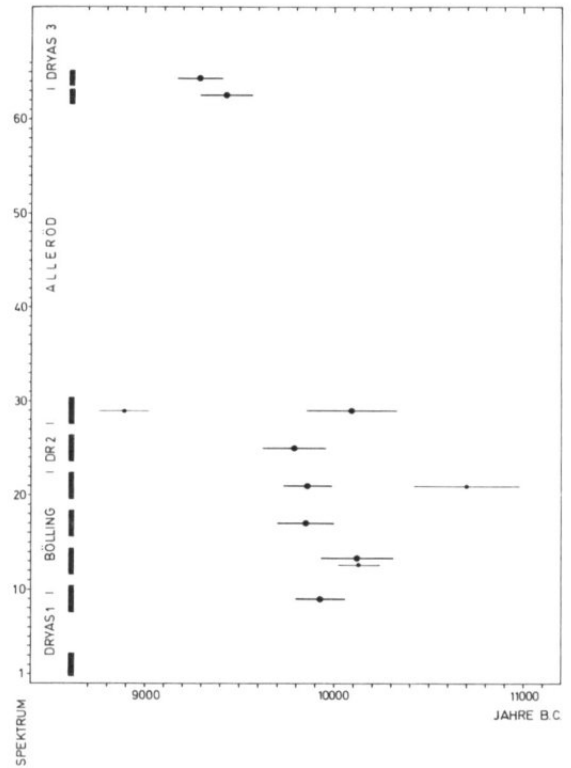


Abb. 36 ^{14}C-Alter der spätglazialen Sedimente aus dem Rabensbergmoor. Die Strecken geben den mittleren Fehler an (Vertrauensbereich für eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von ~66 %).

1) Den Herren Dr. H. Willkomm und Dr. H. Erlenkeuser danke ich für ihre Hilfe.

höheres Alter als für dessen Beginn (10 130± 110 B.C.). Für die Untergrenze des AL wurde mit 8 890± 130 B.C. ein um rund 1 000 Jahre zu geringes Alter ermittelt. Diese Unstimmigkeiten können nach WILLKOMM (mündl.) auf damalige Unkorrektheiten bei der chemischen Aufbereitung der Proben beruhen.

Die zweite Bestimmung (9 Proben) ergab dagegen zwar sinnvollere Werte, doch stimmen auch diese nur größenordnungsmäßig mit den Altersangaben überein, die aufgrund der heute vorliegenden ^{14}C- und warwenchronologischen Datierungen spätglazialer Zonengrenzen als ± gut begründete Mittelwerte angenommen werden können (vgl. z.B. BERGLUND 1971). Bemerkenswert ist vor allem das anscheinend zu geringe Alter der Grenze DR 1/BÖ. Selbst wenn der in diesem Niveau ermittelte Wert von 10 120± 190 B.C. für richtig gehalten wird (nach Lage seiner Nachbarwerte ist er eher zu hoch!), bliebe gegenüber den sonst ermittelten Werten, die durchschnittlich zwischen 10 300 und 10 500 liegen, eine Differenz von rund 200 - 400 Jahren. (Indessen kann auch diese Differenz nicht als gesichert gelten: Während der Messungen an den RBM-Proben wurde für die benutzte Anlage ein vorübergehend erhöhter Nulleffekt ermittelt. Wird dessen Wert anstelle des langjährig gültigen zugrunde gelegt, so erhöht sich das Alter der Proben um rund 200 Jahre. Die Differenz entfiele und kann also auch nicht Argument für die Annahme sein, daß die im Diagramm RBM ausgewiesene Grenze DR 1/BÖ in Wahrheit der Grenze DR 2/AL entspricht.)

IX ZUSAMMENFASSUNG

1) Zwei Vorkommen limnischer Spätglazial-Sedimente (Rabensbergmoor südöstlich Süderlügum, Kubitzbergmoor nördlich Kiel) wurden stratigraphisch und pollenanalytisch untersucht.

2) Die Bohrtechnik mit der DACHNOWSKY-Sonde wurde präzisiert, so daß die Analysen in lückenlosem 2-(1-)cm-Abstand erfolgen konnten.

3) Die Pollenzählung konnte durch Einsatz eines vorwiegend fußbedienten Zählgerätes, das speziell für diesen Zweck entworfen und gebaut wurde, erheblich beschleunigt werden.

4) An den pollenanalytisch untersuchten Profilen wurden unter anderem die Gehalte an $CaCO_3$, organischen Komponenten und laugelöslichen Huminstoffen (Dy) bestimmt.

5) Die pollenanalytische Differenzierung der Birken wurde auf zweierlei Weise angestrebt: durch morphologische Unterscheidung eines Betula alba- und nana-Typs und durch Auswertung von Formmerkmalen bzw. -maßen der Pollengrößen-Häufigkeitsverteilungen.

   a) Die praktischen und theoretischen Voraussetzungen für die Analyse der Pollengrößen-Häufigkeitsverteilung (fossiler) Birkenpollen-Kollektive werden eingehend diskutiert.

   b) Die Schiefe (Asymmetrie) der Pollengrößen-Häufigkeitsverteilungen erweist sich theoretisch und praktisch als ein brauchbares Kriterium.

   c) Die Ergebnisse der morphologischen Birkenpollen-Trennung stimmen nicht immer mit den größenstatistischen Befunden überein. Es wird gezeigt, daß subjektive Fehler bei der morphologischen Bestimmung die Ursache sein können.

   d) Die Analyse der Birkenpollen-Kollektive der beiden untersuchten Profile ergibt unter anderem: Das Bölling-zeitliche Birken-Maximum des Profiles Rabensbergmoor beruht im wesentlichen auf erhöhten Baumbirken-Werten; im Kubitzbergmoor resultieren alle vor-allerödzeitlichen Bewegungen der Birken-Kurve auf Häufigkeitsschwankungen der Zwergbirke.

6) Die Sedimentationsräume (d.h. die das Sediment enthaltenden Hohlformen) wurden morphologisch und stratigraphisch eingehend untersucht, besonders in Hinblick auf mögliche Lagerungsstörungen:

   a) Der Sedimentationsraum Rabensbergmoor ist sehr wahrscheinlich der Rest eines Pingo.

   b) Im Sedimentationsraum Kubitzbergmoor wurden klare Beziehungen zwischen Sedimentmächtigkeit, -ausbildung und Seeboden-Relief erkannt. Sie ermöglichen unter anderem Aussagen über Zeit und Außmaß von Toteissackungen.

   c) Der Kalkgehalt gleichaltriger, spätglazialer Sedimente kann bereits auf wenigen m erheblich wechseln.

   d) Aus der Lage der Sedimentationsgrenze und der Ausbildung der

Sedimente wird auf spätglaziale Seespiegelschwankungen geschlossen, die z.T. anhand pollenanalytischer Kriterien bestätigt bzw. ergänzt werden können.

e) Die scharfe Grenze zwischen den Alleröd- und Dryas 3-Sedimenten - auch an mehreren anderen schleswig-holsteinischen Spätglazial-Vorkommen beobachtet - wurde als das Ergebnis von Sedimentationsunterbrechung und Abtrag Alleröd-zeitlichen Sediments erkannt.

f) In Dryas 3-Sedimenten muß mit z.T. erheblichen Anteilen an umgelagertem Alleröd-Sediment gerechnet werden. Die pollenanalytischen Konsequenzen werden diskutiert.

7) Die pollenanalytische Untersuchung der beiden Profile ergab unter anderem:

a) Ein sicherer Bölling-Nachweis in Form eines Baumbirken-Maximums ist nur im (Altmoränen-)Diagramm Rabensbergmoor verzeichnet.

b) Beide Diagramme lassen eine 3-Gliederung des Alleröd erkennen: neben einem frühen Kiefernpollen-armen und einem späten Kiefernpollen-reicheren Abschnitt kann ein mittlerer ausgeschieden werden, der mit deutlichen, synchronen Maxima von Juniperus und Salix und einem Baumbirken-Minimum eine kühlere Phase lichterer Birkenwälder wahrscheinlich macht. Für das späte Alleröd sind unter anderem deutlich erhöhte Filipendula-Werte charakteristisch. Im Diagramm Kubitzbergmoor läßt sich aufgrund ausgedehnter Juniperus- und Salix-Maxima eine Dryas 2/Alleröd-Übergangszone abtrennen.

c) In beiden Diagrammen gestatten hohe Juniperus-Werte am Beginn des Präboreals die Abtrennung einer Dryas 3/Präboreal-Übergangszone.

8) Die spätglaziale Zonen-Gliederung für Schleswig-Holstein wird unter besonderer Berücksichtigung der vor-alleröd zeitlichen Zonen diskutiert. Die bislang vorliegenden Diagramme werden einer vergleichenden Bewertung unterzogen:

a) In den Diagrammen von Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935 - 1958) ist die Bölling-Schwankung nicht im Niveau der Zone II dieser Diagramme zu erkennen, sondern sehr wahrscheinlich darunter.

b) In den meisten anderen schleswig-holsteinischen Diagrammen ist Bölling nicht oder nur unsicher realisiert (Ausnahmen: Rabensbergmoor und Eichholz-Ost/Heiligenhafen (SCHMITZ 1954)).

c) Die Vermutung MENKE's (1958), daß schleswig-holsteinische Spätglazial-Diagramme eine vor-böllingzeitliche Wärmeschwankung erkennen lassen ("Meiendorf"), erscheint unbegründet.

d) In der schleswig-holsteinischen Jungmoräne scheint die Bölling-Schwankung nicht zu einer stärkeren Ausbreitung der Baumbirken geführt zu haben.

e) Die oben genannte 3-Gliederung des Alleröd hat zumindest im nördlichen und mittleren Schleswig-Holstein noch regionale Gültigkeit.

9) Hippophaë, Empetrum, Sphagnum und andere Taxa machen wahrscheinlich, daß boden- und vegetationskundliche Unterschiede zwischen den Alt- und Jungmoränen-Landschaften Schleswig-Holsteins schon im Spätglazial bestanden haben.

10) Der spätglaziale See vom Rabensbergmoor läßt im mittleren Alleröd einen Trophie-Umschwung eu-(bzw. meso-)troph/oligotroph erkennen.

SUMMARY

1) Two deposits of late-glacial lake sediments (Rabensbergmoor south-east of Süderlügum, Kubitzbergmoor north of Kiel) have been investigated stratigraphically and pollen-analytically.

2) The technique of sampling with the DACHNOWSKY-sampler could be improved so that pollen analysis has become possible in an uninterupted 1-(2-)cm distance.

3) Counting the pollen could be accelerated using a mainly foot-operated counter, expecially designed and constructed for this work.

4) The pollen-analytically investigated sediments have been tested for their contents of $CaCO_3$, organic material and NaOH-soluble humic substances.

5) The pollen-analytical determination of birches has been attempted in two different ways: (1) by morphological distinguishing a Betula alba- and a Betula nana-type and (2) by evaluating characteristics and parameters of pollen-size-frequency-distributions.

a) Discussed are the theoretical and practical conditions for the analysis of the pollen-size-frequency-distributions, ascertained from fossil birch pollen collectives.

b) The skewness (asymmetry) of the pollen-size-frequency-distribution has turned out to be a suitable criterion in theory and practice.

c) The results of the morphological birch pollen determination do not always correspond to the results obtained size-statistically. Personal mistakes in morphological determination are demonstrated to be the possible cause.

d) The analysis of the birch pollen collectives from the investigated sections shows: In the Rabensbergmoor the birch maximum during the Bölling period is mainly due to increasing values of tree-birches; in the Kubitzbergmoor all fluctuations of the birch curve before Alleröd time result from changing frequency of Betula nana.

6) The morphology and stratigraphy of the "sedimentation area" (i.e. the depression containing the sediments) have been investigated carefully, with special regard to possible disturbances of the layers.

a) The sedimentation area of Rabensbergmoor seems to be the remnant of a pingo.

b) In the sedimentation area of Kubitzbergmoor distinct relations between thickness and character of sediments and relief of the bottom of the former lake have been discovered. These relations allow conclusions about time and degree of the melting of dead ice.

c) The content of lime in late-glacial sediments of the same age may differ even within few meters.

d) The position of the sedimentation boundary and the character of the sediments allow conclusions about late-glacial movements of water level. These movements could partly be confirmed and completed by pollen-analytical data.

e) The distinct boundary between the sediments of Alleröd and Dryas 3 period - being observed at several other late-glacial deposits in Schleswig-Holstein - has been recognized as being the result of interruption of sedimentation and erosion of Alleröd sediment.

f) It must be taken into account that Dryas 3 sediments contain a considerable amount of redeposited Alleröd sediment. Consequences for pollen analysis are discussed.

7) The pollen analysis of the sections show:

a) A reliable record of the Bölling period realized by a maximum of tree-birches has only been found in the diagram from Rabensbergmoor (being derived from the older Pleistocene area of Schleswig-Holstein).

b) Both the diagrams show a threefold division of the Alleröd period: Besides an earlier part poor in Pinus pollen and a later part richer in Pinus pollen, a middle part can be separated, which is characterized by distinct and quite synchronous Maxima of Juniperus and Salix and a Minimum of tree-birches. This middle part seems to indicate a cooler phase of opened birch-forests. For the later part of the Alleröd period high values of Filipendula are characteristic. In the diagram from Kubitzbergmoor a Dryas 2/Alleröd transition zone can be separated by means of extended maxima of Juniperus and Salix.

c) In both the diagrams high values of Juniperus allow to seperate a Dryas 3/Pre-Boreal transition zone.

8) The division of Late Glacial time in Schleswig-Holstein has been discussed with special regard to the zones of pre-Alleröd time. The diagrams being in hand have been subjected to a comparative estimation:

a) In the diagrams from Meiendorf-Ahrensburg (SCHÜTRUMPF 1935 - 1958) the Bölling period is not to be discerned in the zone II of these diagrams, but very probable before this zone.

b) Most of the diagrams from Schleswig-Holstein do not show the Bölling period. Exceptions are the diagrams from Rabensberg-

moor and from Eichholz-Ost/Heiligenhafen (SCHMITZ 1954).

c) The presumption of MENKE (1958) that late-glacial diagrams from Schleswig-Holstein indicate a warmer phase before Bölling time ("Meiendorf") seems to be unfounded.

d) In the late-Pleistocene landscape of Schleswig-Holstein tree birches seem to have not spread out considerably during Bölling time.

e) The threefold division of the Alleröd period mentioned above, concerns at least to the northern and central part of Schleswig-Holstein.

9) As indicated by Hippophaë, Empetrum, Sphagnum and other taxa the older and late Pleistocene landscapes of Schleswig-Holstein have differed in soil and vegetation already in late-glacial time.

10) In the middle part of Alleröd time the late-glacial lake of Rabensbergmoor has turned from eu-(meso-)trophic to oligotrophic conditions.

X LITERATUR

DGU = Danmarks geologiske undersögelse (Kopenhagen)
GFF = Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar (Stockholm)

AARIO, L. 1941. Die größenstatistische Analyse der Betulapollen in Torfproben. - Geol. Rundsch. 32, 612 - 626.

ALETSEE, L. 1959. Zur Geschichte der Moore und Wälder des nördlichen Holsteins. - Nova Acta Leopold. 21: 139, 1 - 51.

ANDERSEN, S.T. 1960. Silicone oil as a mounting medium for pollen grains. - DGU 4: 4, 1, 5 - 24.

- 1961. Vegetation and its environment in Denmark in the Early Weichselian Glacial (Last Glacial). - DGU 2: 75, 1 - 175.

AVERDIECK, F.-R. 1957. Zur Geschichte der Moore und Wälder Schleswig-Holsteins. Ein Beitrag zur Frage der Rekurrenzflächen. - Nova Acta Leopold. 19: 130, 152 pp.

BARTLEY, D.D. 1962. The stratigraphy and pollen analysis of lake deposits near Tadcaster, Yorkshire. - New Phytol. 61, 277.

- 1966. Pollenanalysis of some lake deposits near Bamburgh in Northumberland. - New Phytol. 65, 141.

BEHRE, K.-E. 1966. Untersuchungen zur spätglazialen und früh-postglazialen Vegetationsgeschichte Ostfrieslands. - Eiszeitalter u. Gegenwart 17, 69 - 84.

BERGLUND, B.E. 1966. Late-Quaternary vegetation in eastern Blekinge, southeastern Sweden. A pollenanalytical study. I. Late-Glacial time. - Opera Botan. 12: 1, 180 pp.

- 1971. Late-Glacial stratigraphy and chronology in south Sweden in the light of biostratigraphical studies on Mt. Kullen, Scania. - GFF 93: 1, 11 -45.

- / DIGERFELDT, G. 1970. A palaeoecological study of the Late-Glacial lake at Torreberga, Scania, South Sweden. - Oikos 21, 98 - 128.

BERTSCH, K. 1931. Paläobotanische Monographie des Federseerieds. - Biblioth. Botan. 103, 1 - 127.

BEUG, H.-J. 1957. Untersuchungen zur spätglazialen und frühpostglazialen Floren- und Vegetationsgeschichte einiger Mittelgebirge (Fichtelgebirge, Harz, Rhön). Flora 145, 167 - 211.

- 1961. Leitfaden der Pollenbestimmung. - Lieferung 1, Stuttgart.

BHATTACHARYA, C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. - Biometrics 23, 115 - 135.

BIRKS, H.J.B. 1968. The identification of Betula nana pollen. - New Phytol. 67, 309 - 314.

BRANDT, I. 1954. Late-Glacial macroscopic plant remains from Böllingsö. - DGU 2: 80, 156 - 158.

BRÜCKNER, G.H. 1954. Artefakte der jüngeren Hamburger Stufe in einer Grundmoräne bei Ostseebad Grömitz. - Meyniana 2, 191 - 192.

CERCEAU, M.-T. 1959. Clé de détermination d'Ombilifères de France et d'Afrique du Nord d'après leurs grains de pollen. - Pollen et Spores 1: 2, 145 - 190.

CHANDA, S. 1962. On the pollen morphology of some Scandinavian Caryophyllaceae. - Grana Palynol. 3: 3, 67 - 89.

CHRISTENSEN, B.B. 1946. Measurement as a means of identifying fossil pollen. - DGU 4: 3, 2, 1 - 22.

CLAPHAM, A.R. / TUTIN, T.G. / WARBURG, E.F. 1962. Flora of the British Isles. - 2. Auflage, Cambridge.

CLAUSEN, K.E. 1960. A survey of variation in pollen size within individual plants and catkins of three taxa of Betula. - Pollen et Spores 2: 2, 299 - 304.

CUSHING, E.J. 1961. Size increase in pollen grains mounted in thin slides. - Pollen et Spores 3: 2, 265 - 274.

DAEVES, K. / BECKEL, A. 1958. Großzahl-Methodik und Häufigkeits-Analyse. - 2. Auflage, Weinheim 1958.

DAHM, H.D. 1959. Diatomeen aus spätglazialen Ablagerungen der Eichholzniederung bei Heiligenhafen (Holstein). - Zeitschr. Deutsche Geol. Ges. 111, 8 - 12.

DIETZ, C. / GRAHLE, H.-O. / MÜLLER, H. 1958. Ein spätglaziales Kalkmudde-Vorkommen im Seck-Bruch bei Hannover. - Geol. Jb. 76, 67 - 102.

DÜCKER, A. 1954. Die Periglazial-Erscheinungen im holsteinischen Pleistozän. - Göttinger Geogr. Abhandl. 16, 1 - 52.

ELKINGTON, T.T. 1968. Introgressive hybridization between Betula nana L. and B.pubescens EHRH. in northwest Iceland. - New Phytol. 67, 109 - 118.

ENEROTH, O. 1951. Undersökning rörande möjligheterna att i fossilt material urskilja de olika Betula-aternas pollen. - GFF 73: 3, 343 - 405. (Über das in dieser Arbeit beschriebene Verfahren und dessen Ergebnisse ist bereits 1935 von L. VON POST auf dem Botanischen Kongreß in Amsterdam vorgetragen worden. Auch FAEGRI (1935) beschreibt und benutzt das Verfahren.)

ERDTMAN, G. / BERGLUND, B.E. / PRAGLOWSKI, J. 1961. An introduction to a Scandinavian pollen flora. - Uppsala.

- / NORDBORG, G. 1961. Über die Möglichkeiten, die Geschichte verschiedener Chromosomenzahlenrassen von Sanguisorba minor und S.officinalis pollenanalytisch zu beleuchten. - Bot. not. 114.
- / PRAGLOWSKI, J. / NILSSON, S. 1963. An introduction to a Scandinavian pollen flora. II. - Uppsala.

FAEGRI, K. 1935. Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen. I. Über zwei präboreale Klimaschwankungen im südwestlichen Teil. - Bergens Mus. Årbok, naturv. r. 8, 1 - 40.

- 1936. Einige Worte über die Färbung der für die Pollenanalyse hergestellten Präparate. - GFF 58, 439 - 443.

FAEGRI, K. 1940. Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen. II. Zur spätquartären Geschichte Jaerens. - Bergens Mus. Årbok, naturv. r. 7, 1 - 201.
- / IVERSEN, J. 1964. Textbook of pollen analysis. - Kopenhagen.

FIRBAS, F. 1949. Waldgeschichte Mitteleuropas, Bd. 1. - Jena.
- 1954. Zur Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme. - DGU 2: 80, 12 - 21.
- / FIRBAS, I. 1935. Zur Frage der größenstatistischen Pollendiagnosen. - Beih. Bot. Cbl. 54/B, 329 - 335.

GODWIN, H. 1956. History of the flora of the British Isles. - Cambridge.

GRIPP, K. 1936. Die geologische Untersuchung des Rentierjäger-Fundplatzes Meiendorf. - In R. SCHÜTRUMPF: Paläobotanisch-pollenanalytische Untersuchungen der paläolithischen Rentierjägerfundstätte von Meiendorf bei Hamburg. Veröff. Archäol. Reichsinst. 1, 8 - 16.
- 1943. Geologie des Fundplatzes Stellmoor. - In A. RUST: Die alt- und mittelsteinzeitlichen Funde von Stellmoor. p. 1 - 5. Neumünster.
- 1952. Inlandeis und Salzaufstieg. - Geol. Rundsch. 40, 74 - 81.
- 1954. Die Entstehung der Landschaft Ost-Schleswigs vom Dänischen Wohld bis Alsen. - Meyniana 2, 81 - 123.
- 1958. Der Verlauf rißzeitlicher Endmoränen in Schleswig. - Meyniana 7, 1 - 4.
- 1964. Erdgeschichte von Schleswig-Holstein. - Neumünster.

GROSSE-BRAUCKMAN, G. 1961. Zur Terminologie organogener Sedimente. - Geol. Jb. 79, 117 - 144.

HAFSTEN, U. 1963. A Late-Glacial pollen profile from Lista, South Norway. - Grana Palynolog. 4: 2, 326 - 337.

HALLIK, R. / GRUBE, E. 1954. Spät- und postglaziale Gyttja im Altmoränengebiet bei Elmshorn. - Neues Jb. Geol. Paläontol., Mh. 7, 315 - 322.

HAMMEN, T. VAN DER 1953. Late-Glacial flora and periglacial phenomena in the Netherlands. - Leidse Geol. Mededel. 17, 71 - 184.

HEDBERG, O. 1946. Pollen morphology in the genus Polygonum L. s.l. and its taxonomic significance. - Svensk bot. tidskr. 40: 4.

HEGI, G. 1906 ff. Illustrierte Flora von Mitteleuropa. - München.

HEIM-THOMAS, D. 1969. Etude palynologique du Marais de Vance (Belgique). - Acta Geogr. Lovniensia 7, 113 - 139.

HERMANN, F. 1956. Flora von Nord- und Mitteleuropa. - Stuttgart.

HEROLD, W. 1971. Ein Verfahren der Dekomposition einer Mischverteilung in zwei normale Komponenten mit unterschiedlichen Varianzen. - Biometr. Zeitschr. 13, 314 - 328.

HOLMES, G.W. / HOPKINS, D.M. / FOSTER, H.L. 1968. Pingos in Central Alaska. - Geol. Surv. Bull. 1241 - H, 1 - 40.

HORMANN, K. 1969. Gibt es Tunneltäler in Schleswig-Holstein? - Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst. 39, 5 - 11.

HULTEN, E. 1950. Atlas över växternas utbredning i norden. - Stockholm.

IVERSEN, J. 1934. Fund af Vildhest (Equus caballus) fra Overgangen mellem Sen- og Postglacialtid i Danmark. - DGU 4: 2, 13, 3 - 16.
- 1936. Sekundäres Pollen als Fehlerquelle. Eine Korrektionsmethode zur Pollenanalyse minerogener Sedimente. - DGU 4: 2, 15, 1 - 24.
- 1942. En pollenanalytisk Tidfaestelse af Ferskvandslagene ved Norre Lyngby. Med Bemaerkninger om de senglaciale Naturforhold i Danmark. - Medd. Dansk Geol. Forening 10: 2, 130 - 151.
- 1947. Plantevaekst, Dyreliv og Klima i det senglaciale Danmark. - GFF 69: 1, 67 - 78.
- 1954. The Late-Glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. - DGU 2: 80, 87 - 119.

JENTYS-SZAFER, J. 1928. La structure des membranes du pollen de Corylus, de Myrica et des espèces européennes de Betula et leur détermination à l'état fossile. - Bull. Acad. Polon. Sci. Lett., Sér. B 68, 75 - 125.

KOPEROWA, W. / SRODON, A. 1965. Pleniglacial deposits of the Last Glaciation at Zator (West of Krakow). - Acta Palaeobot. 6: 1, 44 pp.

KROG, H. 1954. Pollenanalytical investigation of a C^{14}-dated Alleröd section from Ruds Vedby. - DGU 2: 80, 120 - 139.

KUBITZKI, K. 1961. Zur Synchronisierung nordwesteuropäischer Pollendiagramme (mit Beiträgen zur Waldgeschichte Nordwestdeutschlands). - Flora 150: 1, 43 - 72.

LANGE, H. 1954. "Es ist pollenanalytisch zu untersuchen, ob und wie weit die Ablagerungen des Kaltenhofer Moores im Dänischen Wohld bis in die spätglaziale Zeit zurückreichen". - Staatsexamensarbeit, Kiel, unpubl.

LUNDQVIST, G. 1924. Sedimentationstyper i insjöarna. - GFF 46: 1/2, 56 - 75.
- 1927. Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. - Die Binnengewässer 2, Stuttgart.
- 1940. Sjösediment från Gotland. - Sver. Geol. Unders. Årsb. 34, 1 - 134.

MAARLEVELD, G.C. 1965. Frost mounds. A summery of the literature of the past decade. - Mededel. Geol. Stichting N.S. 17, 7 - 20.
- / V.D. TOORN, J.C. 1955. Pseudo-sölle in Noord-Nederland. - Tijdschr. Kon. Nederl. Aardrijksk. Genootsch. 2: 72, 344 - 360.

MENKE, B. 1968. Das Spätglazial von Glüsing. Ein Beitrag zur Kenntnis der spätglazialen Vegetationsgeschichte in Westholstein. - Eiszeitalter und Gegenwart 19, 73 - 84.

MITCHELL, G.F. 1971. Fossil Pingos in the south of Ireland. - Nature 230: 5288, 43 - 44.

MÖRNER, N.-A. 1970. Comparison between Late Weichselian and Late Wisconsin ice marginal changes. - Eiszeitalter u. Gegenwart 21, 173 - 176.

MÜCKENHAUSEN, E. 1961. Eine besondere Art von Pingos am Hohen Venn/Eifel. - Eiszeitalter u. Gegenwart 11, 5 - 11.

MÜLLER, FRITZ 1959. Beobachtungen über Pingos. - Medd. om Grønland 153: 3, 127 pp.

MÜLLER, HELMUT 1953. Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Mitteldeutschen Trockengebietes. - Nova Acta Leopold. N.F. 16: 110, 67 pp.

NAUMANN, E. 1930. Einführung in die Bodenkunde der Seen. - Die Binnengewässer 9, Stuttgart.
- 1931. Limnologische Terminologie. - Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden, herausggb. von E. ABDERHALDEN, Wien.

NILSSON, T. 1935. Die pollenanalytische Zonengliederung der spät- und postglazialen Bildungen Schonens. - GFF 57: 3, 385 - 562.

NORDBORG, G. 1963. Studies in Sanguisorba officinalis L. - Bot. not. 116,

OBERDORFER, E. 1970. Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland und die angrenzenden Gebiete. - 3. Auflage, Stuttgart 1970.

OVERBECK, F. 1949. Ein spätglaziales Profil von Huxfeld bei Bremen. - Planta 37, 376 - 398.
- / SCHNEIDER 1938. Mooruntersuchungen bei Lüneburg und Bremen und die Reliktnatur von Betula nana L. in Nordwestdeutschland. - Zeitschr. f. Bot. 33, 1 - 54.

PICARD, K. 1961. Reste von Pingos bei Husum/Nordsee. - Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst. 32, 72 - 77.
- 1964. Abflußlose Senken in Schleswig-Holstein. - Die Heimat 71: 5, 147 - 150.
- 1969. Grobschluffe in Mittelholstein und deren Deutung. - Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst. 39, 49 - 52.

PISSART, A. 1956. L'origine périglaciaire des viviers des Hautes Fagnes. - Ann. Soc. Géol. de Belgique 79, 119 - 131.
- 1958. Les dépressions fermées de la région parisienne. Le problème de leur origine. - Rev. Géomorph. dynamique 9, 73 - 83.
- 1963. Les traces de "pingos" du Pays de Galles (Grande-Bretagne). - Zeitschr. Geomorphol. 7: 2, 147 - 165.

PORSILD, A.E. 1938. Earth mounds in unglaciated arctic northwestern America. - Geogr. Rev. 28, 46 - 58.

POST, L.V. / GRANLUND, E. 1926. Södra Sveriges torvtillgångar I. - Sver. Geol. Unders. Årsb. 19, 1 - 127.

PRAGLOWSKI, J.R. 1966. On the pollen size variations and the occurrence of Betula nana in different layers of a bog. - Grana Palynolog. 6: 3, 528 - 543.

RUTTNER, F. 1962. Grundriß der Limnologie (Hydrobiologie des Süßwassers). - 3. Auflage Berlin.

SACHS, L. 1971. Statistische Auswertungsmethoden. - 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York.

SALMI, M. 1962. Investigations on the distribution of pollens in an extensive raised bog. - Compt. Rend. Soc. géol. de Finlande, 159 - 193.

SEIFERT, G. 1954. Das mikroskopische Korngefüge des Geschiebemergels als Abbild der Eisbewegung, zugleich Geschichte des Eisabbaus in Fehmarn, Ost-Wagrien und dem Dänischen Wohld. - Meyniana 2, 124 - 190.

SCHLICHTING, E. / BLUME, H.-P. 1966. Bodenkundliches Praktikum. - Hamburg und Berlin.

SCHMITZ, H. 1953. Die Waldgeschichte Ostholsteins und der zeitliche Verlauf der postglazialen Transgressionen an der holsteinischen Ostseeküste. - Ber. Deutsche Bot. Ges. 66: 3, 151 - 165.

- 1962. Über das Spätglazial in Ostholstein. - Ber. Geobot. Inst. Rübel 34, 71 - 72.

SCHUBERT, E. 1933. Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands II. Das Gebiet an der Oste und Unterelbe. - Mitt. Provinzialst. f. Naturdenkmalpflege Hannover 4, 1 - 148.

SCHÜTRUMPF, R. 1935. Pollenanalytische Untersuchungen der Magdalenien- und Lyngby-Kulturschichten der Grabung Stellmoor. - Nachrichtenbl. f. Deutsche Vorzeit 11: 11, 231 - 238.

- 1936. Paläobotanisch-pollenanalytische Untersuchungen der paläolithischen Rentierjägerfundstätte von Meiendorf bei Hamburg. - Veröff. Archäol. Reichsinstit. 1, 1 - 54.
- 1939. Die mesolithischen Kulturen vom Pinnberg in Holstein und ihre Stellung im Pollendiagramm. - Offa 3, 10 - 17.
- 1943. Die pollenanalytische Untersuchung der Rentierjägerfundstätte Stellmoor in Holstein. - In A. RUST: Die alt- und mittelsteinzeitlichen Funde von Stellmoor. p. 6 - 45. Neumünster.
- 1955. Das Spätglazial. - Eiszeitalter u. Gegenwart 6, 41 - 51.
- 1958. Die Mooruntersuchungen bei den Ausgrabungen am Pinnberg bei Ahrensburg in Holstein. - In A. RUST: Die Funde vom Pinnberg. Offa 14, 17 - 25.

STIX, E. 1960. Pollenmorphologische Untersuchungen an Compositen. - Grana Palynol. 2: 2, 41 - 114.

STRAKA, H. 1958. Ein spätglaziales Pollendiagramm aus dem Hinkelsmaar bei Manderscheid (Vulkaneifel). - Flora 146, 412 - 424.

- 1960. Spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Rheinlandes auf Grund pollenanalytischer Untersuchungen. - Ber. Deutsche Bot. Ges. 73: 8, 307 - 318.
- 1961. Relative und absolute Datierung quartärer Ablagerungen. - Naturwiss. 48: 9, 324 - 332.

TERASMÄE, J. 1951. On the pollen morphology of Betula nana. - Svensk bot. tidskr. 45, 358 - 361.

TIDELSKI, F. 1955. Landschaftsaufbau und Landschaftswandel des Moorseeraumes im südlichen Hinterlande Kiels. - Mitt. Arbeitsgem. Flor. Schlesw.-Holst. u. Hamburg 5, 291 - 322.

TIDELSKI, F. 1960. Pollenanalytische Untersuchungen von voll-, spät- und postglazialen Ablagerungen aus dem Trentmoor und dem Brennacker (Krs. Plön). - Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst. 30, 92 - 109.

TODTMANN, E.M. 1951. Unterirdischer Karst in der Kreide von Lägerdorf bei Itzehoe. - Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst. 25, 125 - 130.

TROELS-SMITH, J. 1955. Karakterisering af løse jordarter. - DGU 4: 3, 10, 1 - 73.

WAGENITZ, G. 1955. Pollenmorphologie und Systematik in der Gattung Centaurea L. s.l. - Flora 142, 213 - 279.

- 1956. Pollenmorphologie der mitteleuropäischen Valerianaceen. - Flora 143, 473 - 485.

WASYLIKOWA, K. 1964. Vegetation and climate of the Late-Glacial in central Poland based on investigations made at Witów near Łeczeczy. - Biuletyn Peryglacj. 13, 261 - 417.

WEBER, H. 1957. Der geologische Bau des Untergrundes von Schlewig-Holstein und seine Erdöllagerstätten. - 32 pp. Herausgegb. vom Geolog. Landesamt Kiel.

WEGMÜLLER, S. 1966. Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des südwestlichen Jura. - 144 pp. Dissertation, Bern.

WEICHSELBERGER, K. 1961. Über ein graphisches Verfahren zur Trennung von Mischverteilungen und zur Identifikation kupierter Normalverteilungen bei großem Stichprobenumfang. - Metrika 4, 178 - 229.

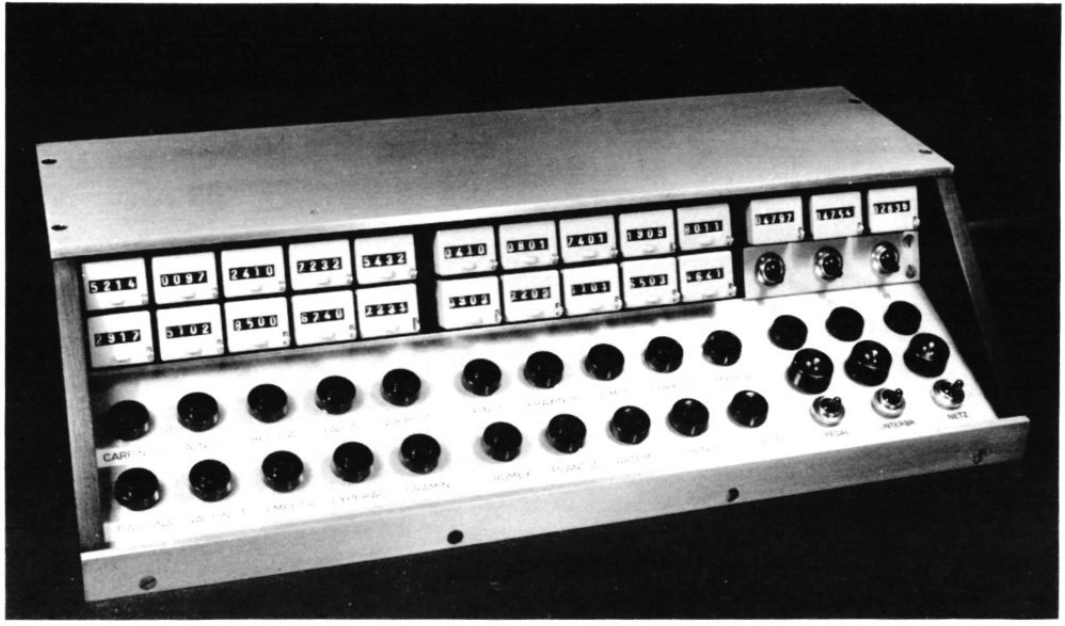
WELTEN, M. 1944. Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen im Faulenseemoos bei Spiez. - Veröff. Geobot. Inst. Rübel 21, 201 pp.

- 1957. Über das glaziale und spätglaziale Vorkommen von Ephedra am nordwestlichen Alpenrand. - Ber. Schweizer. Bot. Ges. 67, 33 - 54.

WENNER, C.G. 1953. Investigation into the possibilities of distinghuishing the pollen of various species of Betula in fossil material. - GFF 75, 367 - 380.

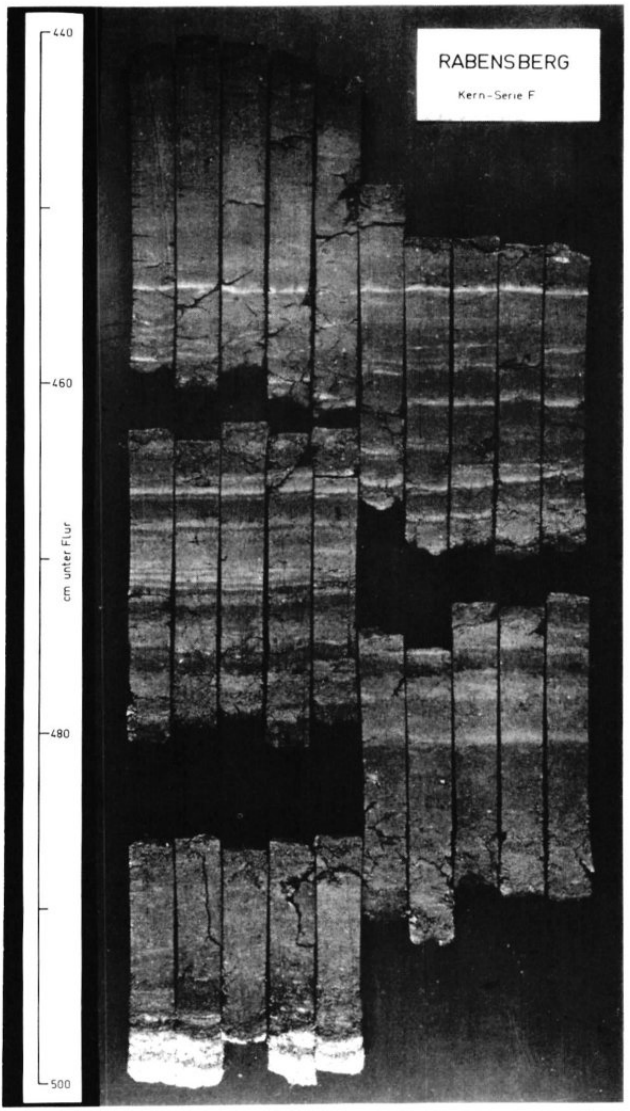


Phot. 1 Zählgerät mit Fußtastatur.
phot. : G. Schmidt-Stohn



Phot. 2 Zählgerät, zur Pollenanalyse an postglazialen Torfen eingerichtet.

phot.: G. Schmidt-Stohn



Phot. 3 Früh-spätglaziale Sedimente aus dem Rabensbergmoor, erbohrt mit der DACHNOWSKY-Sonde. Die Schichtung des Sediments ermöglicht eine exakte Konnektierung der Kerne. (Von den Kernen aus 450 - 470 cm Tiefe ist der erste von links gestört; die deutliche Kalk-Lage, die in der Mitte der anderen Kerne zu erkennen ist, fehlt. Offenbar wurde das Sediment dieses Niveaus seitlich weggepreßt, wie auch die Risse an dieser Stelle vermuten lassen.

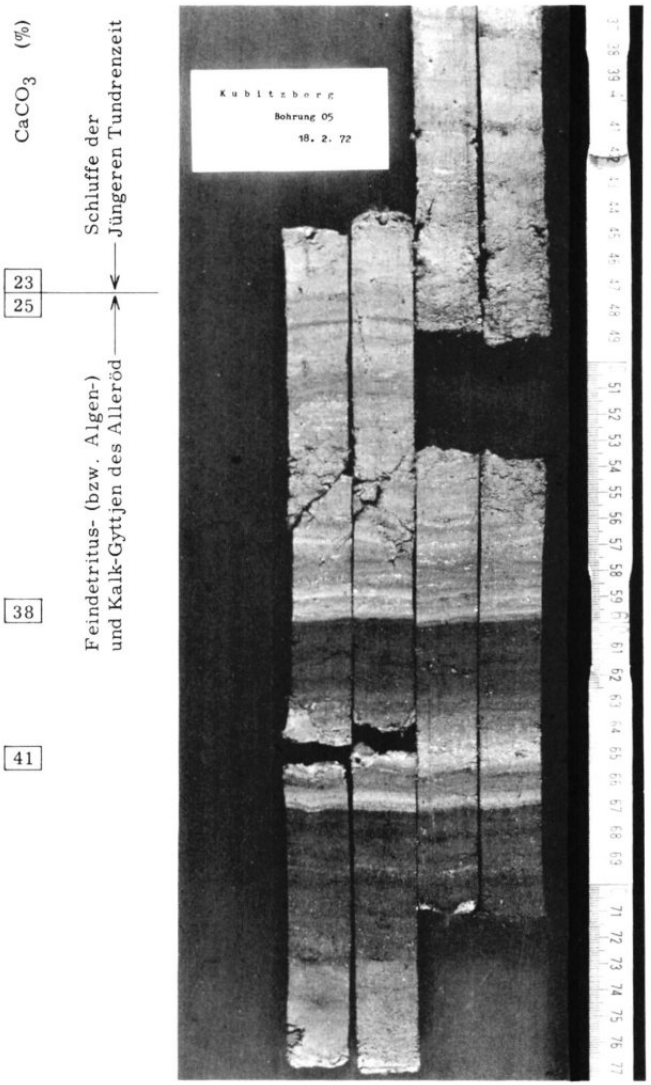


Phot. 4 Kubitzbergmoor, Stichwand südlich Bohrung 115 (vgl. Abb. 31a, p. 105). Ihr wurden die Proben zur Pollen- und Sedimentanalyse entnommen. (Maßstab-Abschnitte: 10cm)

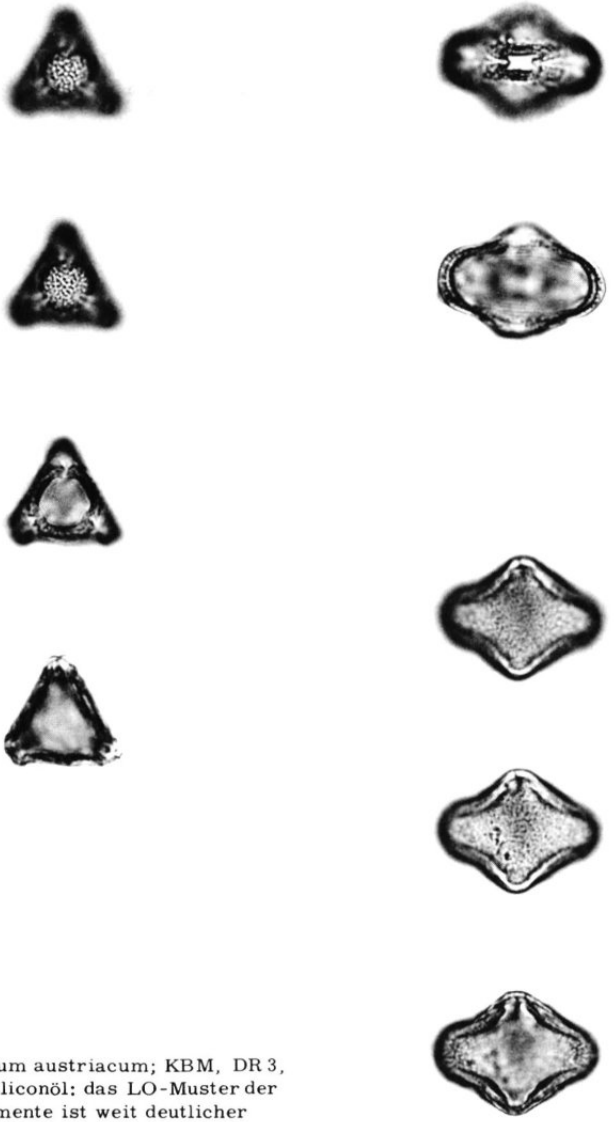
phot.: L. Aletsee



Phot. 5 Kubitzbergmoor, Stichwand 25 (vgl. Abb. 31a, p. 105); Störungen an der Grenzfläche Alleröd-Gyttja/Dryas 3-Schluff. Stratigraphie wie bei Phot. 4.

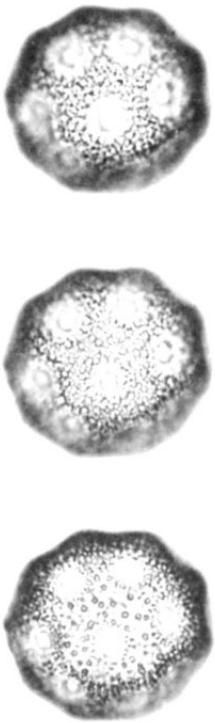


Phot. 6 Kubitzbergmoor, Ausbildung der Alleröd-Sedimente unterhalb -3.5 m (Näheres p. 97).



Phot. 7

Pleurospermum austriacum; KBM, DR 3, Spektr. 70, Siliconöl: das LO-Muster der Skulptur-Elemente ist weit deutlicher als bei Glycerin-Material, 1000x.



Phot. 8

Cerastium alpinum-Typ, KBM, DR 3, Spektr. 65, Siliconöl, 1000x.



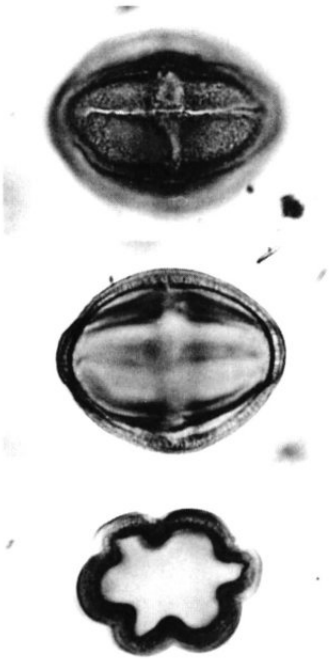
Phot. 9

Ephedra distachya-Typ, Ausbildung mit wenig verzweigten Colpi; KBM, DR 3, Spektrum 49, Glycerin, 1000x.



Phot. 10

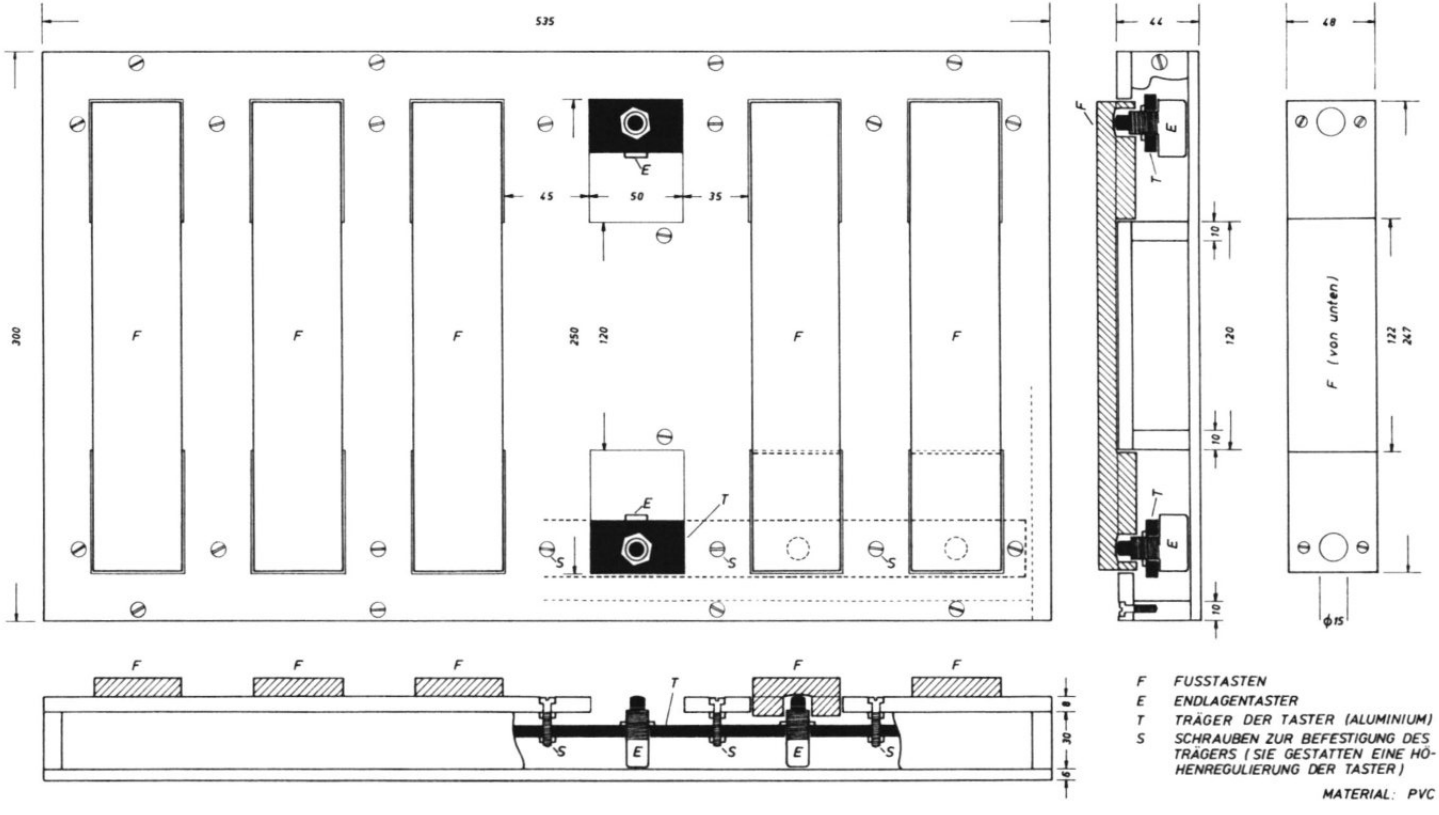
Ephedra, fraglicher Typ; KBM, DR 3, Spektrum 50, Glycerin, 1000x.



Phot. 11
Sanguisorba officinalis, tetraploide Rasse (?); KBM, DR 1+2, Spektr. 4, Glycerin, 1000x.



Phot. 12
Saxifraga cf. aizoides; KBM, DR 3, Spektr. 85, Glycerin, 1000x.

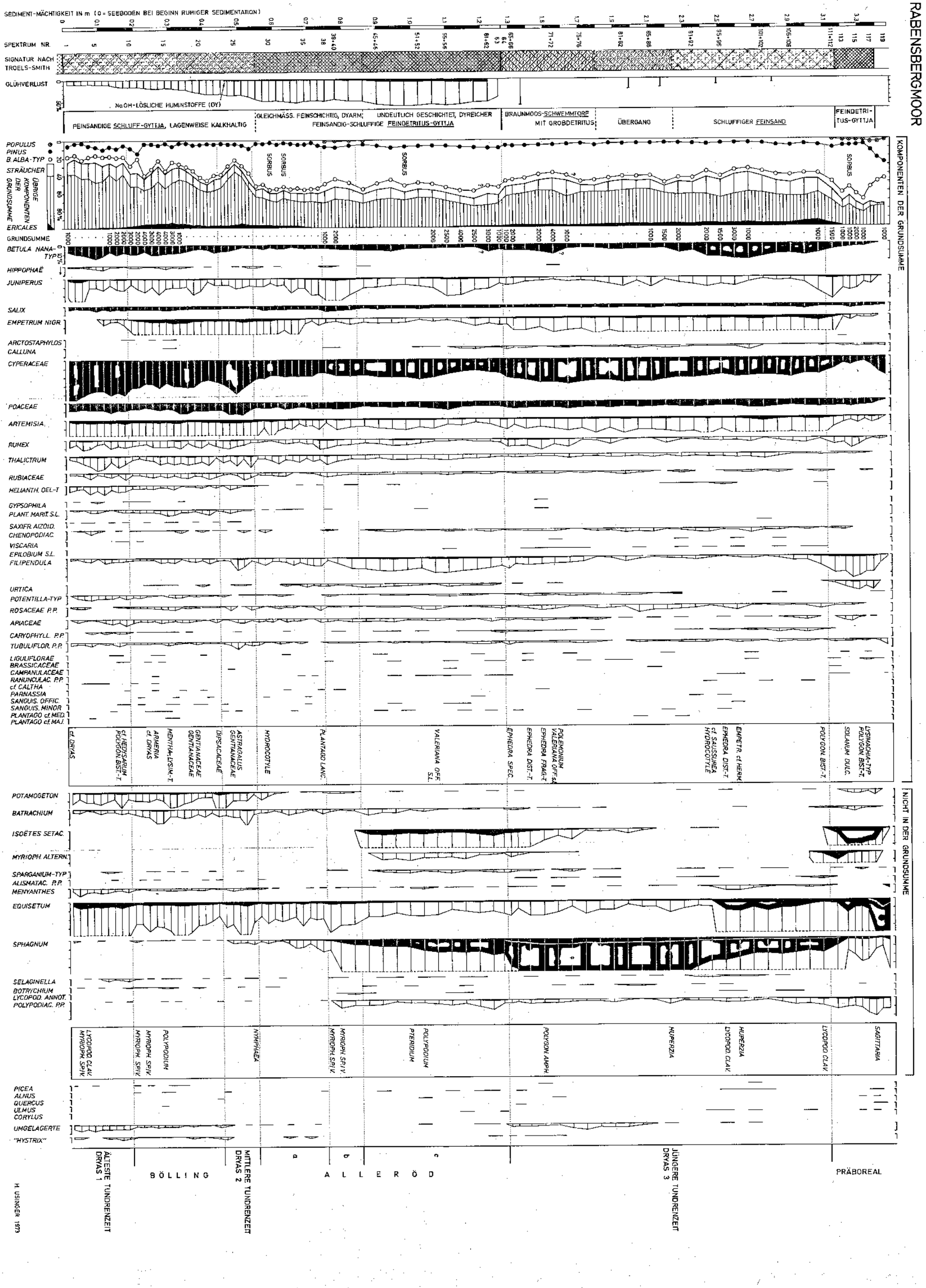


F FUSSTASTEN
E ENDLAGENTASTER
T TRÄGER DER TASTER (ALUMINIUM)
S SCHRAUBEN ZUR BEFESTIGUNG DES TRÄGERS (SIE GESTATTEN EINE HÖHENREGULIERUNG DER TASTER)

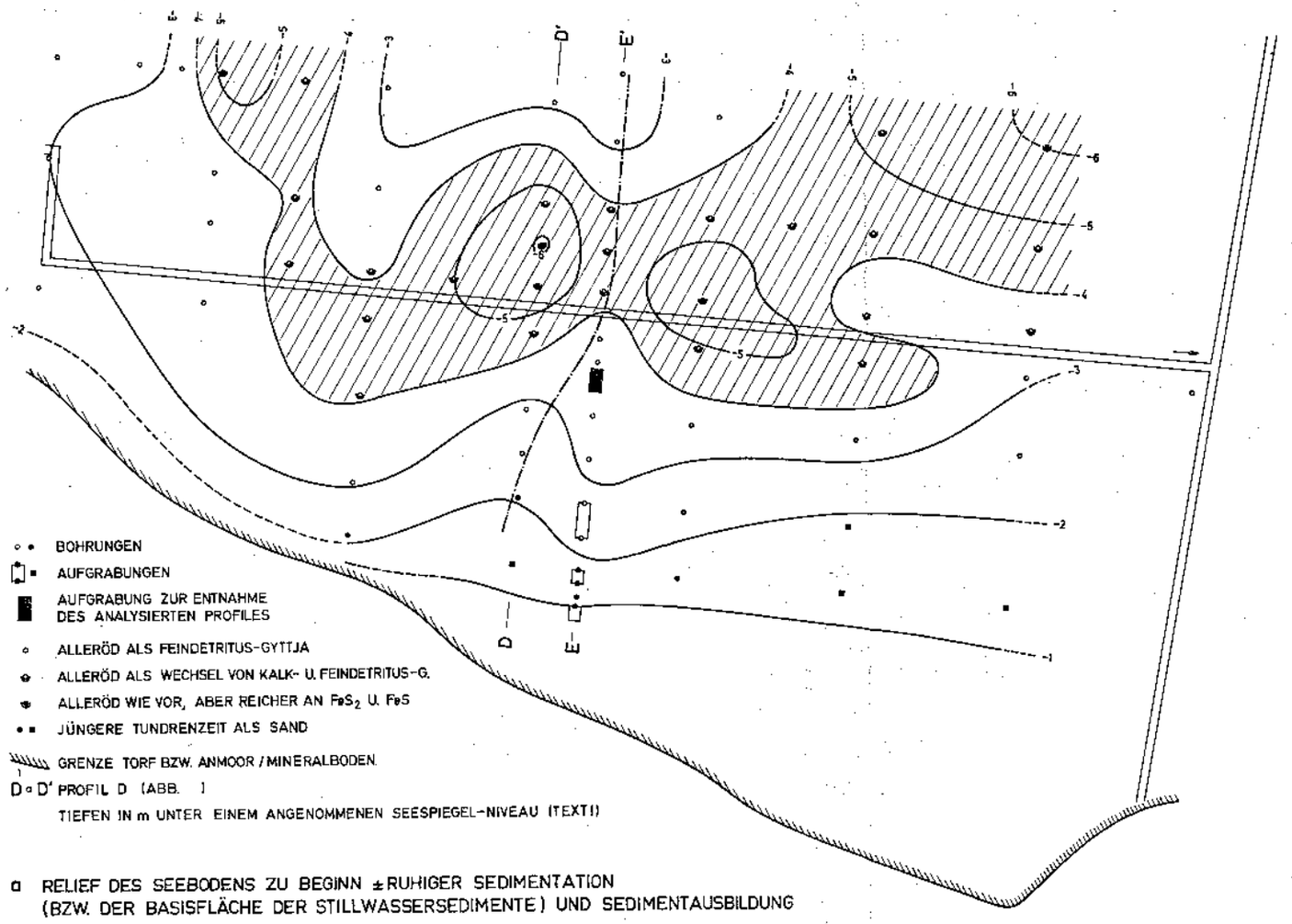
MATERIAL: PVC

ABB. 2 FUSSTASTATUR ZUM ZÄHLGERÄT

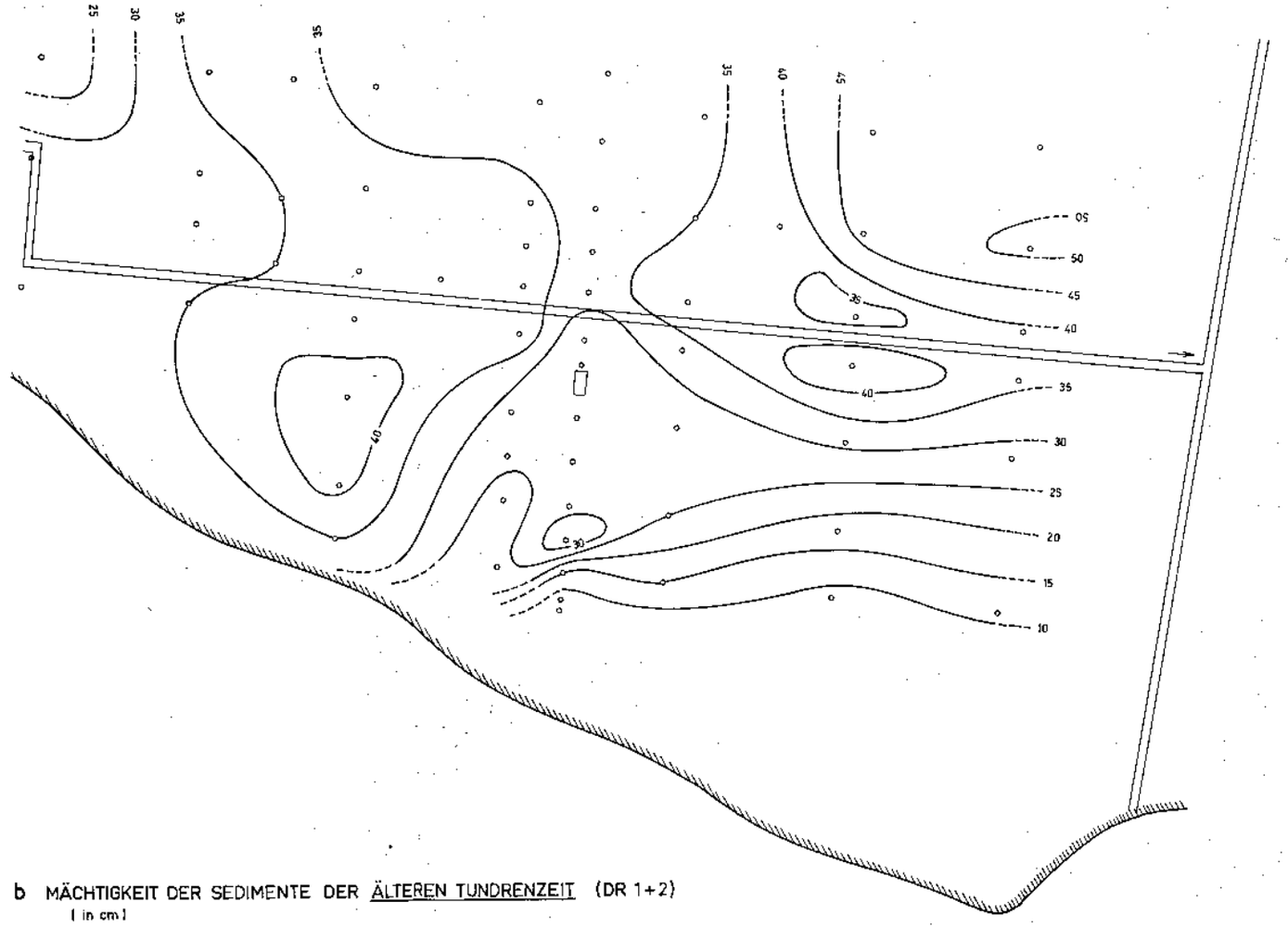
RABENSBERGMOOR



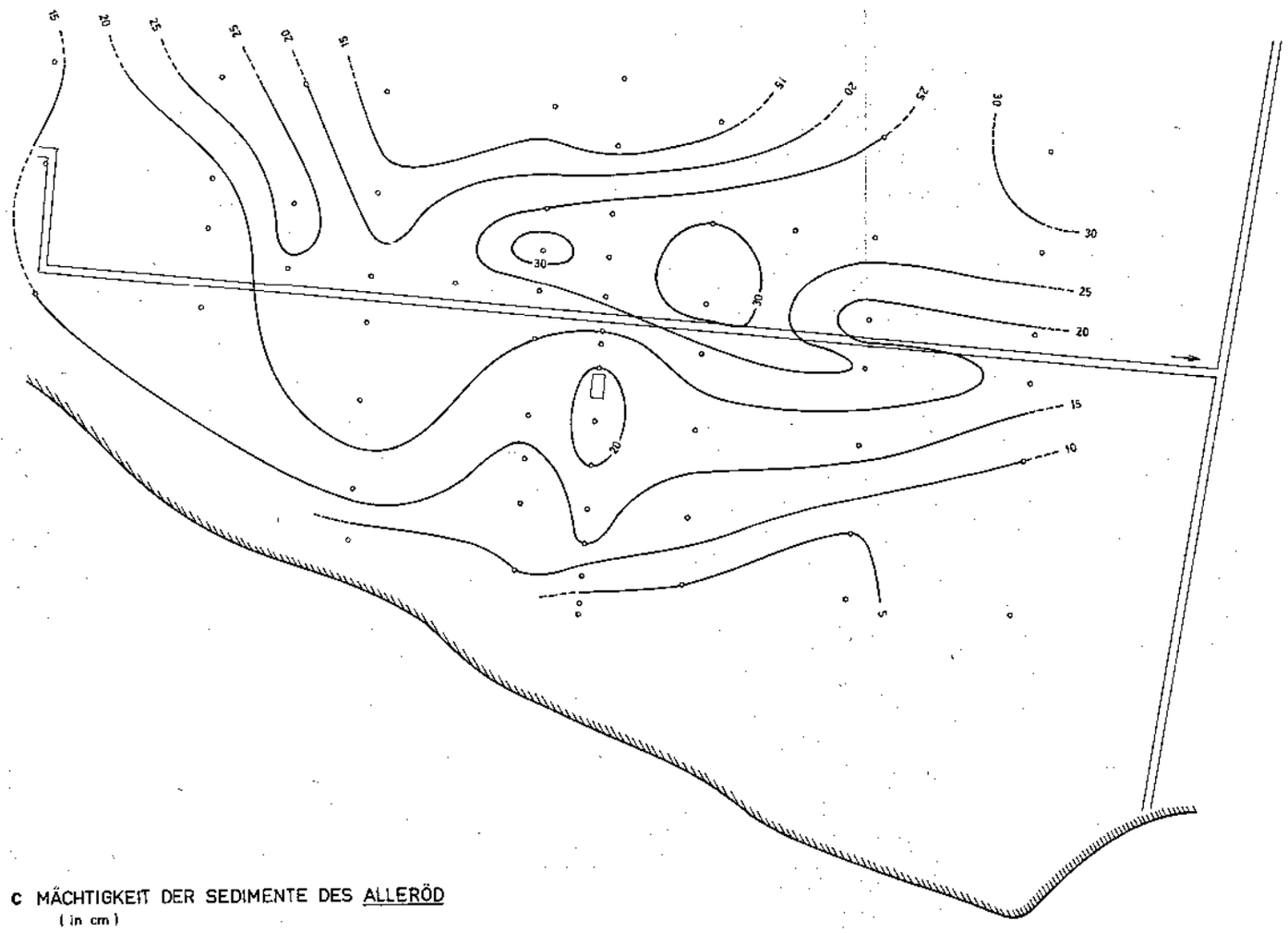
H. USINGER 1973



a RELIEF DES SEEBODENS ZU BEGINN ± RUHIGER SEDIMENTATION (BZW. DER BASISFLÄCHE DER STILLWASSERSEDIMENTE) UND SEDIMENTAUSBILDUNG



b MÄCHTIGKEIT DER SEDIMENTE DER ÄLTEREN TUNDRENZEIT (DR 1+2)
(in cm)



c MÄCHTIGKEIT DER SEDIMENTE DES ALLERÖD
(in cm)

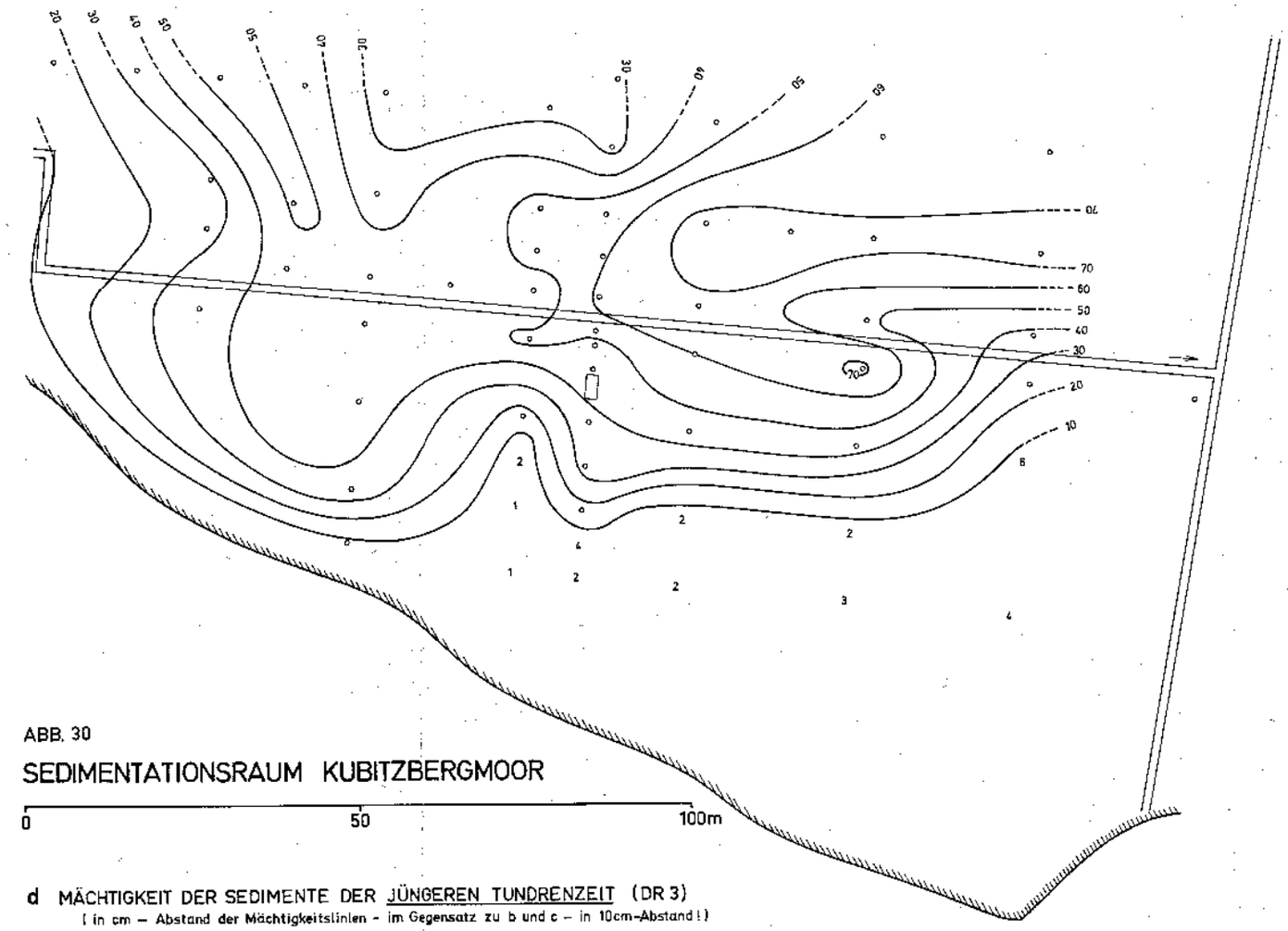


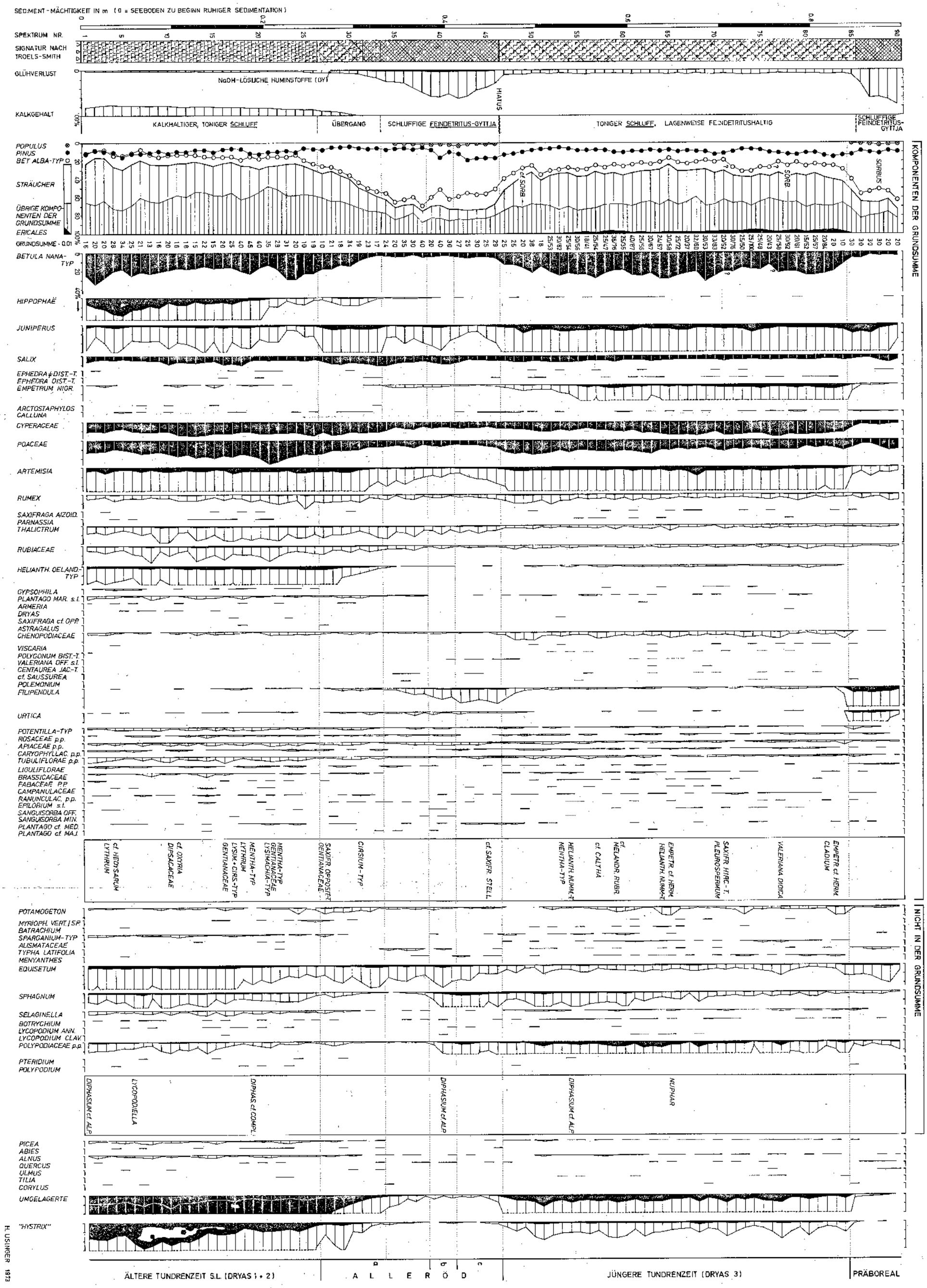
ABB. 30

SEDIMENTATIONSRAUM KUBITZBERGMOOR

0 50 100m

d MÄCHTIGKEIT DER SEDIMENTE DER JÜNGEREN TUNDRENZEIT (DR 3)
(in cm – Abstand der Mächtigkeitslinien - im Gegensatz zu b und c – in 10cm-Abstand !)

KUBITZBERGMOOR



H. USINGER 1973