

Palynologie und Sedimentologie
der Interglazialprofile
Döttingen, Bonstorf, Munster und Bilshausen

Dissertation
zur Erlangung des Grades
„Doktor der Naturwissenschaften“

am Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Markus Diehl
geb. in Kaiserslautern, Deutschland

Mainz, 2007

Dekan: [REDACTED]

1. Berichterstatter: [REDACTED]

2. Berichterstatter: [REDACTED]

Tag der mündlichen Prüfung: 30.04.2007

Erklärung:

Ich versichere hiermit diese Dissertation nur mit Hilfe der angegebenen Mittel und ohne unzulässige Hilfe verfasst zu haben. Alle Quellen und von Dritten durchgeführte Arbeiten sind als solche gekennzeichnet und vollständig aufgeführt. Diese Arbeit liegt an keiner anderen Hochschule vor.

Markus Diehl, am 28.03.2007

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Formelverzeichnis	12
1. Vorwort	13
2. Motivation	14
3. Zusammenfassung	15
4. Einleitung	17
4.1. Einführung in die Quartärstratigraphie	18
4.1.1. Terrestrische Quartärgliederung für das nördliche Mitteleuropa	18
4.1.2. Grenzziehung Quartär/Tertiär	23
4.1.3. Quartärgliederung nach marinen Sauerstoffisotopen Stadien	23
4.2. Die Holstein-Warmzeit	30
4.2.1. Palynologische Holstein-Gliederung im deutschsprachigen Raum	31
4.2.1.1. Palynologische Gliederung des Holstein nach Erd	32
4.2.1.2. Palynologische Gliederung des Holstein nach Müller	35
4.2.1.3. Korrelation der Holstein-Gliederungen nach Erd und Müller	39
4.2.2. Die Holstein-Transgression im norddeutschen Raum	40
5. Methoden	43
5.1. Palynologie	43
5.1.1. Palynomorphenaufbereitung	46
5.1.2. Pollenzählung, Darstellung der Zählergebnisse	48
5.2. Warvenzählung, Alters-Tiefen Modell	57
5.3. Magnetische Suszeptibilität	61
5.4. „RADIUS“-Korngrößenanalyse	62
5.5. Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung	63
6. Untersuchte Bohrkerne	65
6.1. Döttingen, Rheinland/Pfalz, Eifel	65
6.1.1. Döttingen – Lokalität, Stand der Forschung	65
6.1.2. Döttingen – Material	67
6.1.3. Sedimentologische Untersuchungen am Kern DOE 3	78
6.1.4. Palynologische Untersuchungen am Kern DOE 3	82
6.1.5. Döttingen – Diskussion	97

6.2.	Hetendorf/Bonstorf, Niedersachsen, Lüneburger Heide	104
6.2.1.	Hetendorf/Bonstorf – Lokalität, Stand der Forschung	104
6.2.2.	Hetendorf/Bonstorf – Material	111
6.2.3.	Sedimentologische Untersuchungen an Kern BT 1	113
6.2.4.	Palynologische Untersuchungen an Kern BT 1	114
6.2.5.	Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern BT 1	121
6.2.6.	Hetendorf/Bonstorf – Diskussion	123
6.3.	Munster/Breloh, Niedersachsen, Lüneburger Heide	126
6.3.1.	Munster/Breloh – Lokalität, Stand der Forschung	126
6.3.2.	Munster/Breloh – Material	134
6.3.3.	Sedimentologische Untersuchungen an den Kernen MU 1, MU 2	145
6.3.4.	Palynologische Untersuchungen an den Kernen MU 1, MU 2	149
6.3.5.	Warvenzählungen an den Kernen MU 1, MU 2	164
6.3.6.	Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern MU 1	177
6.3.7.	Munster/Breloh – Diskussion	177
6.4.	Bilshausen, Niedersachsen, südwestliches Harzvorland	186
6.4.1.	Bilshausen – Lokalität, Stand der Forschung	186
6.4.2.	Bilshausen – Material	198
6.4.3.	Sedimentologische Untersuchungen an BI 1	209
6.4.4.	Palynologische Untersuchungen an BI 1	211
6.4.5.	Warvenzählungen an Kern BI 1	220
6.4.6.	Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern BI 1	232
6.4.7.	Bilshausen – Diskussion	232
7.	Vergleich: Döttingen – Hetendorf/Bonstorf – Munster/Breloh	239
8.	Diskussion, Ergebnisse	253
9.	Literaturverzeichnis	261
10.	Anhang	274
10.1.	Tabellen / Fremd-, Literaturdaten	274
10.2.	Tabellen / Eigendaten	280
10.3.	Abbildungen / Fremd-, Literaturdaten	282
10.4.	Abbildungen / Eigendaten	294
11.	Danksagung	309
12.	Lebenslauf	310

Tabellenverzeichnis

Kapitel 4: Einleitung

Kapitel 4.1.1: Terrestrische Quartärgliederung für das nördliche Mitteleuropa

<u>Tab. 4.1:</u> Terrestrische Quartärgliederung	20
<u>Tab. 4.2:</u> Palynologische Gliederung des Holstein nach Erd	34
<u>Tab. 4.3:</u> Palynologische Gliederung des Holstein nach Müller	38
<u>Tab. 4.4:</u> Pollenzonenkorrelation Erd/ Müller	39

Kapitel 5: Methoden

<u>Tab. 5.1:</u> Anemophile und entomophile Gehölze	43
<u>Tab. 5.2:</u> Pollenaufbereitung	47

Kapitel 6: Untersuchte Bohrkerne

Kapitel 6.1: Döttingen

<u>Tab. 6.1:</u> Bohrlokalitäten, Bohrkerne	65
<u>Tab. 6.2:</u> Kernbeschreibung DOE 3	69
<u>Tab. 6.3:</u> Staub/Löß in Kern DOE 3	82
<u>Tab. 6.4:</u> Pollenzonen DOE 3	95
<u>Tab. 6.5:</u> Pollenzonengrenzen und -mächtigkeiten DOE 3	96
<u>Tab. 6.6:</u> Samenfunde DOE 3	97

Kapitel 6.2: Hetendorf/Bonstorf

<u>Tab. 6.7:</u> Warvenzählungen Hetendorf/Bonstorf	110
<u>Tab. 6.8:</u> Kernbeschreibung BT 1	111
<u>Tab. 6.9:</u> Pollenzonenkorrelation BT 1 / Meyer, Müller	120
<u>Tab. 6.10:</u> Warvenzählungen Hetendorf/Bonstorf (erweitert)	121
<u>Tab. 6.11:</u> Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen BT 1	123

Kapitel 6.3: Munster/Breloh

<u>Tab. 6.12:</u> Pollenzonenmächtigkeiten KS 416/71, KS 407/71, KS/408/71	128
<u>Tab. 6.13:</u> Warvenzählungen Munster/Breloh	131
<u>Tab. 6.14:</u> Warvenzählungen Hetendorf/Bonstorf & Munster/Breloh	133
<u>Tab. 6.15:</u> Sedimentationsraten KS 416/71, KS 407/71, KS/408/71	134
<u>Tab. 6.16:</u> Kernbeschreibung MU 1	136/137
<u>Tab. 6.17:</u> Kernbeschreibung MU 2	142/143/144
<u>Tab. 6.18:</u> Pollenzonengrenzen MU 1, 2 / Müller	150
<u>Tab. 6.19:</u> Pollenzonengrenzen und -mächtigkeiten MU 1 und MU 2	163
<u>Tab. 6.20:</u> MU 1, LPAZ-Mächtigkeiten, -Dauern, Sedimentationsraten	167

<u>Tab. 6.21:</u> MU 2, LPAZ-Mächtigkeiten, -Dauern, Sedimentationsraten	168
<u>Tab. 6.22:</u> Vergleich Pollenzonendauer MU 1, 2 / Müller	169
<u>Tab. 6.23:</u> Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen MU 1	177
Kapitel 6.4: Bilshausen	
<u>Tab. 6.24:</u> Sedimentologische Abfolge im „Becken“ von Bilshausen	187
<u>Tab. 6.25:</u> Palynologische Gliederung des Rhume-Intergazials	192
<u>Tab. 6.26:</u> Rhume, Pollenzonendauer (Müller, 1965, 1979, 1992)	194
<u>Tab. 6.27:</u> Kernbeschreibung BI 1	207/208
<u>Tab. 6.28:</u> Pollenzonen, BI 1	217
<u>Tab. 6.29:</u> Pollenzonendauer, BI 1	223
<u>Tab. 6.30:</u> Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen BI 1	232
<u>Tab. 6.31:</u> Vergleich Pollenzonendauer BI 1/Müller	238
Kapitel 7: Vergleich: Döttingen – Hetendorf/Bonstorf – Munster/Breloh	
<u>Tab. 7.1:</u> Pollenzonenkorrelation Döttingen-Munster/Breloh	240
<u>Tab. 7.2:</u> Sedimentationsraten DOE 3	244
Kapitel 10: Anhang	
<u>Tab. 10.1:</u> Pflanzennomenklatur	274/275/276/277/278
<u>Tab. 10.2:</u> <i>Lycopodium</i> -Tabletten	278
<u>Tab. 10.3:</u> Rezente klimatische Verbreitungsgrenzen von Arten	279/280
<u>Tab. 10.4:</u> Siebanalysen MU 2	280
<u>Tab. 10.5:</u> Datensätze	281

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 4: Einleitung

<u>Abb. 4.1:</u> Sauerstoffisotopengliederung des Quartär	28
<u>Abb. 4.2:</u> Pollenprofile Granzin und Pritzwalk/Prignitz	33
<u>Abb. 4.3:</u> Schematisiertes Pollenprofil Munster/Breloh	36
<u>Abb. 4.4:</u> Karte Holstein Transgression	41

Kapitel 5: Methoden

<u>Abb. 5.1:</u> Kreisförmige und quadratische Pollenbeprobungsfläche	52
<u>Abb. 5.2:</u> Warvenzählungen und Alters-Tiefen-Modell	58

Kapitel 6: Untersuchte Bohrkerne

Kapitel 6.1: Döttingen

<u>Abb. 6.1:</u> Quartäre Eruptionszentren der Eifel	66
<u>Abb. 6.2:</u> Topographisch-vulkanologische Karte Döttinger Maar	66
<u>Abb. 6.3:</u> Kern DOE 3 (4,75-14,75 m) (Sedimentologie, Palynologie)	70
<u>Abb. 6.4:</u> Kern DOE 3 (12,75-13,75 m) (T7, T8)	72
<u>Abb. 6.5:</u> Kern DOE 3 (11,75-12,15 m) (T5, T6)	73
<u>Abb. 6.6:</u> Kern DOE 3 (10,15-10,65 m) (T3)	74
<u>Abb. 6.7:</u> Kern DOE 2 (10,00-11,00 m) (T3)	75
<u>Abb. 6.8:</u> Kern DOE 3 (6,75-7,1 m) (T1)	76
<u>Abb. 6.9:</u> Kern DOE 3 (5,75-6,15 m)	77
<u>Abb. 6.10:</u> Sedimentologie DOE 3	78
<u>Abb. 6.11:</u> Sedimentologie DOE 3 (erweitert)	80
<u>Abb. 6.12 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme DOE 3	83/84
<u>Abb. 6.13 a/b:</u> Pollendichtediagramme DOE 3	85/86

Kapitel 6.2: Hetendorf/Bonstorf

<u>Abb. 6.14:</u> Kiesegurlagerstätte Hetendorf/Bonstorf	104
<u>Abb. 6.15:</u> Pollendiagramme KS 403/71, KS 430/72, Munster/Breloh	106
<u>Abb. 6.16:</u> Aufschlußprofil Kieselgurgrube Hetendorf	107
<u>Abb. 6.17:</u> Eisrandlagen Weichsel, Saale und Elster	109
<u>Abb. 6.18:</u> Kern BT 1 (11,00-17,00 m) (Sedimentologie, Palynologie)	112
<u>Abb. 6.19:</u> Sedimentologie BT 1	113
<u>Abb. 6.20 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme BT 1	115/116
<u>Abb. 6.21 a/b:</u> Pollendichtediagramme BT 1	117/118
<u>Abb. 6.22:</u> Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen BT 1	122

Kapitel 6.3: Munster/Brelloh

<u>Abb. 6.23:</u> Kiesegurlagerstätte Munster/Brelloh	126
<u>Abb. 6.24:</u> Pollenprofile KS 416/71, KS 407/71, KS/408/71	127
<u>Abb. 6.25:</u> Pollenprofile PS 385/71	129
<u>Abb. 6.26:</u> Pollenprofile Kieselgurgrube Else II	130
<u>Abb. 6.27:</u> Kern MU 1 (9-25 m) (Sedimentologie, Palynologie)	135
<u>Abb. 6.28:</u> Kern MU 1 (17,10-17,20) (Sandhorizonte)	136
<u>Abb. 6.29:</u> Kern MU 2, (17-50 m) (Sedimentologie, Palynologie)	138
<u>Abb. 6.30:</u> Kern MU 2 (43-49 m) (Störungen)	139
<u>Abb. 6.31:</u> Kern MU 2 (24,30-24,50 m) (Sandlage)	140
<u>Abb. 6.32:</u> Kern MU 2 (38,60-38,90 m) (Laminationseinfällen)	141
<u>Abb. 6.33:</u> Kern MU 2 (39,10-39,20 m) (Verfaltungen/Verwürgungen)	141
<u>Abb. 6.34:</u> Sedimentologie MU 1	145
<u>Abb. 6.35:</u> Sedimentologie MU 2	146
<u>Abb. 6.36:</u> Siebanalysen MU 2	148
<u>Abb. 6.37 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme MU 1	151/152
<u>Abb. 6.38 a/b:</u> Pollendichtediagramme MU 1	153/154
<u>Abb. 6.39 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme MU 2	155/156
<u>Abb. 6.40 a/b:</u> Pollendichtediagramme MU 2	157/158
<u>Abb. 6.41 a/b/c/d:</u> <i>Bruckenthalia</i> -Habitus	159
<u>Abb. 6.42:</u> Kern MU 2 (20,30-20,40 m) (allochthone Kieselgur)	160
<u>Abb. 6.43:</u> Alters-Tiefen-Modell MU 1	165
<u>Abb. 6.44:</u> Alters-Tiefen-Modell MU 2	166
<u>Abb. 6.45:</u> Kern MU 2 (21,40-21,60 m) (LPAZ-Grenze XIII)	171
<u>Abb. 6.46 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme MU 2 (gegen Zeit)	173/174
<u>Abb. 6.47 a/b:</u> Pollen <i>influx</i> diagramme MU 2 (gegen Zeit)	175/176
<u>Abb. 6.48:</u> Kern MU 2 (38-40 m) (LPAZ VIII) (%-, <i>Influx</i> diagramme)	181
<u>Abb. 6.49:</u> Kern MU 2 (39,00-39,10 m) (LPAZ VIII)	182

Kapitel 6.4: Bilshausen

<u>Abb. 6.50:</u> Kartenskizze Unter-Eichsfeld, Bilshausen	186
<u>Abb. 6.51:</u> Pollenprozentwertdiagramm Bilshausen 1/78 (Müller, 1992)	191
<u>Abb. 6.52:</u> Pollen <i>influx</i> diagramm Bilshausen 1/78 (Müller 1992)	195
<u>Abb. 6.53:</u> Pollendiagramm Birken-Kiefern-Vorstoß (Müller 1992)	196
<u>Abb. 6.54:</u> Pollendiagramm Lindenfall (Müller 1992)	196

<u>Abb. 6.55:</u> Tongrube Bilshausen	198
<u>Abb. 6.56:</u> Kern BI 1 (33-46 m) (Kohleton)	199
<u>Abb. 6.57:</u> Kern BI 1 (35,40-35,50 m) (spröde Abschiebungen)	201
<u>Abb. 6.58:</u> Kern BI 1 (35,80-36,00 m) („halb“spröde Abschiebungen)	201
<u>Abb. 6.59:</u> Kern BI 1 (38,00-38,40 m) (spröde Störungen)	202
<u>Abb. 6.60:</u> Kern BI 1 (39,50-40,00 m) (gestörter Kernbereich)	203
<u>Abb. 6.61:</u> Kern BI 1 (40,20-40,30 m) (spröde Störung)	204
<u>Abb. 6.62:</u> Kern BI 1 (41,40-41,50 m) (spröde Störung)	204
<u>Abb. 6.63:</u> Kern BI 1 (42,00-42,10 m) (Laminationseinfällen)	205
<u>Abb. 6.64:</u> Kern BI 1 (42,40-42,70 m) (duktile Störung)	205
<u>Abb. 6.65:</u> Kern BI 1 (44,40-44,50 m) (duktile Störung)	206
<u>Abb. 6.66:</u> Kern BI 1 (36,80-37,10 m) (Faltung der Lamination)	206
<u>Abb. 6.67:</u> Sedimentologie BI 1	209
<u>Abb. 6.68:</u> μ -XRF Analyse BI 1 (36,40-37,00 m)	211
<u>Abb. 6.69 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme BI 1	213/214
<u>Abb. 6.70 a/b:</u> Pollendichtediagramme BI 1	215/216
<u>Abb. 6.71:</u> Pilzsporen BI 1	218
<u>Abb. 6.72:</u> trileter Sporentyp, BI 1	218
<u>Abb. 6.73:</u> Pollendiagramm Bilshausen 1/62 (Bittmann und Müller, 1996)	219
<u>Abb. 6.74:</u> <i>Azolla</i> (Glochidie)	219
<u>Abb. 6.75:</u> Alters-Tiefen-Modell BI 1	221
<u>Abb. 6.76 a/b:</u> Pollenprozentwertdiagramme BI 1 (gegen Zeit)	225/226
<u>Abb. 6.77 a/b:</u> Pollen <i>influx</i> diagramme BI 1 (gegen Zeit)	227/228
<u>Abb. 6.78:</u> Pollendiagramme Birken-Kiefern-Vorstoß, Lindenfall	230
<u>Abb. 6.79:</u> Kernfoto, Pollendiagramm Birken-Kiefern-Vorstoß	234
<u>Abb. 6.80:</u> Kernfoto, Pollendiagramm, μ XRF-Analyse, Lindenfall	236
Kapitel 7: Vergleich: Döttingen – Hetendorf/Bonstorf – Munster/Breloh	
<u>Abb. 7.1:</u> Pollenprozentwertdiagramm, LPAZ 1-4, DOE 3 (gegen Zeit)	246
<u>Abb. 7.2:</u> Polleninfluxdiagramm 1, LPAZ 1-4, DOE 3 (gegen Zeit)	246
<u>Abb. 7.3:</u> Polleninfluxdiagramm 2, LPAZ 1-4, DOE 3 (gegen Zeit)	248
<u>Abb. 7.4:</u> Polleninfluxdiagramm 3, LPAZ 1-4, DOE 3 (gegen Zeit)	248
<u>Abb. 7.5:</u> Pollenprozentwertdiagramm, LPAZ 1-6a, DOE 3 (gegen Zeit)	251
<u>Abb. 7.6:</u> Pollenprozentwertdiagramm, LPAZ 1-5b, DOE 3 (gegen Zeit)	251

Kapitel 8: Diskussion, Ergebnisse

<u>Abb. 8.1:</u> Marine Sauerstoffisotopenstadien und Osteifelvulkanismus	258
---	-----

Kapitel 10: Anhang

<u>Abb. 10.1:</u> Pollenprofil Wuthenow/Strausberg	282
<u>Abb. 10.2:</u> Pollenprofil Rossendorf	283
<u>Abb. 10.3:</u> Pollenprofil Prellheide	284
<u>Abb. 10.4:</u> Pollenprofil Wildschütz	285
<u>Abb. 10.5:</u> Pollenprofil Göttingen Akazienweg	286
<u>Abb. 10.6:</u> Pollenprofil Ohe	287
<u>Abb. 10.7 a/b/c:</u> Pollenprofile Klieken	288/289
<u>Abb. 10.8:</u> Pollenprofil Delitzsch-Wölkau	290
<u>Abb. 10.9:</u> Pollenprofil Schmerz-Gröbern	291
<u>Abb. 10.10:</u> Hamburg-Hummelsbüttel	292
<u>Abb. 10.11:</u> Hamburg-Dockenhuden	293
<u>Abb. 10.12 a/b:</u> Döttinger Maar	294
<u>Abb. 10.13:</u> Bohrkern DOE 1	295
<u>Abb. 10.14:</u> Bohrkern DOE 2	296
<u>Abb. 10.15:</u> Bohrkern DOE 3	297
<u>Abb. 10.16:</u> Bohrkern DOE 3, Dünnschliffe	398
<u>Abb. 10.17:</u> Palynomorphenzählungen DOE 3	399
<u>Abb. 10.18:</u> Bohrkern BT 1	300
<u>Abb. 10.19:</u> Palynomorphenzählungen BT 1	301
<u>Abb. 10.20:</u> Bohrkern MU 1	302
<u>Abb. 10.21:</u> Bohrkern MU 2	303
<u>Abb. 10.22:</u> Palynomorphenzählungen MU 1	304
<u>Abb. 10.23:</u> Palynomorphenzählungen MU 2	304
<u>Abb. 10.24:</u> Bohrkern MU 2 (42,80-43,00 m), Warvenmächtigkeit	305
<u>Abb. 10.25:</u> Tongrube Jakobi, Bilshausen	306
<u>Abb. 10.26:</u> Bohrkern BI 1	307
<u>Abb. 10.27:</u> Bohrkern MU 2 und BI 1, Warvung	308
<u>Abb. 10.28:</u> Palynomorphenzählungen BI 1	308

Formelverzeichnis

Kapitel 5: Methoden

(5.1): absoluter Pollengehalt	50
(5.2): relativer Pollengehalt	50
(5.3): <i>Polleninflux</i> (allgemein)	51
(5.4): <i>Polleninflux</i> (speziell)	54
(5.5): Sedimentationsrate	60

1. Vorwort

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand im Rahmen des Deutschen Klimaforschungsprogramms (DEKLIM) auf Initiative von Herrn [REDACTED] am Institut für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg Universität Mainz.

Es wird nicht immer ausdrücklich auf eine Referenz verwiesen, da Teile der Kapitel aus dem ergänzenden Miteinander zahlreicher, im Anhang vermerkter Quellen entstanden. Meist wird vereinfachend von Pollen (Pollenprofilen etc.) gesprochen, obwohl eigentlich Palynomorphen (Palynomorphenprofile etc.) als Überbegriff für Pollen und Sporen gemeint sind. Außerdem werden auch andere pflanzliche Mikrofossilien, wie Algenkolonien unter diesem Begriff zusammengefasst. Fremdsprachige Begriffe, mathematische Formelausdrücke und Pflanzennamen für Gattungen oder Arten sind kursiv, verwendete Abkürzungen in Grossbuchstaben geschrieben. Auf nicht unmittelbar im laufenden Text aufgeführte oder im Anhang befindliche Abbildungen oder Tabellen sowie auf andere Kapitel wird mit einem Pfeil „→“ verwiesen. Stellenweise sind die Abbildungen englisch beschriftet. Zitate, relative Ausdrücke und Umschreibungen sind in Apostrophen („“) gestellt.

Aus der vorliegenden Arbeit resultierte bisher eine Publikation (Diehl and Sirocko, 2007), zu der Daten in der Internet-Datenbank PANGAEA (www.pangaea.de) abrufbar sind. Diese und die Mehrzahl der übrigen im Rahmen dieser Dissertation gewonnenen Daten sind auf Grund ihres Umfangs nicht tabellarisch im Anhang, sondern auf beiliegendem Speichermedium abgelegt.

Die vorliegende Arbeit wurde unter Zuhilfenahme der Programme Microsoft Word, Microsoft Excel, EndNote, Picture Publisher, Adobe Illustrator und Panorama Maker erstellt. Für mathematische Umsetzungen und deren graphische Darstellung wurden eigene Routinen im Programmsystem Matlab (Gramlich and Werner, 2000) verfasst.

2. Motivation

Die Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde ist eng mit der Klimageschichte des Planeten verbunden. Aufkommen, Evolution und Aussterben von Arten standen und stehen auch heute in unmittelbarem Zusammenhang mit den klimatischen Gegebenheiten. Obwohl dieser Umstand für die Entwicklung von Flora und Fauna lange bekannt und durch Geologie und Paläontologie verifiziert ist, erwuchs erst in den letzten Jahrzehnten das Bewusstsein, dass auch die Zivilisation des modernen, historischen Menschen in höchstem Maß vom Klima abhängig ist und sogar mit diesem interagiert. So wird zunehmend klar, dass der Niedergang zahlreicher Hochkulturen kausal mit Klimaereignissen in Verbindung steht, deren Auftreten auch heute zu unabsehbaren Folgen für die betroffenen Gebiete führen würde. Dabei hätten solche Katastrophen auf Grund der heutigen, weltweiten wirtschaftlichen und politischen Verflechtungen zunehmend globale Auswirkungen. Neben primär lokal begrenzten Klimakatastrophen ist aber auch ein globaler Klimawandel keinesfalls Fiktion. Er ist mehrmals als quasi natürlicher Vorgang in der Erdgeschichte belegt und einige seiner bisher bekannten Steuerungsmechanismen unterliegen anthropogenem Einfluss.

Das Szenario von regionalem Klimawandel führt zu katastrophalen Folgen für die Betroffenen und potentiell, jenes von globalem Klimawandel zwangsläufig, zu katastrophalen Folgen für die gesamte Menschheit. In diesem Sinne ist es zwingend geboten, aus ethisch/humanitären, wie auch aus pragmatisch, subjektiv/egoistischen Beweggründen solchen Katastrophen präventiv entgegenzuwirken und Pläne zur Eindämmung möglicher Folgen zu entwickeln, ja sogar die Gesellschaftsform an sich diesbezüglich zu wandeln. Hierfür muss einerseits die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf solche, im historischen Gedächtnis der Menschheit wenig und im Bewusstsein eines Individuum meist gar nicht wahrgenommenen, Gefahren gelenkt und andererseits mehr Wissen über Wesen und Ursache von Klimawandel angesammelt werden. Als einen Beitrag zu Letzterem, nämlich der Grundlagenforschung zum klimatischen Geschehen auf der Erde versteht sich die vorliegende Dissertationsschrift.

3. Zusammenfassung

In der vorliegenden Dissertation wurden vier dem Holstein-Interglazial zugehörige Bohrkerne sowie ein rhumezeitlicher Bohrkern palynologisch und sedimentologisch bearbeitet. Die holsteinzeitlichen Bohrkerne stammen aus Kieselgurlagerstätten der Lüneburger Heide (Bonstorf und Munster) und aus einem Trockenmaar (Döttingen) in der Eifel. Der rhumezeitliche Kern stammt aus der Typlokalität Bilshausen im Harzvorland. Neben Prozentwertdiagrammen werden Pollendichte- und wenn möglich Pollen*influx*werte vorgestellt, die insbesondere für die Lokalitäten Hetendorf/Bonstorf und Munster/Breloh bisher nicht verfügbar waren.

Mit dem Profil Döttingen konnte erstmals eine sowohl vollständige als auch nicht innerhalb des klassischen Aufkommens holsteinzeitlicher Fundstellen im norddeutschen Tiefland positionierte Holsteinsequenz aus dem deutschen Mittelgebirge dokumentiert werden. Das erhaltene Pollendiagramm bestätigt die aus den norddeutschen Profilen bekannte holsteintypische Vegetationsabfolge, durch die das Holstein gegenüber anderen Interglazialen wie Holozän, Eem oder Rhume palynologisch definiert ist. Neben der grundsätzlichen Übereinstimmung der Pollensequenz unterscheidet sich das Profil Döttingen aber deutlich im prozentualen Aufkommen der beteiligten Taxa von den norddeutschen Profilen. So wird eine hohe *Alnus*-Präsenz als Merkmal deutscher Holsteinprofile bestätigt, jedoch ist die, in den norddeutschen Lokalitäten durchhaltend hohe oder dominante Beteiligung von *Pinus* im deutschen Mittelgebirge nicht vorhanden und muss daher auf die Standortbedingungen Norddeutschlands zurückgeführt werden. *Abies* dagegen ist im Holstein der Mittelgebirge wesentlich präsenter als im norddeutschen Flachland.

Im Profil Döttingen wurden insgesamt 10 Tephralagen gefunden. Auf eine dieser Tephren folgt ein „Birken-Kiefern-Gräser Vorstoß“, der palynostratigraphisch dem älteren „Birken-Kiefern Vorstoß“ in Munster/Breloh entspricht. Als eine Typologie des Holstein kann das in den Profilen Döttingen und Munster bestätigte intraholsteinzeitliche *Carpinus* Minimum verstanden werden.

An Hand sedimentologischer und palynologischer Befunde aus dem Bohrkern MU 2 muss die Existenz zweier, in der Literatur postulierter, postholsteinzeitlicher, „Nachschwankungen“ in Munster/Breloh in Frage gestellt, wenn nicht abgelehnt werden. In Kern MU 2 fallen palynostratigraphische Grenzen häufig mit Sandeinschaltungen

zusammen. Eine dieser Sandeinschaltungen, nämlich unmittelbar vor dem älteren „Birken-Kiefern-Vorstoß“, korreliert in ihrer stratigraphischen Position mit der den „Birken-Kiefern-Gräser-Vorstoß“ im Profil Döttingen einleitenden Tephralage. Es gelang die Dauer des intraholsteinzeitlichen *Carpinus* Minimums auf etwa 1500 ± 100 Jahre zu bestimmen und eine interne Zweigliederung zu dokumentieren.

Im rhumezeitlichen Kern von Bilshausen konnten zahlreiche Störungen nachgewiesen werden. Insbesondere im Teufenbereich des Bilshausener „Birken-Kiefern-Vorstoßes“ deuten diese auf eine möglicherweise verfälschte Überlieferung. Der palynologisch markante „Lindenfall“ von Bilshausen liegt im Bereich einer isoklinalen Schichtenverfaltung. Die in der Literatur im Horizont des „Lindenfalls“ beschriebene „Bilshausentephra“ wurde nicht gefunden.

Warvenzählungen an den Kernen MU 1, MU 2 und BI 1 ermöglichten Pollenzonendauern in Holstein- und Rhume-Interglazial zu bestimmen. Dabei wurde mittels den Warvenzählungen, unter zu Hilfenahme von Literaturdaten und von Schätzwerten eine Dauer für das Holstein-Interglazial sensu stricto (Pollenzonen I-XIV) von 15400-17800 Jahren und für das Rhume-Interglazial von wahrscheinlich 22000 Jahren bis maximal 26000 Jahren ermittelt.

4. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich schwerpunktmäßig mit der so genannten Holstein-Warmzeit. Dieses, im nördlichen Mitteleuropa, anhand seiner palynologischen Signatur definierte Interglazial wird allgemein als die vorletzte „echte“ Warmzeit aufgefasst und zwischen der Elster und der Saale Vereisung angesiedelt, wobei jedoch absolute Zeitstellung als auch Dauer strittig sind. So wird die Korrelation zu den marinen Isotopenstadien (MIS) uneinheitlich vorgenommen (Nitychoruk et al., 2006), wobei durchgeführte Datierungen für das Interglazial, je nach Methode und Bearbeiter (Degering and Krbetschek, 2007; Frechen et al., 2007; Geyh and Müller, 2007; Linke, 1993; Rowe et al., 1997; Rowe et al., 1999; Sarthein et al., 1986; Schwarz and Grün, 1988; Urban, 2007), zwischen MIS 7-11 (oder gegebenenfalls noch älter) schwanken, also um bis zu etwa 200000 Jahre (oder mehr) differieren. Entsprechend kontrovers werden in Folge dessen auch die zeitlichen Einstufungen der Saale- und Elstermoränen sowie noch älterer Interglazial- und Glazialrelikte diskutiert. Vergleiche holsteinzeitlich eingestufte Pollenspektren aus dem nördlichen Mitteleuropa liefern zudem ein teils uneinheitliches Bild der Vegetationsentwicklung und je nach Bearbeiter werden Eigentümlichkeiten in den Pollenprofilen auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt.

4.1. Einführung in die Quartärstratigraphie

Entgegen früheren Vorstellungen, die das Postglazial (Holozän*¹) als eine dem (einen) Eiszeitalter (Pleistozän*¹) folgende Warmzeit verstanden, ist das Quartär*² an sich ein Eiszeitalter, nämlich eine Zeitspanne von wiederholten Inlandvereisungen der nördlichen Hemisphäre und Neuseelands. Unsere heutige Warmzeit, das Holozän, ist dabei nur eine von mehreren Phasen zwischenzeitlicher Erwärmungen und gliedert sich an eine Reihe schon im Pleistozän aufgetretener Warmphasen. Somit ist vom heutigen Stand der Wissenschaft die Unterteilung des Quartärs in Holozän und Pleistozän nur noch nomenklatorisch. Eine Gliederung nach dem Aufeinanderfolgen von Vergletscherungszeiten und dazwischen liegenden Erwärmungsphasen erscheint, zumindest für die höheren Breitengrade, weit realitätsbezogener.

*¹ griechisch; hólos: ganz, völlig, pleíston: am meisten, kainòs: neu

(Holozän: „das völlig Neue“, Pleistozän: „das sehr Neue“)

Das Holozän wird gelegentlich auch als Flandrische Warmzeit (Flandrium, *Flandrian*) bezeichnet. Ausgang des 18. Jahrhunderts wurden Quartärsedimente für Ablagerungen einer (der) Sintflut gehalten (lateinisch; alluvium: Anschwemmung, diluvium: Überschwemmung). Aus diesem Umfeld stammen die früher gebräuchlichen Begriffe Alluvium (für Holozän) und Diluvium (für Pleistozän). Später wurde die „Sintfluttheorie“ von der „Drifttheorie“ abgelöst, in der ein Diluvialmeer bis zum Mittelgebirgsrand postuliert wurde, auf welchem Eisberge (-schollen) die quartären Lockermassen von Norden her antransportiert hätten. Schließlich kam Mitte des 19. Jahrhunderts die „Gletschertheorie“ oder „Eiszeittheorie“ auf, die von der anfänglichen Vorstellung des Mono- zum Polyglazialismus erweitert wurde.

*² lateinisch: „das Vierte“

(Primär: Paläozoikum, Sekundär: Mesozoikum, Tertiär + Quartär: Känozoikum)

4.1.1. Terrestrische Quartärgliederung für das nördliche Mitteleuropa

Erste Versuche einer solchen Gliederung wurden ab dem 19. Jahrhundert unternommen. Historische Überblicke geben zum Beispiel Kahlke (1981) oder Ehlers (1994). In Pillens und Naish (2004) ist eine Zusammenfassung zur Problematik und zur Historie der Tertiär-Quartär Nomenklatur gegeben. Die Ansätze basierten auf dem stratigraphischen Erfassen kalt- und warmzeitlicher Sedimente wie Moränen, Bändertonen, Lößlagen, Flussterrassen, Böden, Torfen oder Mudden. Diese Untersuchungen führten jedoch zu regional unterschiedlichen Resultaten*³, die verschieden viele Vergletscherungsphasen zwischen westlichem und östlichem Mitteleuropa, als auch zwischen Nordeuropa und dem Alpenraum propagieren.

*³ Benda (1995) gibt eine nach Bundesländern gegliederte Übersicht über die regionalen Quartärabfolgen Deutschlands.

Für den norddeutschen Raum ergab sich ein vorläufiges Bild von mindestens drei präholozänen, pleistozänen, voll entwickelten Warmzeiten (Eem, Holstein, Cromer), welche sich durch das Auftreten thermophiler Floren und Faunen in ehemaligen Glazial- beziehungsweise Periglazialräumen auszeichnen. Diese so genannten Interglaziale werden durch, die nach Flüssen benannten Glaziale Weichsel/Würm, Saale/Riss, Elster/Mindel separiert, wobei aus dem Alpenvorland vier weitere, prälsterzeitliche Glazialphasen, nämlich die Haslach-, Günz-, Donau- und Biber-Kaltzeit bekannt sind. Deren stratigraphische Korrelation zum nicht alpenländischen Raum ist jedoch unsicher.

Vor allem anhand palynologischer und sedimentologischer Befunde aus den Niederlanden (Zagwijn, 1957), aber auch aus Norddeutschland (Karsthohlform auf dem Salzstock Lieth bei Elmshorn, Subrosionssenke des Salzstocks Gorleben, Erdölbohrung Oldenswort bei Eiderstedt) (Menke, 1969; Menke, 1970; Menke, 1975; Müller, 1986) wurde die Pleistozängliederung später um die „Warmzeiten“ Bavel, Waal und Tegelen, sowie die „Kaltzeiten“ Menap, Eburon und Prätegelen ergänzt. Für Cromer, Bavel, Waal und Tegelen wurde jedoch klar, dass es sich nicht um durchgehende Warmzeiten, sondern vielmehr um, durch starke klimatische Schwankungen, gegliederte Komplexe handelte (Gibbard et al., 1991; Zagwijn, 1963; Zagwijn and De Jong, 1984; Zagwijn et al., 1971). Auch war bekannt, dass die Glaziale in sich nicht durchgehend starker Vergletscherung unterlagen, sondern dass die Eismassen innerhalb eines Glazials mehrmals vorgestoßen waren und sich zurückgezogen hatten, wenn auch nicht in dem Maße und der Dauer wie es zur Ausbildung eines Interglazial nötig gewesen wäre.

Tabelle 4.1 zeigt die, aus den terrestrischen Befunden resultierende, Gliederung des Quartärs für Deutschland und für die Niederlande. Dabei steht blau für „kühles bis kaltes Klima“, Kryomer, Stadial, Glazial oder Eiszeit; grün für „warmes Klima“, Thermomer, Interstadial, Interglazial oder Warmzeit und gelb für klimatisch stark inhomogene Komplexe. Die Gliederung erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit, sondern resümiert lediglich terrestrisch bisher sicher nachgewiesene Klimaschwankungen.

Tab. 4.1: Terrestrische Grobgliederung der quartären Abfolge für den deutsch/niederländischen Raum. Erstellt (unter anderen) aus Ehlers (1994), Menke (1975), Müller (1986) und Gibbard & van Kolfschoten (2004).

		Alpenraum	Norddeutschland	Niederlande				
Quartär	Pleistozän	Holozän Subatlantikum (Nachwärmezeit) Subboreal (Späte Wärmezeit) Atlantikum (Mittlere Wärmezeit) Boreal (Frühe Wärmezeit) Präboreal (Vorwärmezeit)						
		Ober-, Jungpleistozän	Würm	Weichsel Spät- Jüngere Dryas (Jüngere Tundrenzeit) Allerød Ältere Dryas (Mittlere Tundrenzeit) Bølling Älteste Dryas (Älteste Tundrenzeit) Meindorf				
				Pleni- Denekamp Hengelo Moershoofd Glinde Ebersdorf Oerel				
		Riss-Würm	Eem Schalkholz Odderade Rederstall Brørup/Amersfoort Herning					
	Mittelpleistozän	Riss	Saale -Komplex	Saale s.s. Wacken/Dömnitz/Schöningen/Hoogeveen Fuhne	III II I Warthe Drenthe			
		Mindel-Riss	Holstein					
		Mindel	Elster II I					
		Haslach-Mindel	Gorleben (Müller, 1986)	Bilshausen/Voigstedt äquivalente Warmzeit? 1. Thermomer 2. Thermomer 3. Thermomer (Marleben-Warmzeit) (Leerdam ?) 4. Thermomer (Gorlebener Tannen-Warmzeit) (Bavel ?) (Menap ?)	Cromer -Komplex	IV C III B II A I	Noordbergum Glazial C Rosmalen Glazial B Westerhoven Glazial A Waardenburg	
		Haslach				Bavel -Komplex	Dorst Leerdam	
	Günz-Haslach	Linge Bavel s.s.						
Günz	Menap -Komplex							
Donau-Günz	Waal -Komplex	C B A						
Unter-, Altpleistozän	Donau	Lieth, Oldenswort (Menke, 1975)	Pinneberg Elmshorn Uetersen Pinnau Tornesch Lieth Ellerhoop Krückau Nordende Ekholt Meinweg	Eburon -Komplex				
	Biber				Tegelen -Komplex	C5/6 C4 C1/2/3 B A	Brüggen ? Frechen I ?	
						Prätogelen		

Vor allem die prälsterzeitliche Gliederung ist bezüglich ihrer Vollständigkeit, als auch betreffend ihrer Korrelationen zwischen den verschiedenen Gebieten noch immer stark hypothetisch. Unsicherheiten herrschen darüber hinaus vor allem bezüglich Warmphasen interstadialen oder gar interglazialen Charakters zwischen Holstein und Eem, also im Saale-Komplex. Interglaziale Vorkommen aus der nieder-rheinischen Bucht (Urban, 1978), nämlich das Frechen I Interglazial und ein Interglazial bei Brüggem werden anhand palynologischer Befunde dem Tegelen A, beziehungsweise dem Tegelen C5-6 zugeschrieben (Ehlers, 1994). Die dem Tegelen folgende Kaltphase des Eburon wird in 7 Klimaabschnitte unterteilt (Ehlers, 1994), der nächst jüngere Warmkomplex, das Waal, wird von Zagwijn et al. (1971) dreigliedert. Die Artern- und die jüngere Voigstedt-Warmzeit aus Thüringen (Erd, 1970), das Interglazial von Osterholz (Grüger, 1968), sowie das Rhume-Interglazial und die dazu hangenden interstadialen Gelckenbach Tone (→ 6.4.1.) von Bilshausen (Müller, 1965) gehören wahrscheinlich dem Cromer-Komplex an.

Für die Elster-Eiszeit lassen sich bislang zwei Vereisungsphasen durch Moränen differenzieren (Elster I+II), zwischen die Eissmann (1975) eine kurze Erwärmungsphase, das Miltitzer Intervall legt. In Nordwestdeutschland werden die Elstermoränen von Eisrandstauseesedimenten, den so genannten Lauenburger Tonen überlagert. In Urban et al. (1988) sind drei spätelsterzeitliche Interstadiale (Offleben I+II, Esbeck) postuliert.

In der stratigraphischen Abfolge nach Tabelle 4.1 liegt zwischen Elster-Glazial und der dem Eem-Interglazial vorhergehenden Saale-Vereisung das Holstein-Interglazial. In Erd (1973) wird jedoch die, vom Holstein durch die Fuhne-Kaltzeit separierte, interglazialen Charakter aufweisende, Dömnitz-Warmzeit beschrieben, welche gegebenenfalls mit der so genannten Wacken-Warmzeit (Menke, 1968; Menke, 1980) zu parallelisieren wäre. Aus dem Braunkohletagebau bei Helmstedt werden von Urban (1991) die Reinsdorf- und die Schöningen-Warmzeit als Interglaziale, sowie mehrere Interstadiale (Reinsdorf A+B, Büddestedt I+II) zwischen Holstein und Drenthe beschrieben. Auch Zagwijn (1973) fand zwischen holsteinzeitlichen Ablagerungen und Saale-Grundmoräne, eine von ihm als Hoogeveen-Interstadial bezeichnete Warmphase. Die tatsächliche stratigraphische Stellung dieser Lokalitäten ist aber wegen Unstetigkeiten (Hiatae, fehlende Superposition) in den zu Grunde liegenden Profilen/Bohrungen, wie auch prinzipiell auf Grund des bisherigen Nichtauffindens weiterer, ähnlicher Abfolgen strittig. In Litt und Turner (1993) wird die

Fuhne-Kaltzeit, die „Wacken/Dömnitz/Reinsdorf-Schöningen/Hoogeveen-Warmzeit“ und die Saalevergletscherung (Saale *sensu stricto*, Saale I-III, Drenthe/Warthe) zum Saale-Komplex zusammengefasst, wodurch Widersprüche zur Quartärgliederung nach Tabelle 4.1 vermieden werden. Das Holstein-Interglazial wird (wie in Jerz und Linke, 1987) als eigenständige Einheit, nicht als Komplex definiert. Drei in Urban et al. (1988) beschriebene, postholsteinzeitliche Interstadiale (Mißsaeue I+II, SU A) müssen in diesem Sinne ebenfalls dem Saale-Komplex zugeschlagen werden, wie auch das vom Holstein *sensu stricto* durch das so genannte Hochkamp-Stadial getrennte Döckenhuden-Interstadial (Linke and Hallik, 1993). In den frühen Saale-Komplex sind wahrscheinlich auch die in Dänemark nachgewiesenen Vejlbjby-Interstadiale I+II (Anderson, 1965) zu stellen.

Das Saale-Glazial *sensu stricto* ist in Ostdeutschland durch drei Hauptmoränen (Saale I-III) gegliedert, wobei in Nordwestdeutschland (ohne klare Zuordnung zur ostdeutschen Gliederung) die Begriffe Drenthe und Warthe für einen älteren und einen jüngeren Eisvorstoß gebräuchlich sind. Erd (1987) postuliert die so genannte Uecker-Warmzeit von Röpersdorf zwischen älterem und mittlerem Saale-Eisvorstoß. Litt (1994) stellt jedoch fest, dass: „die zweifelsfreie stratigraphische Stellung der Uecker-Warmzeit offen bleiben muss“. Hinweise auf eine „Treene-Warmzeit“ (Picard, 1960) zwischen Drenthe und Warthe werden in Menke (1985) negiert. Die Existenz einer eigenständigen, intrasaalezeitlichen „Rügen-Warmzeit“ (Erd, 1970; Erd, 1973a) wird in Litt (1994) revidiert. In der Übergangsphase Saale/Eem wurde die mit dem Zeifen-Interstadial einsetzende Wiedererwärmung (Sánchez Goni et al., 2000) vermutlich durch die Kattegat-Kaltphase unterbrochen (Seidenkrantz, 1993).

Das Weichsel-Glazial wird gegliedert in Früh-, Pleni- und Spätglazial, wobei bisher mehrere Interstadiale nachgewiesen wurden, die jedoch im Pleniglazial nur schwach ausgebildet (baumlos) und zumindest für Moershoofd und Meiendorf noch unsicher sind. Vom ältesten zum jüngsten sind dies: Brørup/Amersfoort, Odderade, Oerel, Glinde, (Moershoofd), Hengelo, Denekamp, (Meiendorf), Bölling und Alleröd. Im Holozän wird mittlerweile, die ursprünglich vegetationsgeschichtlich aufgestellte Gliederung in Präboreal, Boreal, Atlantikum, Subboreal und Subatlantikum auch in chronostratigraphischem Sinne verwendet.

4.1.2. Grenzziehung Quartär/Tertiär

Als Tertiär/Quartär Grenze wurde beim 18. internationalen Geologenkongress 1948 beziehungsweise beim INQUA (*international union for quaternary research*) Kongress 1982 in Moskau die Basis des Calabrian definiert (Ehlers, 1994). In dessen mariner Ausprägung treten im Mittelmeerraum (Süditalien) postmesozoisch erstmals, auf eine deutliche Abkühlung hinweisende Fossilien auf (zum Beispiel die Foraminifere *Hyalinea baltica* oder die Muschel *Arctica islandica*). Diese Grenzziehung fällt etwa mit dem Ende des Olduvai-Events zusammen, welches nach Shackleton (1990) bei cirka 1,77 Ma vor Heute eingestuft wird. In der Quartärgliederung nach Tabelle 4.1 entspräche diese Grenzziehung etwa dem Übergang Tegelen/Eburon und wird auch so als Quartärgrenze in der stratigraphischen Tabelle Deutschlands (2002) verwendet.

Eine alternative Grenzziehung, etwa an der Gauß/Matuyama Wende (~ 2,6 Ma vor Heute) (Shackleton et al., 1990; Tiedemann et al., 1994), wie sie 1995 auf dem INQUA Kongress in Berlin vorgeschlagen (aber nicht durchgesetzt) wurde, beruht auf dem, erstmals in den Niederlanden dokumentierten Wechsel von einem typisch pliozänen (Florenstufe des Reuver) zu einem quartären Pollenspektrum (Zagwijn, 1957; Zagwijn, 1975). In diesem Sinne ist die kaltzeitliche Pollenvergesellschaftung des Prätegelen die erste, sich klar von den Pollenspektren plio- oder miozäner (tertiärer) Floren unterscheidende Einheit des Quartärs. Veränderungen an der Grenze Reuver/Prätegelen zeigen auch Mollusken und Sedimentführung (Schwermetallgehalt, Schotterzusammensetzung) des Niederrheins (Boenigk et al., 1974). Diese zweite Grenzziehung ist in Tabelle 4.1 übernommen.

4.1.3. Quartärgliederung nach marinen Sauerstoffisotopenstadien

Eine detailliertere und auf eine absolute Zeitskala bezogene Gliederung des Quartärs wurde erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts möglich. Mit Tiefsee- und Eisbohrkernen können heute klimatische Archive erschlossen werden, in denen große Zeitintervalle in Superposition und ohne Hiatae dokumentiert sind. Fortschritte bei den Datierungsverfahren erlauben zunehmend eine absolute Alterszuordnung. Des Weiteren liefern Isotopenchemie, Magneto- oder seismische Stratigraphie, sowie diverse petrographische Verfahren hoch auflösende Datensätze, die als Anzeiger (*proxy data*) für nicht direkt messbare Größen dienen. Diese neuen Möglichkeiten haben das Bild des quartären und präquartären Klimas stark verfeinert und erweitert.

Maßgeblich für die moderne Quartärgliederung war die Arbeit des amerikanischen Nobelpreisträgers Urey (Urey, 1947). Er hatte einen Zusammenhang zwischen Isotopenverhältnissen und deren Bildungstemperatur festgestellt. Darauf basierend wurden später Methoden entwickelt Isotopenverhältnisse als Anzeiger diverser Umweltbedingungen zu interpretieren. Insbesondere mittels den Sauerstoffisotopenverhältnissen in den Schalen benthonischer und planktonischer, mariner Foraminiferen konnten relative Temperaturkurven von Ozeanwässern, als auch relative Kurven des Eisvolumens konstruiert werden (Shackleton et al., 1990). So wird in den Kalkschalen der Foraminiferen mit sinkender Umgebungstemperatur mehr des schwereren Sauerstoffisotops ^{18}O eingebaut. Andererseits wird während einer Glazialphase ein Teil der, bevorzugt verdunstenden, leichten (das Sauerstoffisotop ^{16}O beinhaltenden) Wassermoleküle im Eis gebunden und das Meerwasser so mit H_2O -Molekülen, welche das schwerere ^{18}O -Isotop beinhalten, angereichert. Sinkende Wassertemperaturen und/oder wachsendes Eisvolumen gehen also mit höheren ^{18}O Konzentrationen in den Foraminiferenschalen einher. Bei benthonischen Tiefsee-foraminiferen, für die ein weitestgehend temperaturkonstantes Milieu angenommen werden kann, wird das Sauerstoffisotopenverhältnis ihrer Gehäuse hauptsächlich vom globalen Eisvolumen gesteuert, während bei den planktonischen Formen die Temperatur des Meeresoberflächenwassers (*sea surface temperature*: SST) mehr zum Tragen kommt.

Für Kalzit- (Foraminiferen, Molusken) und Aragonitbildner (Korallen) wurden, basierend auf Arbeiten von Epstein et al. (1951) sowie Epstein und Mayeda (1953), verschiedene Gleichungen erarbeitet, welche es erlauben aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Organismengehäuse und den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des sie (zu Lebzeiten) umgebenden Wassers auf die Wassertemperatur zu schließen. In Wright (2000) ist ein kurzes Resümee der Sauerstoffisotopenmethode gegeben.

Anhand der marinen Sauerstoffisotopenkurven wurde eine Gliederung des Quartärs in marine Isotopenstadien (MIS: *marine isotope stages*) möglich (erstmalig Emiliani, 1955, später Shackleton und Opdyke, 1973, oder Ruddiman, 1986). Dabei werden erhöhte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit sinkenden SST, und daran gekoppelt mit sinkenden atmosphärischen Temperaturen, beziehungsweise wachsendem globalem Eisvolumen gleichgestellt. Die Sauerstoffisotopenstratigraphie reicht momentan etwa 5 Millionen Jahre, bis an die Basis des Pliozän zurück (Shackleton, 1994, Tiedemann 1994).

Konventionell werden die MIS mit ungeraden Zahlen für Warm- und mit geraden Zahlen für Kaltphasen beziffert. Aus den so interpretierten Sauerstoffisotopenkurvenverläufen resultieren weit mehr Klimaschwankungen als die von der terrestrischen Quartärgliederung erfassten, was zwangsläufig zu Problemen bei der Korrelation mariner und terrestrischer Zyklen führt. Zudem verlaufen Temperatur-, Eisvolumen- und Vegetationsschwankungen im überregionalen, aber auch im regionalen Maßstab nicht, beziehungsweise nicht notwendiger Weise synchron (Sánchez Goñi et al., 2002).

Die gewonnenen Sauerstoffisotopenkurven werden teils mit absoluten Datierungen, teils stratigraphisch (magnetostratigraphisch anhand der Sedimentpolarisierung, biostratigraphisch, zum Beispiel anhand dem Ein- oder Aussetzen bestimmter Foraminiferen- oder Coccolithophoridenarten) und teils mittels Anpassung (*tuning*) an gegebene Referenzkurven kalibriert. Hierbei werden insbesondere auch astronomische Daten, wie in die Vergangenheit zurückgerechnete Werte für Erdbahnparameter und Sonneneinstrahlung (Insolation) verwendet (erstmalig Hays et al., 1976).

Aus diversen, marinen Bohrlokalitäten resümierte so die SPECMAP (*spectral mapping of climate parameters*) Sauerstoffisotopenkurve (SPECMAP-*stack*) (Imbrie et al., 1984). Neben der marinen Zeitskala haben sich für das Quartär vor allem, direkt aus dem Eis arktischer und antarktischer Bohrkerne gewonnene Isotopenverhältniskurven (neben $\delta^{18}\text{O}$ zum Beispiel auch δD : Deuterium) oder aus im Eis eingeschlossenen Luftbläschen gewonnene Gaskonzentrationskurven (CO_2 , CH_4 etc.), beziehungsweise Isotopenverhältniskurven aus eben jenen Gasen (wiederum zum Beispiel $\delta^{18}\text{O}$) als Referenzkurven etabliert. Die Eiskerndaten können teils anhand von vorhandenen vulkanischen Tephren stratigraphisch eingehängt werden, teilweise weisen die Eisbohrkerne auch zählbare Jahreslagen auf. Ansonsten werden die Kurven auf marine Referenzkurven beziehungsweise „astronomisch“ oder untereinander getunt. Hier sind vor allem die grönländischen Bohrprojekte GISP (*Greenland ice sheet project*) (Dansgaard et al., 1993), GRIP (*Greenland ice-core project*) (GRIP, 1993) und NGRIP (*North Greenland ice-core project*) (NGRIP, 2004) sowie die südpolaren Bohrlokalitäten Vostok (Petit et al., 1999) und EPICA Dome C (EPICA, 2004) (EPICA: *European project for ice coring in Antarctica*) zu nennen.

Abbildung 4.1 vergleicht die Sauerstoffisotopenkurve der benthonischen Foraminifere *Cibicidoides wuellerstorfi* aus der ODP (*ocean drilling program*) Bohrung 659 (Tiedemann et al., 1994) vor der Atlantikküste Mauretaniens (18°05' N, 21°02' W, 3070 m Wassertiefe) mit dem SPECMAP-*stack* und der grönländischen $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve der NGRIP Bohrung. Den marinen Sauerstoffisotopenstadien (Nomenklatur nach Tiedemann et al., 1994) sind magnetostratigraphische Chronen (Cande and Kent, 1992; Cande and Kent, 1995; Channell, 2006; Langereis et al., 1997) (grau: normal magnetisiert, weiß: revers magnetisiert) und die (überwiegend unsicher zuzuordnenden) Einheiten der Quartärgliederung nach Tabelle 4.1 gegenüber gestellt. Die grönländische Isotopenkurve ist außerdem durch die Erwärmungsphasen der Dansgaard/Oeschger (D/O) Zyklen (Dansgaard et al., 1993), beziehungsweise den dazwischen liegenden *cold-events* (C19-C25 in Abbildung 4.1) gegliedert. Zudem sind die, als Heinrich-*events* (H1-H6) (Heinrich, 1988) betitelten IRD-Lagen (*ice rafted debris*), (Lagen eisverfrachteten klastischen Materials in den Tiefseekernen des Nordatlantik) ausgehalten (nicht alle IRD-Lagen sind Heinrich-*events*).

Bei der knapp 125000 Jahre zurückreichenden NGRIP $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve wurde (bis auf MIS 5e) auf eine Zuweisung der marinen Isotopenstadien verzichtet, da sie in der Literatur uneinheitlich vorgenommen wird. Die Grenzen MIS 4/5 und MIS 3/4 werden überwiegend bei DO20 beziehungsweise H6 festgemacht. Die Grenzziehung MIS 2/3 schwankt je nach Autor zwischen DO2 und DO5, diejenige für MIS 1/2, wird teils mit DO1 parallelisiert, teils mit dem Ende der jüngeren Dryas (YD: *younger dryas*). Die, gegenüber den bisher paläontologisch belegten Weichselinterstadialen zahlreicheren, Dansgaard/Oeschger Ereignisse stellen zudem prinzipiell die Vollständigkeit der terrestrischen Jungpleistozängliederung in Frage. Neben der momentan rein spekulativen Korrelation der Interstadiale des Weichsel-Pleniglazials mit den marinen Isotopenstadien ergibt sich insbesondere auch das Problem der Zuordnung der MIS 5a-d im Weichselfrühglazial (gewöhnlich werden MIS 5a-d mit Odderade, Rederstall, Brørup/Amersfoort und Herning gleichgestellt) zu den DO(20)21-25.

Das Bavel-Interglazial (Bavel *sensu stricto*) fällt in die Periode des normalmagnetischen Jaramillo-*events*, das Leerdam-Interglazial innerhalb des Bavel-Komplexes ist wieder revers magnetisiert. Da das Cromer-Interglazial I (Waardenburg) revers, Cromer-Interglazial II (Westerhoven) aber normal magnetisiert ist, muss die Matuyama/Brunhes Grenze (Alt-/Mittelpleistozän Grenze) zwischen beiden Warmzeiten liegen, also im Cromer Glazial A. Waardenburg wird daher mit MIS 21,

Westerhoven mit MIS 19 oder 17 korreliert. Die Korrelation mit den marinen Isotopenstadien legt nahe, dass zwischen Bavel *sensu stricto* und Cromer noch mehr als die bisher identifizierten Warm- und Kaltzeiten Linge, Leerdem und Dorst liegen und dass auch die terrestrische Gliederung des Cromer-Komplexes selbst, wie auch die terrestrische präbavelzeitliche Gliederung wahrscheinlich lückenhaft ist.

Bei der Bezifferung der Sauerstoffisotopenstadien wird MIS 19 mit der Brunhes/Matuyama-Umkehr, MIS 27-31 mit dem Jaramillo-*event*, MIS 63-71 mit dem Olduvai-*event* und MIS 104 mit der Matuyama/Gauss-Grenze korreliert (Shackleton et al., 1990). Diese „Fixpunkte“ erleichtern einerseits den Vergleich zwischen Datensätzen, haben andererseits aber den Nachteil, dass die Nomenklatur der Isotopenstratigraphie nur kompliziert um neue Stadien korrigiert (erweitert) werden kann.

In Abbildung 4.1 ist der SPECMAP-Kurve nach Imbrie et al. (1984) die (zum besseren Vergleich um circa +2 ‰ versetzte) Sauerstoffisotopenkurve des (10 Jahre aktuelleren) ODP-Kerns 659 (Tiedemann et al., 1994) im Zeitfenster 0-800 ka gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, dass die Zeitskalen beider Kurven größer MIS 15 nicht mehr in Phase sind und dass bei Durchnummerierung der „SPECMAP-Isotopenstadien“ der Übergang Brunhes/Matuyama auf das „SPECMAP-Isotopenstadium“ 21 fiel. Die SPECMAP-Zeitskala ist in diesem Bereich offensichtlich überholt. Die Problematik der absoluten Alterszuordnung bleibt auch bei der Quartärgliederung nach Isotopenstadien bestehen. Andererseits kann es im Bereich des MIS 18 (und anderer MIS) generell zu Korrelationsschwierigkeiten kommen, da die Bezifferung der marinen Isotopenstadien nicht immer unproblematisch ist. In der $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve des Kern ODP 659, aber auch bei anderen marinen Bohrkernen (zum Beispiel bei dem Nordatlantikkern DSDP 607, DSDP: *deep sea drilling project*, Ruddiman et al., 1986, Raymo et al., 1989, oder bei dem Ostpazifikkern ODP 677, Shackleton et al. 1990) zeigt zum Beispiel MIS 18 jeweils einen zwischenzeitlichen, deutlichen Ausschlag zu positiveren Sauerstoffisotopenverhältnissen, der jedoch ohne entsprechende, ungerade Nummerierung geblieben ist. Hier wäre gegebenenfalls entsprechend den MIS 5, 7, 9 oder 11 mit Buchstaben weiter zu untergliedern. Abbildung 4.1 verdeutlicht zudem die, mit wachsendem Betrachtungsmaßstab, zunehmende Komplexität der Quartärgliederung. Die strittige paläomagnetische Feldumkehr des Mono Lake* ist in Abbildung 4.1 nicht übernommen.

* Nach Zimmerman et al. (2006) beruht die paläomagnetische Mono Lake *excursion* auf fehlerhaften Datierungen, ist also als solche nicht existent und tatsächlich dem Laschamp-*event* gleichzustellen.

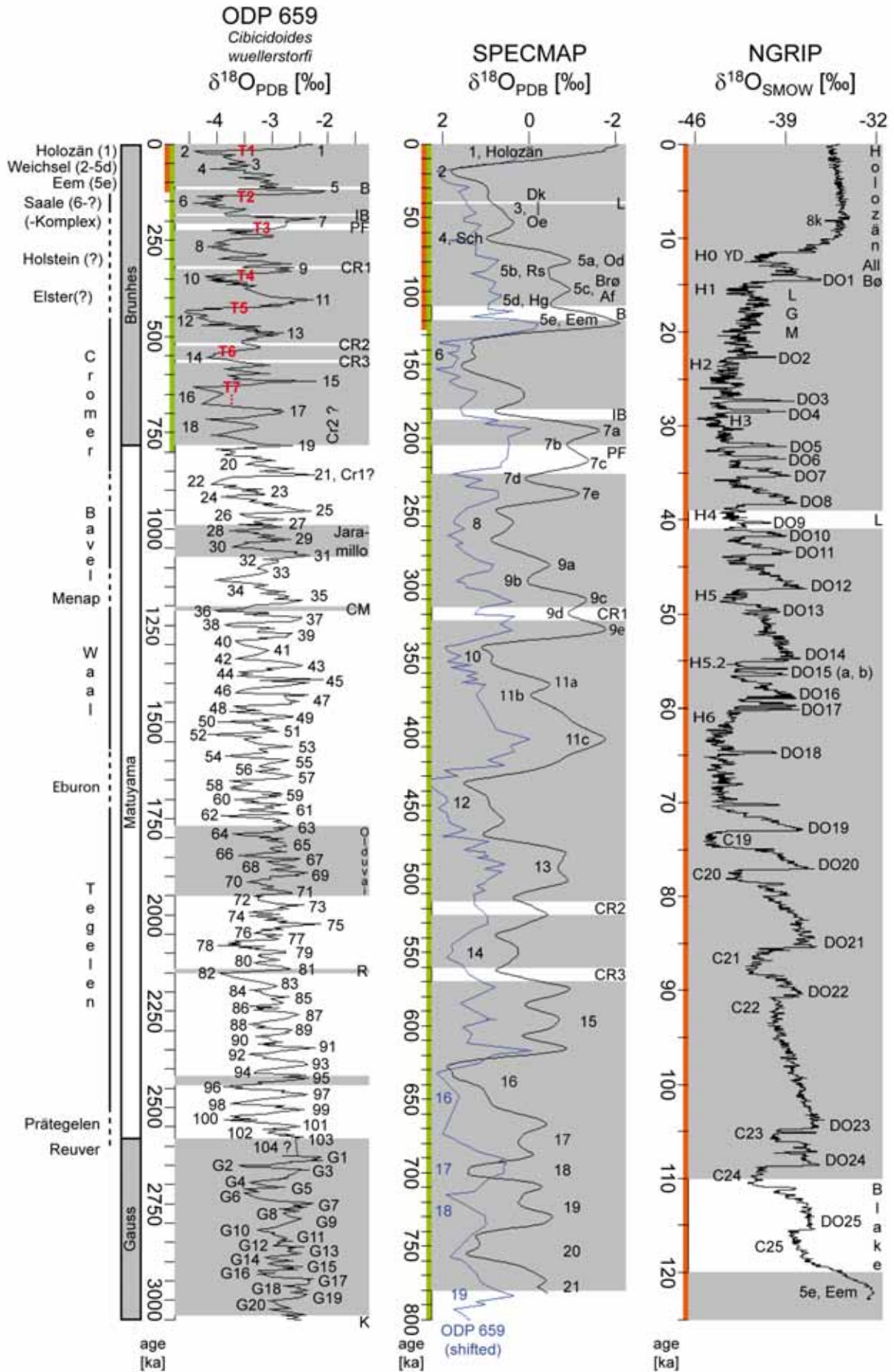


Abb. 4.1: Sauerstoffisotopengliederung des Quartärs in verschiedener zeitlicher Auflösung: Atlantikbohrkern ODP 659, SPECMAP-stack, NGRIP-Eiskern.

L: Laschamp, B: Blake, IB: Island Basin, PF: Pringle Falls, CR 1-3: Calabrian Ridge 1-3, CM: Cobb Mountain, R: Reunion, K: Kaena; YD: *Younger Dryas*, All: Allerød, Bø: Bølling, Dk...Oe: Denekamp - Hengelo - Moershoofd - Glinde - Oerel, Sch: Schalkholz, Od: Odderade, Rs: Rederstall, Hg: Herning, Brø: Brørup, Af: Amersfoort; 8k: 8,2 ka *event*, DO: Dansgaard/Oeschger, H: Heinrich; Cr1-2: Cromer 1-2, G1-20: Gauss 1-20, T: *termination*, LGM: *last glacial maximum*.

Die angesprochenen astronomischen Periodizitäten (Milankovic-Zyklen) (Milankovic, 1920; Milankovic, 1998) finden sich in vielen klimarelevanten Datensätzen (wie den Sauerstoffisotopenverhältnissen) wieder. Diese zu beobachtende Einflussnahme astronomischer Parameter auf das Erdklima wird als *astronomical - oder orbital forcing* beschrieben. In den Sauerstoffisotopenkurven des marinen Planktons (und Benthos) der höheren Breiten dominiert in der magnetostratigraphischen Brunhes Epoche ein um 100 ka zentrierter Rhythmus (daneben existiert eine etwa 41 ka Periode), während zuvor, bis etwa 2,8 Ma (in der magnetostratigraphischen Matuyama Epoche) der 41 ka Zyklus vorherrschte (Abb. 4.1). Die genannten Perioden entsprechen den höherfrequenten Anteilen der Exzentrizitätsschwankung des Erdbits (welche Perioden von cirka 95 ka, 125 ka und 400 ka aufweist), beziehungsweise den Schwankungen des Erdachsenneigungswinkels (Obliquität, Ekliptikschiefe) (41 ka). Im Pliozän dominiert die 18-19 ka Periodizität der Erdbahnpräzession und die etwa 23 ka Zyklizität der Erdachsenpräzession (letztere wird auch als Präzession der Äquinoktien, Präzession der Tag- und Nachtgleichen oder Präzession des Perihelumlaufts genannt) (Tiedemann et al., 1994). Im Gegensatz zu den Sauerstoffisotopenkurven werden die (hier nicht wiedergegebenen) Insolationskurven (Berger, 1978) der höheren Breiten im gesamten Quartär von den Perioden der Präzessionen und der Obliquität beherrscht (18-19 ka, 23 ka, 41 ka). Die in diesen Breiten im Holozän und Spätpleistozän dominante, etwa hunderttausend-jährige Klimazyklizität lässt sich daher nicht linear auf die Insolation zurückführen, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die Sonneneinstrahlung nicht alleiniger Klimamotor ist. Neben den sich ändernden Periodizitäten belegen die marinen Sauerstoffisotopenkurven, anhand der sich im Laufe des Quartärs vergrößernden Amplitudendifferenzen, eine anwachsende Extremität der Klimaschwankungen, mit einer Tendenz zu zunehmend kälteren Perioden zwischen den Warmphasen (zunehmend negativere Minima zwischen den Maxima) (Abb. 4.1).

4.2. Die Holstein-Warmzeit

Der Bezeichnung Holstein wurde erstmals von Geikie (1894) für interglaziale marine Sedimente („*Holsteinian beds*“) verwendet. Grahle (1936) benutzte den Begriff Holstein für präeemzeitliche, marine Ablagerungen („Marines Interglazial I, Altinterglazial“), angelehnt an die „Holstein-See“ in Penck (1922).

Das Holstein-Interglazial (*sensu stricto*) wurde 1987 von der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie (SEQS) anhand verschiedener, deutscher (Pollen-) Profile definiert (Jerz and Linke, 1987). Als Untergrenze des Interglazials wurde der Übergang von subarktischen (Tundra) zu borealen (Taiga) Verhältnissen im marinen Milieu der Bohrung qho5 im Eggstedter Holz in Schleswig Holstein (Hinsch, 1993; Linke, 1993), im limnischen Milieu der Bohrung qho4 bei Hamburg-Dockenhuden (Linke, 1983; Linke, 1993; Linke and Hallik, 1993), in der Forschungsbohrung 1/85 bei Bossel westlich Hamburg (Müller and Höfle, 1994), sowie in der Kartierbohrung 1E bei Pritzwalk in Brandenburg (bei 117,35 m Teufe) (Erd, 1970; Erd, 1973a) festgelegt. Als Obergrenze des Holstein-Interglazials wurde der Übergang von borealen zu subarktischen Verhältnissen in der Kernbohrung 416/71 Munster/Breloh in Niedersachsen (Müller, 1974) und in der schon für die Bestimmung der Untergrenze herangezogenen Kartierbohrung 1E bei Pritzwalk (bei 96,3 m Teufe) festgelegt. Das Unterelbegebiet wurde zur Typusregion des Holsteins bestimmt.

Im Folgenden wird der Begriff Holstein als Synonym für eine wiederholt in Norddeutschland aufgefundene, interglaziale Pollensukzession, unsicherer stratigraphischer Stellung und strittigen absoluten Alters verwendet. Sie lässt sich jedoch palynologisch eindeutig von holozänen und eemzeitlichen, sowie von ältest- und prä-quartären Pollenspektren differenzieren.

Die früher im deutschsprachigen Raum verwendeten Bezeichnungen Stör-, Ohe- oder Muldsberg-Warmzeit bezeichnen nach heutigem Erkenntnisstand das gleiche Interglazial und sind dem, mittlerweile, auch international, gebräuchlichen Begriff Holstein (*Holsteinian*) äquivalent.

*Die in diesem Kapitel (4.2.) vorgestellte Zusammenfassung zum Holstein ist in ihren Schwerpunkten in Diehl und Sirocko (2007) publiziert.

4.2.1. Palynologische Holstein-Gliederung im deutschsprachigen Raum

Pollenanalytisch ausgewertete Profile werden in lokale Pollen-, oder allgemeiner in lokale Pollenvergesellschaftungsbereiche (LPAZ: *local pollen assemblage zone*) gegliedert (→ 5.1.2). Dies geschieht gewöhnlich anhand des prozentualen Pollendiagramms (→ 5.1.2). Für das festländische, nördliche Mitteleuropa liegen mehrere solcher Klassifikationen für unterschiedliche Lokalitäten vor, die sich jedoch in Anzahl und Grenzziehung der definierten LPAZ unterscheiden.

So wurde von Szafer (1953) für das polnische Holstein eine Gliederung in drei PAZ vorgeschlagen. Selle (1954, 1955) stellte für das Interglazial von Ober-Ohe in der Lüneburger Heide sechs LPAZ auf. Linke und Hallik (1993) definieren für das Holstein Interglazial *sensu stricto* anhand der Profile Hamburg-Dockenhuden, Wedel und Hamburg-Billbrook fünf (mit Feingliederung acht) LPAZ. In Ihrer Gliederung folgt auf das Holstein das so bezeichnete Hochkamp-Stadial, gefolgt vom Dockenhuden-Interstadial und vom Saale-Frühglazial. Aus diversen Profilen auf dem Gebiet der neuen Bundesländer wurde für die holsteinzeitliche Florenzentwicklung eine Untergliederung in sieben bis acht Hauptpollenzonen für das Holstein erarbeitet (Erd, 1969; Erd, 1987; Erd and Müller, 1977). Außerdem wurde eine dem Holstein folgende Kaltzeit (Fuhne) (Cepek and Erd, 1975), sowie die so genannte Dömnitz-Warmzeit (Fuhne/Saale 1) beschrieben (Erd, 1973b). Die komplexeste Gliederung wurde von Müller anhand der Pollenprofile aus den Kieselgurlagerstätten bei Munster/Breloh (Müller, 1974) und Hetendorf/Bonstorf (Meyer, 1974) in der Lüneburger Heide aufgestellt. Sie umfasst vierzehn, in sich teils weiter aufgliederte, Hauptpollenzonen für die Holstein-Warmzeit *sensu stricto* und weitere vier Pollenzonen (mit einer weiteren Subzonierung fünf) für zwei auf die interglaziale Pollenvergesellschaftung folgende, so genannte Nachschwankungen.

Die von Erd und Müller aufgestellten Gliederungen (für das Holstein *sensu stricto*) konnten in der Folgezeit von verschiedenen Autoren auf andere, dem Holstein zugeschriebene, Pollenabfolgen im norddeutschen Raum übertragen werden, wie etwa auf die Profile von Bossel (Müller and Höfle, 1994) oder Hamburg Hummelsbüttel (Averdieck, 1992) und haben sich daher durchgesetzt. Beide Klassifikationen zeigen eine, für das nördliche Deutschland, in Grundzügen gleiche (wenn auch in den zu Grunde liegenden Profilen in ihren Prozentwerten differierende) Abfolge von Pollengemeinschaften. Diese zeichnen sich aus durch ein

frühes, von *Picea** begleitetes, Auftreten einer von *Quercus*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia* und *Acer* gebildeten Eichenmischwaldphase und einer folgenden Periode mit hohem *Taxus* Anteil. Danach etabliert sich, bei sinkenden prozentualen Anteilen von *Picea* und *Taxus*, eine Vergesellschaftung von insbesondere *Carpinus* und *Abies*, die von *Buxus*, *Pterocarya*, *Fagus* und *Celtis* begleitet wird. Als Charakteristikum der holsteinzeitlichen Flora gilt außerdem das lokale Auftreten des Algenfarns *Azolla*.

Im Folgenden werden die, von Erd und Müller aufgestellten, palynologischen Gliederungen des Holsteins resümiert.

*Für sämtliche im Folgenden verwendeten botanischen Pflanzennamen sind in Tabelle 10.1 im Anhang deren deutsche Namen aufgeführt.

4.2.1.1. Palynologische Gliederung des Holstein nach Erd

Die Klassifikation von Erd beruht ursprünglich auf den Profilen Granzin (Erd, 1969) und Pritzwalk/Prignitz (Erd, 1970; Erd, 1973a; Erd, 1973b), in welchen das Holstein in sieben LPAZ unterteilt und eine nachfolgende, nach dem Flüsschen Fuhne benannte, Kaltphase ausgewiesen wurde (Abb. 4.2).

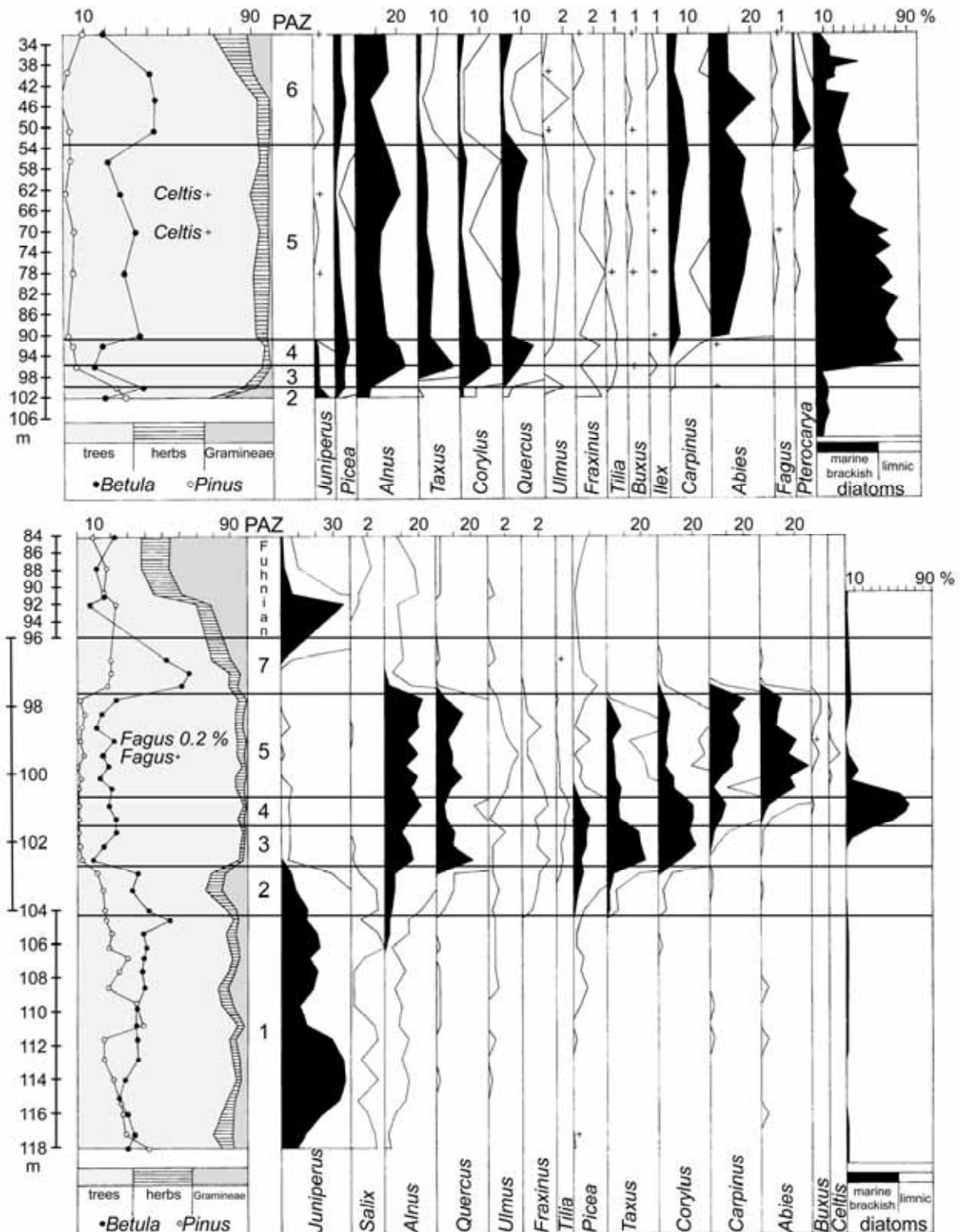


Abb. 4.2: Gegenüberstellung der (Baum)Pollenprofile Granzin (oben) und Pritzwalk/Prignitz (unten). Neben den Pollenprozentwerten, wird auch das Verhältnis von marinen beziehungsweise brackischen und limnischen Diatomeenarten dargestellt. (PAZ: *pollen assemblage zone*) (Man beachte die extrem unterschiedlichen PAZ-Mächtigkeiten, insbesondere PAZ 5)

Im Profil Pritzwalk/Prignitz ist der obere Abschnitt, der in Granzin gänzlich fehlenden Pollenzone 7 erhalten. Im Profil Pritzwalk/Prignitz fehlt Pollenzone 6. Anhand des Profils Wuthenow/Strausberg (Cepek and Erd, 1975) (→ Abb. 10.1), wurden später die Pollenzonen 5, 6 und 7 in jeweils zwei Unterzonen weiter aufgegliedert. Die Aufspaltung von (L)PAZ 5 beruhte im Wesentlichen in der dokumentierten Transgression des Holstein-Meeres (Diatomeen etc.) als auf palynologischen Gründen. In Pollenzone 6a erreicht *Pterocarya* seine maximalen Werte. Pollenzone 6b gehört noch dem klimatischen Optimum an, während Pollenzone 7a eine Übergangszeit zu den borealen Bedingungen der Zone 7b darstellt. Nach einem Hiatus zwischen LPAZ 7b folgten dann Ablagerungen einer Kaltphase, die als Fuhne-Kaltzeit beschrieben wurde. Schließlich wurde auf Grund von Befunden aus dem Profil Rossendorf (Erd, 1987) (→ Abb. 10.2) eine weitere, achte Pollenzone, temperierten bis interglazialen Charakters, zwischen die subboreale bis boreale Pollenzone 7 und die nachfolgende Fuhne-Kaltzeit eingefügt. Die so resultierende Gliederung ist in Tabelle 4.2 zusammengestellt.

Tab. 4.2: Palynologische Gliederung des Holstein nach Erd (1987). (LPAZ: *local pollen assemblage zones*). Weitere von Erd bearbeitete und entsprechend der Nomenklatur nach Tabelle 4.2 gegliederte Profile sind unter anderem Prellheide und Wildschütz (Erd and Müller, 1977) (→ Abb. 10.3, Abb. 10.4)

(L)PAZ		palynologische (Haupt-)Charakteristiken	
Fuhne			
H O L S T E I N	8	'Wiedererwärmungsphase' ähnlich Pollenzone 6, aber mit erhöhten Prozentwerten von Poaceae und andern Kräutern, <i>Calluna</i> , Polypodiaceae und <i>Sphagnum</i> , Anwesenheit von <i>Hippophaë</i>	
	7 a, b	subboreal bis boreale Phase mit ansteigenden Prozentwerten von Kräutern, Anwesenheit von <i>Larix</i>	
	6 a, b	<i>Abies</i> , <i>Carpinus</i> Dominanz, vergesellschaftet mit <i>Buxus</i> , geringste Prozentwerte von <i>Picea</i> im Interglazial, Erscheinen von <i>Fagus</i>	Erscheinen von <i>Pterocarya</i>
	5 a, b		Erscheinen von <i>Celtis</i> , Hauptaufkommen von <i>Buxus</i> und <i>Vitis</i>
	4	<i>Picea-Taxus-Corylus</i> Zone, teilweise Verdrängung von <i>Taxus</i> und <i>Picea</i> durch <i>Carpinus</i> und später <i>Abies</i> , Hauptaufkommen von <i>Tilia</i> , erstes Erscheinen von <i>Buxus</i> und <i>Vitis</i>	
	3	hohe Prozentwerte von <i>Quercus</i> , <i>Taxus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Picea</i> , Erscheinen von <i>Carpinus</i> , häufigeres Auftreten von <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Acer</i> , <i>Ilex</i>	
	2	Übergangsperiode	
	1	<i>Betula-Pinus</i> Zeit mit <i>Salix</i> , <i>Juniperus</i> und Kräutern	

Die von Erd postulierte Pollenzone 8 konnte bisher mit keiner anderen Lokalität korreliert werden. Sie könnte, aufgrund der etwa spiegelbildlichen Wiederholung von Pollenzone 6, auf Umlagerungen beruhen (freundliche Mitteilung Prof. Dr. T. Litt), was jedoch in der Originalpublikation (Erd, 1987) als unwahrscheinlich erachtet wurde.

4.2.1.2. Palynologische Gliederung des Holstein nach Müller

Die Klassifikation von Müller basiert auf der Kombination der Ergebnisse aus insgesamt fünf Kernbohrungen, vier Aufschlußprofilen und einer Peilstangenbohrung (Meyer, 1974; Müller, 1974). Seine Gliederung umfasst vierzehn, mit Untergliederungen achtzehn, lokale Pollenzonen, wobei er für die Definition der fünf ersten Pollenzonen die Arbeit von Meyer (1974) heranzieht. Abbildung 4.3 zeigt das, aus den Ergebnissen der verschiedenen Pollenprofile von Müller zusammengestellte schematisierte Pollenprofil des Holsteins, samt den ausgewiesenen Pollenzonen.

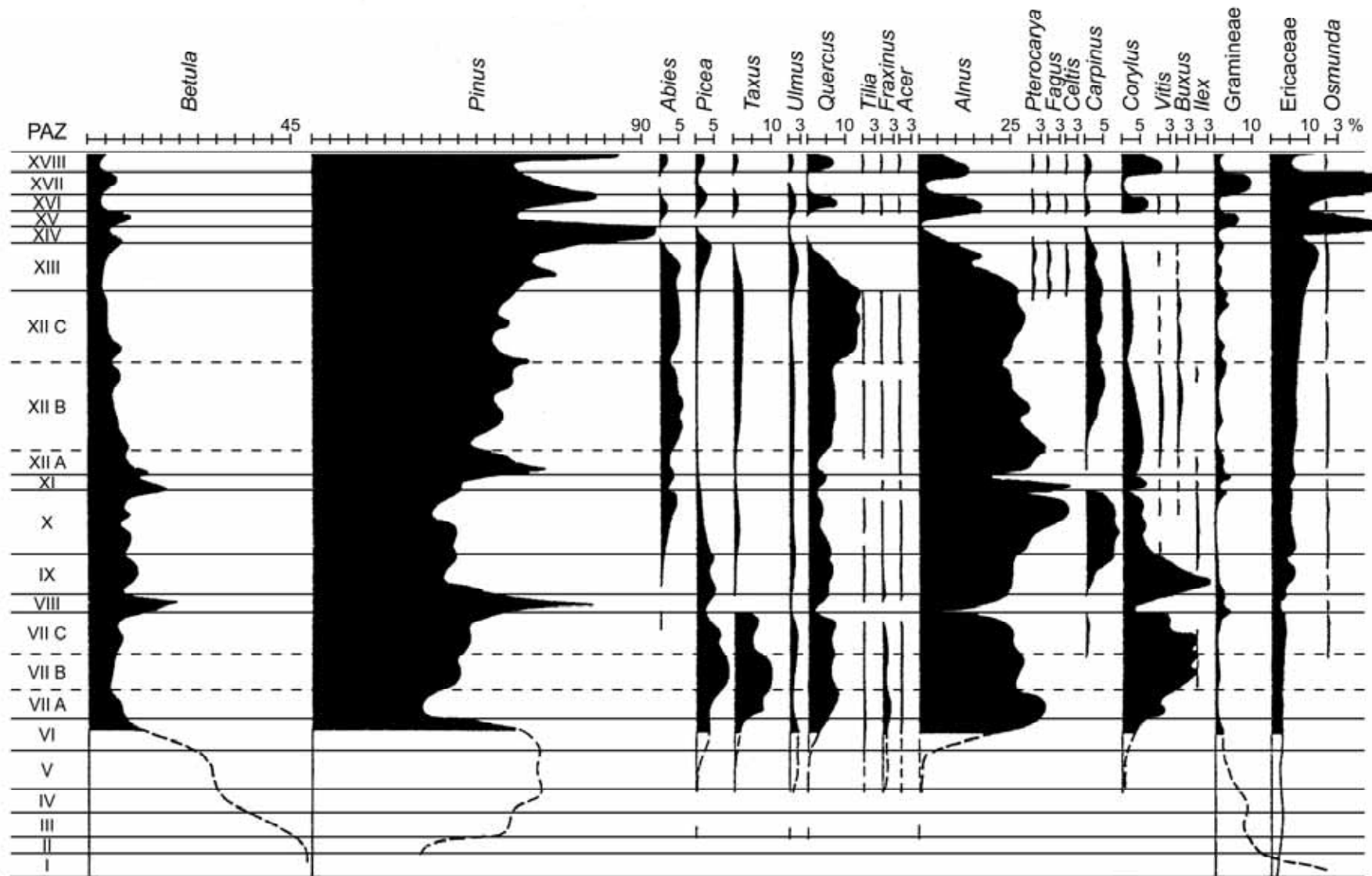


Abb. 4.3: Schematisierter Pollenkurvenverlauf im Holstein-Interglazial (PAZ I-XIV) und während zweier postulierter „Nachschwankungen“ (PAZ XVI, XVIII) in der Lüneburger Heide. Kurven in % terrestrischer Pollen. (PAZ: *pollen assemblage zone*)

In den von Müller herangezogenen Pollenprofilen aus der Lüneburger Heide stechen insbesondere zwei Pollenvergesellschaftungsbereiche hervor, die in der Gliederung nach Erd nicht auftauchen. Es sind dies die, von Müller als älterer und jüngerer Birken-Kiefern-Vorstoß (BKV) titulierte, Pollenzonen VIII beziehungsweise XI (inklusive XIIa). Der ältere BKV markiert das Ende der *Taxus*-Phase und den Beginn der *Carpinus-Abies* Periode. Der BKV wird von erhöhten Prozentwerten bei Poaceae, sowie von, im schematischen Pollenprofil von Munster/Breloh, teils katastrophal anmutenden (prozentualen) Rückschlägen bei allen anderen erfassten Gehölzen begleitet. Der zweite, jüngere BKV zeichnet sich im Wesentlichen durch einen zwischenzeitlichen Rückgang bei *Carpinus* aus und ist von starken Schwankungen bei den Prozentanteilen von insbesondere *Alnus* und *Corylus* begleitet.

Müller (1974) interpretiert beide BKV als „extreme, die Warmzeit kurzfristig unterbrechende Klimarückschläge, nach denen sich *Pinus* und *Betula* früher als die anderen Gehölze erholen“. Cepek und Erd (1975) vertreten eine kontroverse Meinung und schreiben: „Unseres Erachtens sind die von Müller als Kühlphasen interpretierten Abschnitte im Holstein-Interglazial von Munster auf kurzzeitige lokale Vegetationsänderungen zurückzuführen, die nicht durch einen Klimawandel bedingt sind“. Auch in Grüger et al. (1994), wo im Profil Göttingen/Akazienweg (→ Abb. 10.5) die Zeit des 1. BKV nach Müller (1974) erfasst ist heißt es: „Der Rückgang von Fichte und Eibe (Abschnitt VIII) kann nach den paläomalakologischen Analysen hier jedoch nicht auf einen Klimarückschlag zurückgeführt werden“, beziehungsweise: „ ... höhere Kiefern und Birkenwerte, die jedoch nicht ohne weiteres mit einer tiefgreifenden Klimaverschlechterung erklärt werden können“.

Tabelle 4.3 fasst die palynologischen Hauptcharakteristika der Gliederung von Müller stichpunktartig zusammen.

Tab. 4.3: Palynologische Gliederung des Holstein nach Müller (1974). (LPAZ: *local pollen assemblage zones*) (↑: steigende -, ↓: sinkende -, >: höhere -, <: geringere -, ≈ : ähnliche Prozentwerte). Unterstrichen sind die Benennungen nach Müller (1974).

(L)PAZ	palynologische (Haupt-)Charakteristiken		
XVIII		<u>Zweite Nachschwankung</u>	
XVII	b	<u>Zweite Heidephase</u>	
	a	Ericales ↑, <i>Sphagnum</i> ↑	
XVI		<u>Erste Nachschwankung (Betula-Alnus-Quercus-Pinus Phase)</u>	
XV		<u>Erste Heide-Phase</u>	
		Ericales ↑, <i>Sphagnum</i> ↑	
H O L S T E I N	XIV	<u>Pinus Zeit</u> <i>Pinus, Betula, Picea, Alnus, Ericales</i>	
	XIII	<u>Zeit des Quercus-Alnus Rückganges (Pterocarya Zeit)</u> Anwesenheit von <i>Fagus</i> und <i>Celtis</i>	
	XII	c	höchste <i>Quercus</i> Prozentwerte im Profil
		b	<u>Quercus-Abies- (Pinus-Alnus) Zeit</u> <i>Carpinus</i> ↑, <i>Buxus</i> ↑, <i>Vitis</i> ↑
		a	
	XI	----- <u>jüngerer Betula-Pinus Vorstoß</u> <i>Alnus</i> ↓, Rückschlag bei <i>Carpinus</i>	
	X	<u>Carpinus-(Alnus-Pinus) Zeit</u> <i>Pinus, Alnus, Carpinus</i> ≈ <i>Betula, Abies</i>	
	IX	<u>Corylus-Picea-(Alnus-Pinus) Zeit</u> <i>Pinus, Alnus, Corylus, Quercus, Carpinus</i> ↑, <i>Abies</i> ↑	
	VIII		<u>älterer Betula-Pinus Vorstoß</u> <i>Corylus</i> ↓, <i>Quercus</i> ↓, <i>Alnus</i> ↓, Ende der <i>Taxus</i> Phase
		c	<u>Taxus-Corylus-</u> <i>Abies, Carpinus, Osmunda</i> erscheinen
		b	<u>Picea-(Pinus-</u> <i>Pinus</i> < <i>Alnus, Picea</i> < <i>Quercus, Corylus, Taxus</i>
		a	<u>Alnus) Zeit</u> <i>Pinus</i> > <i>Alnus, Picea</i> > <i>Quercus, Corylus, Taxus</i>
	VI	<u>Picea-Alnus-(Pinus-Betula) Zeit</u> <i>Alnus</i> ↑, <i>Picea, Pinus, Betula</i>	
	V	<u>Ulmus-Pinus-Betula Zeit</u> Repräsentanten des Eichenmischwaldes (<i>Quercus, Ulmus, Tilia, Fraxinus, Acer</i>) erscheinen	
IV	<u>Pinus-Betula Zeit</u> <i>Pinus</i> > <i>Betula</i>		
III	<u>Betula-Pinus Zeit</u> <i>Betula</i> ≈ <i>Pinus</i>		
II	<u>Betula Zeit</u> <i>Betula</i> > <i>Pinus</i>		
I	<u>Wiederbewaldungsphase</u> <i>Hippophaë, Juniperus, Artemisia, Helianthemum, Thalictrum,</i> Tertiär-Sporomorphen		

Ein Äquivalent zu Müllers 1. BKV wurde auch im Pollenprofil der nahe gelegenen Kieselgurlagerstätte (Neu)(Ober)-Ohe gefunden (Gistl, 1928; Selle, 1954; Selle, 1955) (→ Abb. 10.6). Erhöhte Prozentwerte von Birke und Kiefer im entsprechenden palynostratigraphischen Abschnitt wurden außerdem im Pollenprofil Klieken (→ Abb. 10.7) von Neumann (2000) und im Profil Göttingen/Akazienweg (→ Abb. 10.5) (Grüger et al., 1994) gefunden. Erhöhte *Pinus*-Prozentwerte finden sich im Profil Rossendorf (→ Abb. 10.2) (Erd, 1987), sowie, wenn auch weniger deutlich in den Pollenspektrum von Prellheide (→ Abb. 10.3) und Delitzsch-Wölkau (→ Abb. 10.8)

(Dassow, 1987). Im Profil Schmerz-Gröbern (→ Abb. 10.9) (Eissmann et al., 1995; Kühl and Litt, 2007) ist dagegen kein Äquivalent zu Müllers 1. BKV erkennbar. Müllers 2. BKV konnte bisher eindeutig nur mit dem Profil von Neu-Ohe (Gistl, 1928) korreliert werden, jedoch ist auch in Gröbern ein Anstieg der Kiefernprozentwerte (und weniger ausgeprägt auch der Birkenprozentwerte) im entsprechenden Profilabschnitt erkennbar. Des Weiteren fallen in Rossendorf und Gröbern, etwa in den Profilmitten, zeitweilige, prozentuale Anstiege von *Betula* oder *Pinus* (oder sogar *Larix*) auf, die vom prozentualen Rückgang klimatisch anspruchsvollerer Arten begleitet werden.

4.2.1.3. Korrelation der Holstein-Gliederungen nach Erd und Müller

In Tabelle 4.4 ist der Versuch unternommen, die von Erd, beziehungsweise Müller für die Holstein-Warmzeit definierten Pollenzonen in Beziehung zu setzen.

Tab. 4.4: Korrelationsversuch zwischen den von Erd und von Müller definierten Pollenzonen des nord(mittel)deutschen Holstein (PAZ: *pollen assemblage zone*).

	PAZ, nach Erd	PAZ, nach Müller	
	Fuhne	XV	
H O L S T E I N	7 (a,b)	XIV	
	6 (a,b)	XIII	
	5 (a,b)	XII	c
			b
			a
		XI	
		X	
	4	IX	
		VIII	
	3	VII	c
			b
			a
	2	VI	
		V	
	1	IV	
III			
II			
I			

4.2.2. Die Holstein-Transgression im norddeutschen Raum

Die Trans- und Regression des Holstein-Meeresspiegels ist in Norddeutschland in zahlreichen Profilen dokumentiert. Von der Nordsee aus begann das Meer schon in der ausklingenden Elster-Kaltzeit im Westen Schleswig-Holsteins über das elster-zeitlich angelegte, glazial-fluviatile Rinnensystem vorzustoßen. In Eggstedterholz (Hinsch, 1993) findet sich eine marine Molluskenfauna innerhalb der glazial-limnischen Lauenburger Tone, die eine erste, zeitweilige, spätelsterzeitliche Transgression belegt. In Linke (1993) wird dieser erste Vorstoß etwa 1000 Jahre vor dem eigentlichen holsteinzeitlichen Meeresspiegelanstieg angesiedelt. Die Transgression folgte dann dem Elbetal ostwärts und erreichte den Osten Schleswig-Holstein während des Interglazials. Die am weitesten entlang dieser „Route“ landein-, ostwärts, die Transgression belegenden Profile sollten daher (unter Annahme nicht allzu kleinräumiger isostatischer Krustenbewegungen) den Zeitpunkt des relativen Meeresspiegelhöchstes, beziehungsweise den Beginn der Regression bezeugen. Diese Profile sind Wuthenow bei Neuruppin (Erd, 1969), Pritzwalk/Prignitz (Erd, 1973a) und Granzin (Erd, 1969). Die holsteinzeitliche Meeresspiegelschwankung wird durch marin/brackische, beziehungsweise limnisch/lakustrine Arten von Diatomeen, Foraminiferen, Ostrakoden, Algen, sowie durch höhere Wasserpflanzen belegt. In Granzin wurden litoral-marine, in Pritzwalk/Prignitz brackische Bedingungen erreicht. Das Transgressionsmaximum fällt dabei in die Pollenzone 4 und dem älteren Teil von Pollenzone 5 (5a) nach der Klassifikation von Erd, also etwa an den Beginn der Tannen-Hainbuchen-Zeit. Dieser Befund wird unterstützt durch die Ergebnisse aus den Profilen Hamburg-Hummelsbüttel (→ Abb. 10.10) (Hallik, 1960), Hamburg-Billbrock und -Dockenhuden (→ Abb. 10.11) (Linke and Hallik, 1993). In diesen Bohrungen konnte das Salinitätsmaximum durch Mollusken (Linke, 1993), Foraminiferen (Knudsen, 1993) und Diatomeen (Benda, 1993) als etwa zeitgleich dem Hainbuchenmaximum zwischen dem Abfall der Kiefern- und dem Anstieg der Tannenprozentwertkurve ausgemacht werden. Ähnliche Ergebnisse liegen aus Bossel vor, wo eine Superposition aus terrestrischen, marinen und wieder terrestrischen Ablagerungen einen Meeresspiegelanstieg zwischen Müllers PAZ VI and XIII, wahrscheinlich zwischen PAZ VIIc and XIIa impliziert (Müller and Höfle, 1994). Auch Averdieck (1992) siedelt die Transgression für das Profil Hamburg-Hummelsbüttel während PAZ VII an.

Die Profile der angesprochenen Lokalitäten differieren stark bezüglich Ablagerungsmilieu (limnisch ↔ marin, aerob ↔ anaerob, Sedimentationsraten, Umlagerungen, Hiatae etc.), Beprobungsabstand und Profilverständigkeit. Trotz der daraus resultierenden Unsicherheit bei der Korrelation, insbesondere der Pollenkurven des jüngeren und ältesten Holsteinparts sowie einzelner Verläufe innerhalb der Pollenkurven können augenscheinlich nur in terrestrischen Sequenzen, welche nicht im Einflussbereich der holsteinzeitlichen Meerestransgression liegen (mehr oder minder deutliche) Parallelen zu Müllers erstem Birken-Kiefern-Vorstoß gefunden werden (Abb. 4.4). In Abbildung 4.4 sind die erwähnten Profile zusammengestellt und nach marin beeinflussten und rein terrestrischen Ablagerungsmilieus sortiert.

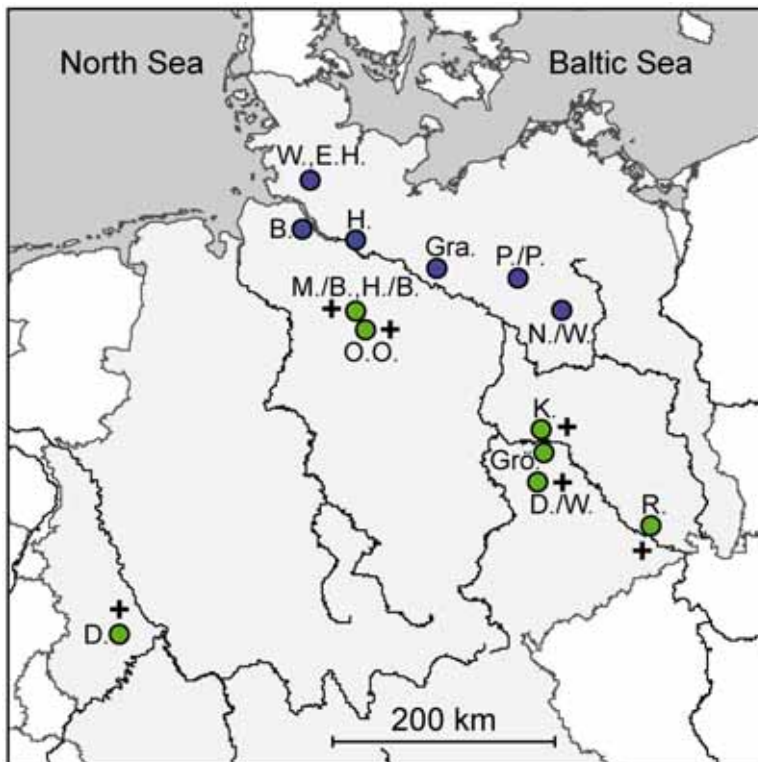


Abb. 4.4: Karte holsteinzeitlicher Lokalitäten Nord- und Mitteldeutschlands. (W.: Wacken, E.H.: Eggstedter Holz, B.: Bossel, H.: Hamburg, Gra.: Granzin, P./P.: Pritzwalk/Prignitz, N./W.: Neuruppin/Wuthenow, M./B.: Munster/Breloh, H./B.: Hetendorf/Bonstorf, O.O.: Ober-Ohe, K.: Klieken, Grö.: Gröbern, D./W.: Delitzsch/Wölkau, R.: Rossendorf, D.: Döttingen). Von der Holstein Transgression betroffene Profile sind blau, rein terrestrische Profile grün gekennzeichnet. Profile, in denen „Äquivalente“ zu Müllers erstem Birken-Kiefern-Vorstoß zu finden sind, wurden mit einem „+“ markiert.

Die Zusammenstellung nach Abbildung 4.4 deutet an, dass erstens das von Müller als erster Birken-Kiefern-Vorstoß betitelte Verlaufsmuster Ausdruck einer über-regional wirksamen (wie auch immer gearteten) Kausalität ist und, dass zweitens deren „Spur“ durch die Meerestransgression verwischt (Umlagerung) oder ausgelöscht (Erosion) wurde.

5. Methoden

Bei der Bearbeitung des Kernmaterials kamen neben der palynologischen Auswertung auch verschiedene, im weitesten Sinne sedimentologische Verfahren, sowie die Infrarot-Radiofluoreszenz als Datierungsmethode zum Einsatz. Die Methoden werden im Folgenden prinzipiell erläutert und können mittels der Literaturverweise vertieft werden. Klassische sedimentologische Methoden, wie das Erstellen und Darstellen von Korngrößensummenkurven werden hier nicht nochmals dargestellt. Dasselbe gilt für das Kernbohrverfahren.

5.1. Palynologie

Die Außenhüllen (Exinen) von Pollen und Sporen (Palynomorphen) werden, neben anderen Stoffen, durch hochpolymere Fettsäure- oder Carotinoidester, den so genannten Sporopolleninen aufgebaut. Sporopollenine sind unter Sauerstoffabschluss extrem korrosionsbeständige organische Verbindung. Die Palynomorphen haben daher, unter entsprechenden Bedingungen, ein hohes Erhaltungspotential und können zudem, auf Grund ihres gegenüber Makrofossilien extrem hohen Auftommens, ein weitaus vollständigeres Abbild vergangener Vegetationsbedeckungen liefern als deren Großreste. Die Bestimmung und Auswertung dieser mikrofossilen Hinterlassenschaften von Floren ist Gegenstand der Palynologie.

Im Allgemeinen versucht man aus Pollenzählungen in einem ersten Schritt auf die zu Grunde liegende Vegetationsbedeckung zu schließen und in einem zweiten Schritt auf deren zeitliche Entwicklung und die Ursachen dieser Entwicklung. Bei der Rekonstruktion der, einem Pollenspektrum zu Grunde liegenden, Vegetation ergeben sich hierbei insbesondere folgende Probleme:

- 1) Die Pollenproduktion verschiedener Arten ist verschieden hoch. So bilden Windblütler (anemophile Pflanzen) mehr Pollen aus als insektenbestäubte (entomophile) Pflanzen. Windblütler sind daher im Pollenregen generell überrepräsentiert. Des Weiteren gibt es auch zwischen den Wind- und den Insektenblütlern selbst große Unterschiede in der produzierten Pollenmenge. Tabelle 5.1 stellt einige anemophile und entomophile Gehölze gegenüber.

Tab. 5.1: Anemophile und entomophile Gehölze (Winkler et al., 2001).

Anemophil	entomophil
<i>Abies, Alnus, Betula, Carpinus, Corylus, Fagus, Fraxinus, Juglans, Larix, Picea, Pinus, Platanus, Populus, Quercus, Taxus, Ulmus</i>	<i>Acer, Aesculus, Castanea, Salix, Sambucus, Tilia</i>

- 2) Bei gleichen Umgebungsbedingungen korrodieren verschiedene Palynomorphentypen verschieden schnell (Straka, 1975). Es kommt zu selektiver Korrosion, die dazu führt, dass sich die prozentuale Zusammensetzung des überlieferten „Pollenregens“ mit zunehmender Zeit und/oder mit wechselnden Lagerungsbedingungen ändert.
- 3) Das Einzugsgebiet des Ablagerungsraumes bedingt maßgeblich die Zusammensetzung der überlieferten Pollen und Sporen. Je nach Art und räumlicher Erstreckung der „Lagerstätte“ kann die Pollenzusammensetzung die proximale Vegetation widerspiegeln oder auch weit transportierte Komponenten beinhalten, ja sogar mengenmäßig von diesen dominiert werden. Dabei muss der Eintrag durch so genannten Fernflug nicht stetig erfolgt sein, sondern kann zeitlich variieren oder sogar als Ereignis (*event*) auftreten (Campbell et al., 1999). Zudem können allochthon lagernde Palynomorphen vorhanden sein.
- 4) Aus rezenten Beobachtungen ist bekannt dass es immer wieder zu „Starkblühereignissen“ beziehungsweise umgekehrt zu „Schwachblühereignissen“ bestimmter Arten kommt. Außerdem scheint die Pollenproduktion einzelner Arten rhythmischen Schwankungen zu unterliegen (Straka, 1975). Die Pollenproduktion kann also auch bei konstanter Individuenzahl und bei (im zeitlichen Betrachtungsrahmen) gleich bleibenden äußeren Bedingungen schwanken.
- 5) Neben der zur Verfügung stehenden Pollenmenge trägt auch die Art und Weise wie die Pollen in die „Lagerstätte“ gelangen können zur Selektion bei. So sind die Pollen von windbestäubten Pflanzen nicht nur wegen deren höheren Pollenproduktivität, sondern auch auf Grund des einfachen und quasi stetigen Transports über die Luft vom Pollenproduzenten zur Lagerstätte überrepräsentiert. Pollen von entomophilen Pflanzen dagegen gelangen nur bedingt in die Luft und werden beispielsweise von „verunglückten“ Insekten in die Lagerstätte eingebracht oder vom Regen eingeschwemmt, unterliegen also weniger effizienten und mehr sporadischen Transportmechanismen.

Auf Grund der unsicheren Zuordnung von Pollenspektrum zur ursächlichen Vegetationsbedeckung gliedert man Pollendiagramme daher in lokale Pollenvergesellschaftungsbereiche, im Englischen und auch im Rest dieser Arbeit als *local pollen assemblage zones* (LPAZ) bezeichnet. Die LPAZ sind ausdrücklich nicht als eine direkte Abbildung der herrührenden Vegetationsbedeckung zu verstehen.

Bei der Interpretation der, aus den LPAZ herzuleitenden, Vegetationshistorie ist eine Vielzahl von auf die Vegetation Einfluss nehmender, oftmals miteinander interagierender Faktoren, in Betracht zu ziehen. Diese können sein:

- 1) Klimatische Gegebenheiten (Temperatur, Niederschlag, Kontinentalität etc.).
Gegebenenfalls kann das Mikroklima eines Vegetationsraumes prägender als das Großklima sein.
- 2) Edaphische Bedingungen, Pedogenese.
Die Bodenentwicklung gründet auf geologischen Gegebenheiten, wird beeinflusst vom Klima und interagiert mit Vegetation und Fauna. Viele Florenelemente bevorzugen bestimmte Bodentypen, manche sind auf solche angewiesen, beziehungsweise spezialisiert, oder sind bei für sie ungünstigen Bodenbedingungen nicht dauerhaft konkurrenzfähig. Umgekehrt vermögen aber auch viele Arten bei entsprechendem Konkurrenzdruck auf für sie ungünstigere („untypische“) Bodenstandorte (mit geringerem Konkurrenzdruck) auszuweichen.
- 3) „Katastrophen“
Im weiteren Sinne als katastrophal zu wertende, auf die Vegetation zumindest kurzzeitig und regional relativ begrenzt Einfluss nehmende Ereignisse. Diese sind ursächlich oft miteinander und/oder mit dem Klima verknüpft. Beispiele wären Vulkanausbrüche, Impakte, Erdbeben, Feuer, Erdbeben, Schädlingbefall Starksturmereignisse, Überflutungen, Extremniederschläge, Grundwasserschwankungen.
- 4) Konkurrenz
Interagieren der Pflanzen in Form aktiven Konkurrenzkampfes (insbesondere unter den Schösslingen) oder in passiver Form (zum Beispiel durch Beschattung) führt zu Veränderungen der Florengemeinschaften in der Zeit, bei ansonsten gleich bleibenden „äußeren“ Einflüssen. Es können sich Gleichgewichte oder stabile Dynamiken einstellen. In diesem Zusammenhang spielt insbesondere die Einwanderung neuer Arten ins Polleneinzugsgebiet eine Rolle, die dann mit der schon ansässigen Flora in Konkurrenz treten. Gegebenenfalls kommt es zum Verschwinden vormals ansässiger Arten.
- 5) Wechselwirkung von Flora und Fauna, inklusive des Menschen.
Herbivoren können zumindest gebietsweise starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Vegetationsbedeckung haben und maßgebend zum

Erhalt bestimmter Ökosysteme beitragen/sein. In holozänen Pollenspektren spiegeln sich deutlich „landschaftsgestalterische“ Tätigkeiten des, oder im Umfeld des Menschen, wie Ackerbau, Waldwirtschaft, Waldrodung, Trockenlegung oder Beweidung wider.

6) Evolution

Auf Grund genetisch-evolutionärer Veränderungen einzelner Arten können deren rezente und subrezente Umweltaforderungen (wie Frostresistenz, Lichtanspruch, Trockenheitsverträglichkeit, Bodenansprüche etc.) voneinander abweichen. Alle Rückschlüsse auf Umweltbedingungen nach dem (streng genommen nur auf unbelebte Materie anwendbaren) Aktualismusprinzip gelten daher nur unter Vorbehalt. Dies ist umso kritischer in Betracht zu ziehen, wenn nur eine einzelne Art als Indikator herangezogen wird.

5.1.1. Palynomorphenaufbereitung

Das in dieser Arbeit zur Anwendung gekommene Präparationsverfahren lehnt sich an die Techniken nach Berglund und Ralska-Jasiewiczowa (1986) beziehungsweise Faegri und Iversen (1989). Es wurde leicht, basierend auf den Erfahrungen von Herrn Prof. Dr. Thomas Litt (Institut für Paläontologie, Bonn) modifiziert.

Für die Aufbereitung kam je etwa 1-2 cm³ Sediment mit einer vertikalen Erstreckung von jeweils einem Zentimeter zur Verwendung, wobei Volumen und Trockengewicht der Ausgangsproben bestimmt wurden. Die Proben wurden mit Kalilauge (KOH) (10%), Salzsäure (HCL) (10%) und konzentrierter (38-40%) Fluorwasserstoffsäure (HF) behandelt. Zur Azetolyse kam ein Gemisch aus neun Teilen Essigsäureanhydrid (C₄H₆O₃) (98%) und einem Teil konzentrierter (95-98%) Schwefelsäure (H₂SO₄) zur Anwendung. Die während der Präparation durchzuführenden Zentrifugierphasen erfolgten mit 3000-3500 Umdrehungen pro Minute für jeweils 5 Minuten. Die Proben wurden mittels eines 200 µm Sieb von Detritus befreit und später mit einem 10 µm Gaze feinstgefiltert. So wurde letztendlich die Palynomorphenfraktion 10-200 µm erhalten. Zur späteren Ermittlung des absoluten Pollengehaltes wurden die Proben mit *Lycopodium*-Tabletten (Bärlapp-Sporen) bekannter Sporenanzahl (→ Tab. 10.2) versetzt. Die fertigen Proben wurden in flüssigem Glyzerin (C₃H₈O₃) konserviert. Die Vorgehensweise wird in Tabelle 5.1 detailliert dargestellt.

Tab. 5.1: Pollenaufbereitung.

1.	<p><u>Auflösen des Polleninhaltes und der inneren Pollenwand (Intine)</u> Versetzen der Probe mit 10 ml 10%-iger Kalilauge 25-minütiges Erhitzen (im Wasserbad) bei 97°C (Umrühren!) Zentrifugieren, Dekantieren Verdünnen mit destilliertem H₂O Zentrifugieren, Dekantieren</p>
2.	<p><i>Lycopodium</i>-Tablette zugeben</p>
3.	<p><u>Entfernen von Karbonat (Sediment, <i>Lycopodium</i>-Tablette)</u> Versetzen der Probe mit 10 ml 10%-iger Salzsäure 10-minütiges Erhitzen (im Wasserbad) bei 97°C (Umrühren!) Zentrifugieren, Dekantieren Verdünnen mit destilliertem H₂O</p>
4.	<p><u>Entfernen von Detritus</u> Absieben mit 200 µm Feinsieb Zentrifugieren und Dekantieren des angereicherten Siebdurchsatzes</p>
5.	<p><u>Entfernen des klastischen Silikatanteils</u> Versetzen der Probe mit 10 ml konzentrierter Flusssäure bei stark klastischen Proben einige Tage einwirken lassen (Umrühren!) mehrständiges (1-2 h) Erhitzen (im Wasserbad) bei 90°C (Umrühren!) Zentrifugieren, Dekantieren Verdünnen mit destilliertem H₂O Zentrifugieren, Dekantieren</p>
6.	<p><u>Entfernen von (durch die Flusssäurebehandlung herrührenden) Fluoriden (optional)</u> Versetzen der Probe mit 10 ml 10%-iger Salzsäure 10-minütiges Erhitzen (im Wasserbad) bei 97°C (Umrühren!) Zentrifugieren, Dekantieren Verdünnen mit destilliertem H₂O Zentrifugieren, Dekantieren</p>
7.	<p><u>Azetolyse (Auflösen von Zellulose, Hervorheben der Exinenstruktur) (optional, aber empfohlen)</u> Versetzen der Probe mit 10 ml Eisessig (C₂H₄O₂), gut umrühren (Austreiben von Wasser um exotherme Reaktion mit dem Azetolysegemisch zu vermeiden) Zentrifugieren, Dekantieren Versetzen der Probe mit dem Azetolysegemisch maximal 3-minütiges Erhitzen (im Wasserbad) bei 97°C (Umrühren!) Zentrifugieren, Dekantieren Versetzen der Probe mit 10 ml Eisessig (C₂H₄O₂), gut umrühren (Austreiben von Restsäure um exotherme Reaktion mit Wasser zu vermeiden, kann entfallen wenn beim folgenden Schritt ausreichend mit Wasser gespült wird, beim Gebrauch von Eisessig verklumpen die Proben leicht) Zentrifugieren, Dekantieren</p>
8.	<p><u>Konservierung der Proben</u> Filtrieren (mit Wasser) über 10 µm Gaze Überführen des Rückstandes in flüssiges Glycerin (luftdichte Aufbewahrung - Oxidationsschutz)</p>
9.	<p><u>Einfärben der Proben (optional)</u> einige Körner Safranin ins Gyzerin beimengen</p>

Bei der Pollenaufbereitung ist in Arbeitsschritt 4 nach Tabelle 5.1 darauf zu achten, dass eine „klümpchenfreie“ Suspension vorliegt. Insbesondere die organischen Bestandteile können leicht verklumpen. In diesen Verklumpungen enthaltene Palynomorphen würden dann in Arbeitsschritt 4 abgesiebt und gelangten nicht in die weitere Präparation, was letztendlich zu einem verfahrenstechnisch verfälschten

Abbild der Pollenvergesellschaftung führen würde. Das Einfärben mit Safranin gelingt nur wenn vorher eine Azetolyse durchgeführt wurde. Dann allerdings färbt man leicht zu intensiv, was die Bestimmung erschweren kann. In der vorliegenden Arbeit wurde nach anfänglichen Versuchen völlig auf ein Einfärben mit Safranin verzichtet.

Die zu verwendenden Chemikalien sind extrem aggressiv. Bei der Pollenaufbereitung sind aus gesundheitlichen Gründen unbedingt die vorgeschriebenen Sicherheitsmaßnahmen im Umgang mit Chemikalien zu beachten.

5.1.2. Pollenzählung, Darstellung der Zählergebnisse

Die Auszählung der Pollen erfolgte am Binokular unter maximal 600-facher Vergrößerung anhand von Flüssigpräparaten. Bei der Pollenidentifikation wurde eine (teilweise von Herrn Prof. Dr. T. Litt, Institut für Paläontologie, Universität Bonn, zur Verfügung gestellte) Sammlung von azetolysierten Rezentpollenpräparaten, sowie einschlägige Literatur (Bertsch, 1942; Beug, 2004; Erdtman, 1969; Faegri, 1993; Menke, 1976; Moore et al., 1991; Straka, 1975) genutzt. Bei den Zählungen wurden meist Gattungen (*kursiv* geschrieben) oder Familien, selten die genaue Art (wie bei *Trapa natans*, der Wassernuß) bestimmt. Bei den Farnpflanzen gelingt bei den Polypodiales oft nur die Bestimmung der Ordnung, da sich das, für die Gattungsbestimmung charakteristische, Perispor leicht von den Sporen abtrennt (Straka, 1975). Die Darstellung der Zählergebnisse erfolgt in der Literatur für gewöhnlich in Prozentwertdiagrammen, in denen die Prozentwerte der einzelnen Familien, Gattungen oder Arten gegen die Tiefe, oder wenn möglich, gegen die Zeit dargestellt werden. Bei der Interpretation von Prozentwertdiagrammen ist zu beachten, dass die Kurven der einzelnen Spezies mathematisch miteinander rückgekoppelt sind. So führt beispielsweise ein absoluter Rückgang einer Spezies A, bei gleich bleibenden Absolutwerten der anderen Taxa, zu geringeren Prozentwerten bei A, aber auch zu höheren Prozentwerten bei den Anderen, ohne dass sich deren Absolutwerte ändern müssen. Ein Anstieg oder Abfall in den Prozentwerten ist also nicht *a priori* mit einem vermehrten oder verminderten Aufkommen der betreffenden Spezies gleichzusetzen. Den Prozentwertdiagrammen in dieser Arbeit wurde, wenn nicht anders erwähnt, die Summe aller erfassten terrestrischen Pollen (keine Sporen) als Referenz (100%) zu Grunde gelegt. Insbesondere und in eventuellem Gegensatz zu anderen Arbeiten wurden also, die als Baumpollen gewerteten Gattungen *Hippophaë* (Sanddorn),

Juniperus (Wacholder), *Corylus* (Hasel), *Ilex* (Stechpalme), *Hedera* (Efeu), *Viscum* (Mistel), *Vitis* (Weinrebe) und *Humulus* (Hopfen), alle Sträucher und Kräuter inklusive Süßgräser (Poaceae = Gramineae) in die Grundsumme mit einbezogen. Riedgräser (Cyperaceae) wurden als aquatische Pollen gewertet und somit nicht der Grundsumme zugeschlagen. Auf diese Referenz wurden alle Zählungen, auch die der Pollen von höheren Wasserpflanzen, der Sporen von Pteridophyten- (Gefäßsporenpflanzen: Bärlapp-, Brachsenkraut-, Schachtelhalm-, Farngewächse) oder Bryophyten (Moosen) oder Sonstige, wie die Algenkolonien von *Pediastrum* (Grünalgen) und *Botryococcus* (Ölalgen) bezogen. Die Darstellungsreihenfolge der Taxa in den Diagrammen ist an die Vegetationsabfolge des Eem angelehnt (um den Unterschied zur eemtypischen Sukzession visuell zu betonen).

Vor allem in älteren Darstellungen sind im Pollenregen der betreffenden Lokalitäten mehr oder minder durchgehend stark vertretene Taxa (meist *Alnus*, *Corylus* oder *Pinus*) oft aus der Grundsumme ausgenommen. Bei dieser Vorgehensweise wird zwar das Aufkommen der weniger präsenten, dafür aber gegebenenfalls indikativeren Taxa im Prozentwertdiagramm betont, gleichzeitig aber ein direkter Vergleich der Taxa untereinander, mit ihren Absolutwerten oder mit anderen Profilen erschwert. Ein anderer Ansatz die unterschiedliche Pollenproduktivität der einzelnen Taxa zu berücksichtigen wäre eine zur Pollenproduktivität der einzelnen Taxa umgekehrt proportionale Gewichtung der gezählten Pollen. Praktisch scheitert dieser Versuch jedoch an unzureichendem Datenmaterial und an der Unabschätzbarkeit Einfluss nehmender, potentiell zeitlich variierender und artspezifischer Faktoren. Um die Nichtbaumpollen in den Prozentwertdiagrammen zu betonen kann als Referenz die Summe der Baumpollen anstatt der aller terrestrischen Pollen gewählt werden. Insgesamt gibt es hier aber keine prinzipiell bessere oder schlechtere Strategie. Der Vergleich auf unterschiedliche Referenzen bezogener Prozentwertberechnungen kann jedoch Rückkopplungseffekte zwischen den Prozentwertkurven einzelner Taxa sichtbar machen, welche sonst nur unter Zuhilfenahme von Absolutwertdiagrammen erkennbar werden.

In Absolutwertdiagramm werden zum Beispiel Polleneintrag pro Volumen oder, falls bestimmbar, Polleneintrag pro Fläche und Zeit (*influx*) gegen die Tiefe oder die Zeit aufgetragen. Zur Bestimmung der Anzahl, der in der Probe befindlichen Palynomorphen werden die den Proben zugesetzten *Lycopodium*-Sporen (→ Tab. 10.2)

genutzt. Die Ermittlung des absoluten Polleninhalts pro Volumen-, Gewichts- oder Dichteeinheit erfolgt dabei nach folgenden Formeln:

$$P_{\#} = P_{counts} * \frac{Lyc_{\#}}{Lyc_{counts}} \quad (5.1)$$

und damit, beispielsweise bei Bezug auf das Probenvolumen:

$$P_V = \frac{P_{\#}}{V} \quad (5.2)$$

wobei

$P_{\#}$: absolute Pollen-, Palynomorphenanzahl einer Probe

P_{counts} : gezählte Pollen (Palynomorphen)

$Lyc_{\#}$: Anzahl zugegebener *Lycopodium* –Sporen (→ Tab. 10.2)

Lyc_{counts} : gezählte *Lycopodium*-Sporen

P_V : Pollen (Palynomorphen) pro Volumen, Pollendichte

V : Volumen der Probe

Der nach Formeln (5.1) beziehungsweise (5.2) berechnete Pollengehalt pro Sedimentvolumen (-masse, -dichte) ist nur bedingt interpretierbar, da die vertikale Probenlänge von 1 cm je nach Sedimentationsrate und Sedimentkompression einer anderen Zeitdauer entspricht. So spiegelte der ermittelte Pollengehalt/cm³ bei hypothetischen Sedimentationsraten von 4, 2, 1 oder <1 cm/a den Polleneintrag eines ¼, eines ½, eines ganzen oder mehr als eines Jahres wider. Bei Sedimentationsraten >1 cm/a könnten die Frühblüher (wie *Corylus* oder *Alnus*) oder die Spätblüher (wie beispielsweise *Tilia*, aber auch *Artemisia*) überrepräsentiert sein, oder es könnten nur die winterlichen, pollenfreien Ablagerungen eines Jahres erfasst worden sein. Bei Sedimentationsraten <1 cm/a (wie sie oft vorliegen) stehen die errechneten Pollengehalte/cm³ für einen mittleren zeitlichen Polleneintrag über mehrere Jahre, wobei die Zeitspanne der Mittelung mit der Sedimentationsrate differieren würde. Nur im Idealfall, wo eine Probe einem Jahr und somit einer Blühperiode entspräche ließe sich die, von der Sedimentationsrate unabhängige, Pollenproduktion des Einzugsraumes pro Vegetationsperiode ermitteln. Bei gegebenen Alters-Tiefen Modellen, wie

Sie in der vorliegenden Arbeit aus Warvenzählungen hergeleitet wurden, kann der Polleneintrag näherungsweise ermittelt werden. Prinzipiell gilt:

$$I = \frac{P_{\#}}{A * \Delta t} = \frac{P_{\#} * s}{A * \Delta d} = \frac{P_{\#} * s}{V} = P_V * s \quad (5.3)$$

\uparrow $s = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ \uparrow $V = A * \Delta d$ \uparrow $P_V = \frac{P_{\#}}{V}$

wobei

I : *Influx* (Polleneintrag pro Zeitintervall und Fläche)

$P_{\#}$: Pollen-, Palynomorphenanzahl

A : Fläche (*area*)

Δt : Zeitintervall (*time*)

s : Sedimentationsrate

Δd : Tiefenintervall (*depth*)

V : Volumen

P_V : Pollen (Palynomorphen) pro Volumen, Pollendichte

Will man also den Polleneintrag eines Jahres ermitteln, so müsste jede Probe i jeweils den Tiefenabschnitt Δd_i umspannen, der dem Sedimentationszyklus des betreffenden Jahres entspricht. Praktisch ist dies schon bei gewarvten Sedimenten kaum durchführbar. In der Regel, wie auch in dieser Arbeit, werden aus den Kernen Proben bekannter Volumina V_i und konstanter Dicke Δd (1 cm) entnommen. Daraus folgt, dass, bei nicht konstanter Sedimentationsrate, die Proben jeweils eine andere Zeitspanne Δt_i repräsentieren, weshalb die nach Formel (5.3) berechneten *Influx*-Werte jeweils Mittelwerte über verschiedene Zeitintervalle sind. Diese Überlegung gilt entsprechend auch für die Prozentwertdiagramme.

Außerdem setzt Formel 5.3. voraus, dass die angesetzte Sedimentationsrate über dem Tiefenintervall Δd konstant ist. Um dieser Forderung nahe zu kommen muss bei der Probennahme darauf geachtet werden, dass die genommenen Proben sedimentologisch möglichst homogen sind, keinesfalls also beispielsweise Übergänge von fein zu grob gewarvten Bereichen oder anders geartete sedimentologische Wechsel erfassen.

Ein weiterer Grund, weshalb die *Influx*werte nur näherungsweise bestimmt werden können sind die Alters-Tiefen Modelle selbst. In der vorliegenden Arbeit beruhen diese auf Warvenzählungen, welche jeweils einem 2,5 cm Tiefenabschnitt eine Sedimentationsdauer und somit eine mittlere Sedimentationsrate zuteilen (→ 5.2.), wobei der exakte zeitliche Verlauf innerhalb der 2,5 cm Intervalle unbekannt bleibt. Die Alters-Tiefen Modelle sind also nicht nur in den zu interpolierenden, nicht warvenzählbaren Abschnitten, sondern auch innerhalb gänzlich gewarvter Bereiche Näherungen. Zusätzlich sind die Pollenproben mit jeweils 1 cm Tiefenerstreckung ungleich mächtig als die kleinsten Tiefenabschnitte (2,5 cm) mit bekannter, mittlerer Sedimentationsdauer. Somit sind die den Proben zugeordneten Sedimentationsdauern Δt_i immer nur Mittelungen.

Neben den jeweils verschiedenen und unexakten Zeitintervallen Δt_i führt auch die Art der Pollenprobennahme mittels zylindrischen Einwegspritzen zu Ungenauigkeiten bei der Ermittlung des Polleneintrags. Zum einen werden Warven (oder allgemeiner Zeitintervalle), welche in der Mitte des beprobten Tiefenintervalls liegen volumemäßig überrepräsentiert, zum anderen ist die Grundfläche A auf welche sich die Pollen*influx*werte beziehen innerhalb eine Probe nicht konstant. Bei einer Beprobung mit rechteckigem Beprobungsumriss (Volumenform eines Quaders), mit Kanten parallel der Warvung, träten die beiden letztgenannten Probleme nicht auf. Abbildung 5.1 verdeutlicht die angesprochenen Schwierigkeiten.

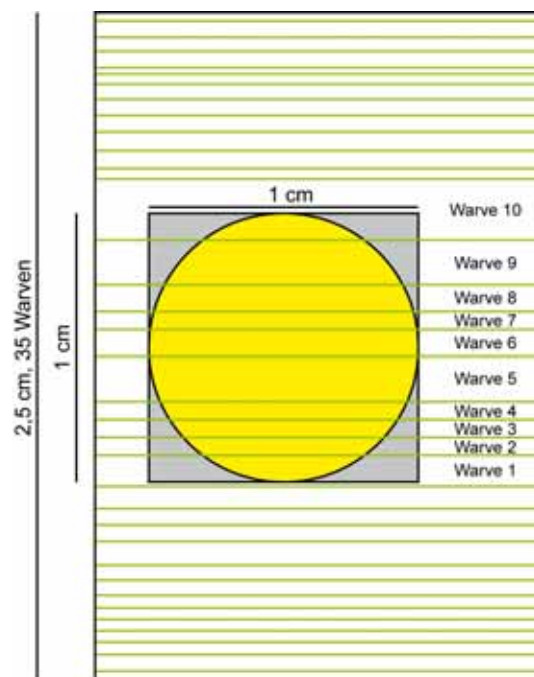


Abb. 5.1: Vergleich von kreisförmiger und quadratischer Beprobungsschnittfläche

In Abbildung 5.1 ist ein, den Warvenzählabschnitten entsprechendes, 25 mm Tiefenintervall dargestellt. Der Abschnitt soll 35 Warven umfassen, also 35 Jahren entsprechen und somit eine gemittelte Sedimentationsrate s von $s = \frac{25\text{mm}}{35a} \approx 0,71 \frac{\text{mm}}{a}$ aufweisen. Innerhalb dieses Abschnittes liege eine Beprobung (gelb). Ihr Tiefenabschnitt entspricht etwa $9\frac{1}{2}$ Jahren, entsprechend einer Sedimentationsrate von $s = \frac{10\text{mm}}{9,5a} \approx 1,05 \frac{\text{mm}}{a}$. Da die Probe jedoch in einem Intervall liegt, welchem im Alters-Tiefen Modell (\rightarrow 5.2.) eine Sedimentationsrate von 0,71 mm/a zugewiesen wurde (also um etwa 32% vom tatsächlichen Wert bei 1,05 mm/a abweicht) wird für die Probe ein Zeitintervall von $\frac{10\text{mm}}{0,71 \frac{\text{mm}}{a}} \approx 14,09a$ ermittelt, also etwa 48% vom

tatsächlichen Wert (9,5 Jahre) abweichend. Der, der Sedimentationsrate proportionale, Polleninflux (Formel 5.3) würde, wie die Sedimentationsrate, um etwa 32% vom tatsächlichen Wert abweichen.

Zusätzlich führt die zylindrische Form der Probenahme dazu, dass zum Beispiel die Pollengehalte der gleich mächtigen Warven 2, 3, 4 und 7 nicht gleich gewichtig in die Probe eingehen, da jeweils ein anders Volumen aus den Warven ausgestochen wird. Außerdem ändert sich die Grundfläche A , auf die der Polleneintrag zu beziehen wäre, innerhalb der Probe. Nur im Fall einer rechteckigen Probennahme (grau), parallel den Warvenflächen würden, bei dann konstanter Grundfläche, den Warvenmächtigkeiten proportionale Volumina der Probe zugeführt. Dazu wären die, in dieser Arbeit verwendeten, zylindrischen Einwegspritzen, durch solche mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt zu ersetzen.

Bei konstanter Warvenmächtigkeit innerhalb der 2,5 cm messenden Warvenzählabschnitte (also bei konstanter Sedimentationsrate innerhalb dieser Intervalle) und bei konstanter Pollendichte innerhalb der Probe, also unter der idealisierten Annahme gleichen Pollengehalts pro Volumen bei aufeinander folgenden Warven ließe sich der Polleninflux pro Zeitintervall mit Formel 5.3 fehlerfrei ermitteln. Dann gilt Formel 5.4, wie sie in dieser Form zur Bestimmung des Polleneintrages benutzt wurde.

$$I = P_v * s \quad = \quad \frac{P_{\#,Zylinder}}{V_{Zylinder}} * s \quad (5.4)$$

$$P_v = \frac{P_{\#,Quader}}{V_{Quader}} = \frac{P_{\#,Zylinder}}{V_{Zylinder}}$$

wobei

I : Polleninflux (Pollenanzahl pro Zeitintervall und Fläche)

P_v : Pollen (Palynomorphen) pro Volumen, Pollendichte

s : Sedimentationsrate

$P_{\#,Quader}$: Pollen-, Palynomorphenanzahl in einem Probenquader

$P_{\#,Zylinder}$: Pollen-, Palynomorphenanzahl in einem Probenzylinder

V_{Quader} : Volumen des Probenquader

$V_{Zylinder}$: Volumen des Probenzylinder

Neben den angeführten prinzipiellen Problemen fließen generell noch Messungenauigkeiten bei der Beprobung und bei der Auszählung mit ein. So ist bei der Bestimmung des Probenvolumens, bedingt durch die Skalierung der verwendeten Einwegspritzen, aber auch durch ungleiche Sedimenteigenschaften (-dichten) an den Beprobungsstellen mit einem absoluten Fehler von etwa 0,1 cm³ zu rechnen (entsprechend der Skalierung der Einwegspritzen), bei einem mittleren Probenvolumen von etwa 1-2 cm³ also mit einem relativen Fehler von 5-10%. Die den Proben zugegebene Anzahl an *Lycopodium*-Sporen ist nicht exakt bekannt, sondern nur durch Mittelwert und Standardabweichung (einer angenäherten Gaußverteilung) gegeben. Beide schwanken von Charge zu Charge (→ Tab. 10.2), wobei die Standardabweichung bei den verwendeten Chargen bis maximal 9,19% des Mittelwerts betrug. Zusätzlich wird der Vergleich der ermittelten Werte dadurch erschwert, dass bei der Beprobung im gleichen Bohrkern verschiedene Chargen zum Einsatz kamen. Zuletzt fließen die, durch die individuelle Erfahrung des Palynologen bedingten, nur schwer abschätzbaren Fehler bei der Pollenausählung selbst mit ein, die sich zudem, da verschiedene Taxa verschieden leicht/schwer zu detektieren sind nicht gleichmäßig auf den Befund verteilen.

Zuletzt seien, anhand einer Beispielrechnung, die zu erwartenden Größenverhältnisse der Fehler, unter den idealisierten Bedingungen einer perfekten Zählung, also bei fehlerfreier Ermittlung der in der Probe vorhandenen Palynomorphenanzahl, verdeutlicht. Bei der Verwendung der Charge 483261 beträgt die Standardabweichung (s) 1708 Sporen bei einem Mittelwert (\bar{x}) von 18583 Sporen/Tablette (also 9,19% des Mittelwertes) (\rightarrow Tab. 10.2). Allgemein kommen bei Gauß-Verteilungen die Werte mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten in einem, durch die Standardabweichung s bestimmten, Intervall um den Mittelwert \bar{x} zu liegen. So liegen die Werte beispielsweise mit 50% Wahrscheinlichkeit im Intervall $\bar{x} \pm 0.675 * s$, mit 68,3% Wahrscheinlichkeit im Intervall $\bar{x} \pm s$, mit 95,5% Wahrscheinlichkeit im Intervall $\bar{x} \pm 2 * s$ und mit 99,7% Wahrscheinlichkeit im Intervall $\bar{x} \pm 3 * s$. Die Sporenanzahl einer Tablette dieser Charge liegt also mit 99,7% Wahrscheinlichkeit im Intervall 18583 ± 5124 Sporen, einer prozentualen Abweichung vom Mittelwert von etwa 27,58% entsprechend. Somit unterliegt (bei gewünschter Genauigkeit von 99,7%) der Fehler bei der Ermittlung des absoluten Pollengehaltes gleichfalls diesem relativen Fehler. Die wahre Pollenanzahl $P_{\#,wahr}$ ergibt sich dann aus der gezählten Pollenanzahl $P_{\#}$ gemäß Formel 5.1 zu:

$$\begin{aligned}
 P_{\#,wahr} &= P_{counts} * \frac{Lyc_{\#,wahr}}{Lyc_{counts}} &= & P_{counts} * \frac{Lyc_{\#} * (1 \pm 0,2758)}{Lyc_{counts}} \\
 & & \uparrow & \\
 & & Lyc_{\#,wahr} = Lyc_{\#} \pm \Delta Lyc_{\#} = \left(1 \pm \frac{\Delta Lyc_{\#}}{Lyc_{\#}} \right) * Lyc_{\#} & \\
 &= P_{\#} \pm 27,58\% & &
 \end{aligned}$$

Für die Ermittlung des relativen Fehlers bei der Bestimmung der Pollendichte fließt dann zusätzlich die Unsicherheit bei der Volumenbestimmung mit ein. Im Beispiel und mit dem geschätzten absoluten Fehler von $0,1 \text{ cm}^3$ ergibt sich aus Formel 5.2:

$$\begin{aligned}
 P_{V,wahr} &= \frac{P_{\#,wahr}}{V_{wahr}} &= & \frac{P_{\#} * (1 \pm 0,2758)}{V \pm 0,1} \\
 & & \uparrow & \\
 & & V_{wahr} = V \pm 0,1 & \\
 & & P_{\#,wahr} = P_{\#} * (1 \pm 0,2758) &
 \end{aligned}$$

Da der Volumenfehler nur absolut angegeben werden kann bleibt der obige Ausdruck volumenabhängig. Bei beispielsweise 1 cm³ Probenvolumen entspricht ein absoluter Fehler von 0,1 cm³ einem relativen Fehler von 10% und für den zu erwartenden Fehler in der Pollendichte ergibt sich:

$$P_{V,wahr} = \frac{P_{\#,wahr}}{V_{wahr}} = \frac{P_{\#} * (1 \pm 0,2758)}{V * (1 \pm 0,1)} \approx P_V * (0,66 \leftrightarrow 1,42)$$

$$V_{wahr} = V * (1 \pm 0,1)$$

$$P_{\#,wahr} = P_{\#} * (1 \pm 0,2758)$$

Das heißt der tatsächliche Wert der Pollendichte bewegt sich zwischen 66% und 142% der errechneten Pollendichte, hat also einen beträchtlichen relativen Fehler. Bei den weiterführenden *Influx*Berechnungen werden sich die Vertrauensintervalle auf Grund obiger Betrachtungen noch erweitern. Allein der Fehler bei der Bestimmung der Sedimentationsrate, welcher im Beispiel nach Abbildung 5.1 wohl einige 10er Prozent betragen dürfte, führte im Rechenexempel und mit einem angenommenen relativen Fehler der Sedimentationsrate von 20 % zu:

$$I_{wahr} = P_{V,wahr} * s_{wahr} = \frac{P_v * (1 \pm 0,2758)}{(1 \pm 0,01)} * s * (1 \pm 0,2) = I * (0,53 \leftrightarrow 1,7)$$

$$s_{wahr} = s * (1 \pm 0,2)$$

Der tatsächliche *Influx*wert läge im Intervall 53-170% des berechneten Wertes. Für *Influx*werte sind demnach relative Fehler im 10er-100er Prozentbereich zu erwarten. Auf Grund der aufgeführten Unsicherheiten können die erhaltenen *Influx*kurven nur zu mittel- oder längerfristigen Trendanalysen herangezogen werden, zur Bewertung kurzfristiger Ereignisse sind sie nur unter Vorbehalt geeignet. *Influx*werte sind daher alleine kein verlässlicher Ansatz zur Interpretation von Pollendaten, sie können jedoch ein nützliches Mittel für Plausibilitätsprüfungen sein.

5.2. Warvenzählung, Alters-Tiefen Modell

Bei drei der in dieser Arbeit bearbeiteten Bohrkerne konnten Warvenzählungen durchgeführt werden. Diese wurden mikroskopisch an 10 cm langen Dünnschliffpräparaten vorgenommen. Hierzu wurden die Dünnschliffe in je vier 2,5 cm Intervalle gegliedert und jeweils die Warvenanzahl innerhalb der Intervalle ermittelt. Für jeden 2,5 cm Abschnitt wurde so eine mittlere Sedimentationsrate bestimmt, ein Meter Tiefenintervall also in 40 Abschnitte mit einer jeweils mittleren Sedimentationsdauer zerlegt. War ein Intervall nicht vollständig gewarvt, wurde differenziert ob dem nicht gewarvten Intervallabschnitt eine zeitliche Dauer zugeordnet werden soll, oder ob es sich um ein quasi zeitloses Sedimentationsereignis (im Folgenden mit dem englischen Begriff *event* bezeichnet), wie beispielsweise eine Tephralage handelt. In letzterem Fall wurden die 2,5 cm um den Anteil des *event* vermindert und für den verbleibenden Rest eine mittlere Sedimentationsrate bestimmt. Wurde dagegen für den nicht gewarvten Bereich innerhalb eines Zählintervalls eine zeitliche Dauer angenommen so wurde diese anhand des gewarvten Zählabschnittes hochgerechnet. Bei weniger als 50% (1,25 cm) gewarvtem Sediment je Zählintervall galt das Intervall als nicht warvenzählbar. Bei solchen Intervallen wurde die Sedimentationsrate anhand der nächsten benachbarten, zählbaren Intervalle interpoliert. Hierzu wurden lineare Näherungen der Sedimentationsraten für Tiefenabschnitte mit zusammenhängend zählbaren Intervallen mittels Regressionsgeraden berechnet. Die Sedimentationsrate eines zu interpolierenden Tiefenbereichs wurde dann als Mittelwert aus den benachbarten Regressionsgeradensteigungen bestimmt. Abbildung 5.2 illustriert die Vorgehensweise anhand des Bohrkerns Munster 1 (MU 1) aus der Kieselgur-lagerstätte Munster/Breloh in der Lüneburger Heide.

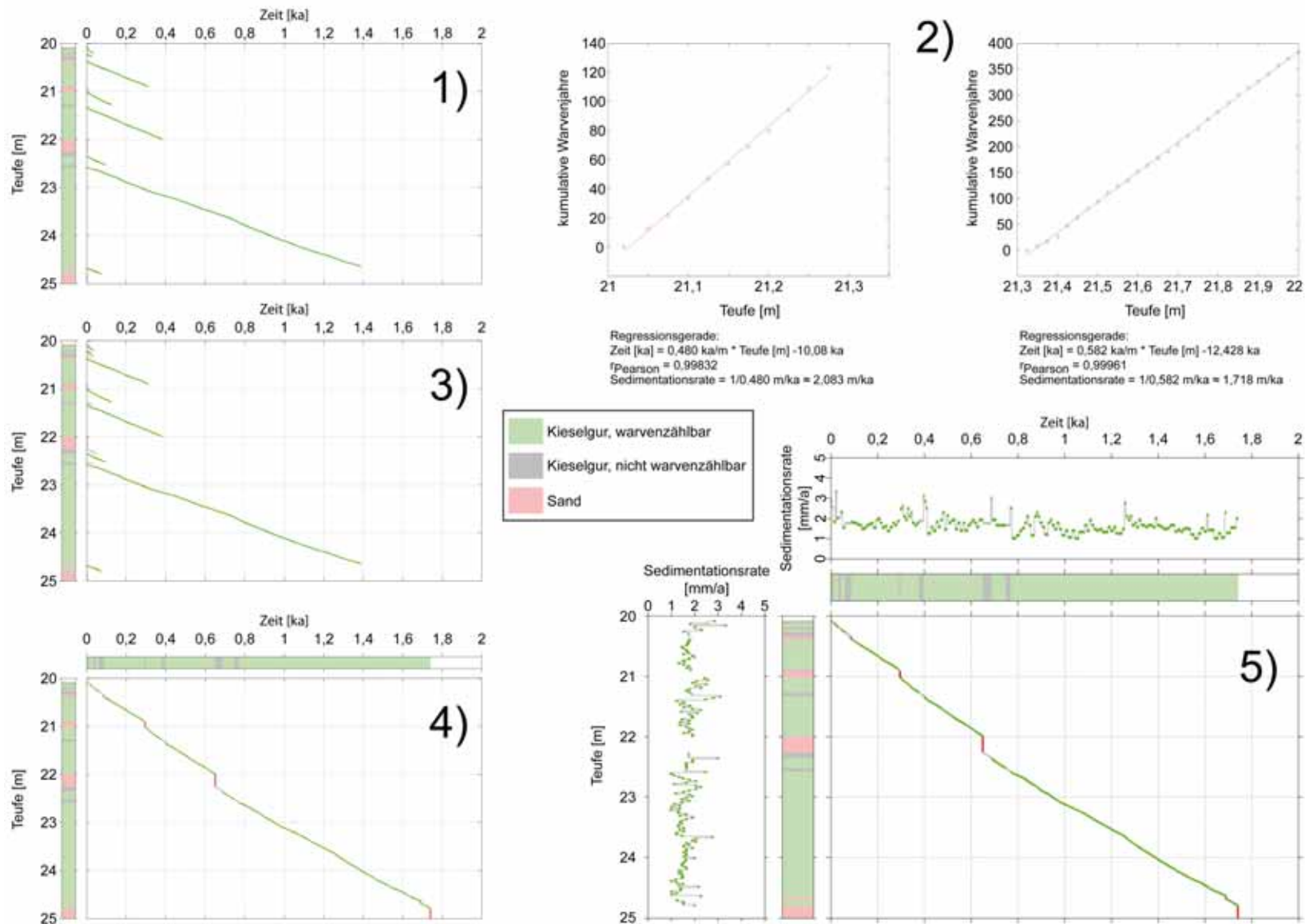


Abb. 5.2: Herleitung der Alters-Tiefen-Modelle aus den Warvenzählungen am Beispiel des Kerns MU 1 (Kieselgurlagerstätte Munster/Brehloh, Lüneburger Heide) (1-4: Vorgehensreihenfolge bei der Generation eines Alters-Tiefen Modells)

In Abbildung 5.2 1) sind die kumulativen Warvenjahre, zusammenhängend zählbarer Tiefenabschnitte, dem, aus gewarvter Kieselgur (grün), nicht warvenzählbarer Kieselgur (grau) und Sand (rot) bestehenden, Bohrkern gegenübergestellt. Die sandigen Abschnitte werden als *events*, also (quasi) zeitlose Sedimentationsereignisse interpretiert, weshalb sie im Alters-Tiefen-Modell als der Tiefenachse parallele, zur Zeitachse senkrecht stehende Linien (rot) erscheinen (Sedimentationsrate $\rightarrow \infty$). Die Sedimentationsraten der nicht warvenzählbaren Abschnitte wurden gemäß Abbildungsteil 5.2 2) ermittelt. Im Beispiel ist das zu interpolierende Tiefenintervall von 21,275-21,325 m. Es wird flankiert von zwei gezählten Tiefenabschnitten, nämlich 21,025-21,275 m und 21,325-22,000 m, deren Warvenzählungen jeweils wiedergegeben sind. Die kumulativen Zählungen beider Abschnitte wurden jeweils durch Regressionsgeraden angeglichen. Deren Steigungen sind (in der gewählten Darstellungsform mit Tiefe als Abszisse und Zeit als Ordinate) der mittleren Sedimentationsrate innerhalb dieser Abschnitte reziprok. Im Beispiel ergibt sich für den hangenden Tiefenabschnitt eine mittlere Sedimentationsrate von etwa 2,08 mm/a, für den liegenden Abschnitt etwa 1,72 mm/a. Dem nicht zählbaren Tiefenintervall dazwischen wurde der arithmetische Mittelwert beider Werte, also 1,9 mm/a zugewiesen. Abbildung 5.2 3) ergänzt den Abbildungsteil 5.2 1) um die so gewonnenen Ergebnisse (graue Kurven)*. Schließlich wurden die nun über der Tiefe zusammenhängend vorhandenen Alters-Werte zu Abbildungsteil 5.2 4) aufsummiert, in welchem zusätzlich das Kernprofil nun auch gegen die Zeitachse gezeichnet wurde. Dabei verschwinden die als zeitlos eingestufteten Sandschüttungen. In 5.2 5) sind dem so erhaltenen Alters-Tiefen-Modell schließlich noch die Sedimentationsraten gegen Tiefe und Zeit gegenübergestellt. Auf einen Meter Tiefe kommen 40 Intervalle, jeweils konstant angenommener Sedimentationsrate.

* Es sind auch andere Vorgehensweisen zur Interpolation ungewarvter, zwischen gewarvten Tiefenabschnitten liegender, Bereiche denkbar. So wäre zum Beispiel auch eine einzige Regressionsgerade über beide, dem zu interpolierenden Bereich benachbarte, Bereiche berechenbar, aus welcher dann eine „mittlere“ Sedimentationsrate resultierte die dem ungewarvten Tiefenabschnitt zuzuweisen wäre. Es sollte aber in jedem Fall darauf geachtet werden, dass innerhalb der, für die Regressionsgeraden herangezogenen, zusammenhängend gewarvten Tiefenabschnitte keine „Trendwenden“ im Sedimentationsratenverlauf liegen. Der Ansatz über Regressionsgeraden und nicht über arithmetische Mittelwerte gleicht „Ausreißer“ (Fehlzählungen, Sedimentstörungen, *events* innerhalb sonst stetiger Bereich etc.) aus.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage wie und ob die Alters-Tiefen-Modelle in Bereiche ohne Warvenzählungen oder ohne andere gegebene Zeitmarker fortgesetzt werden können. Kern Munster 1 bricht bei 25 m Tiefe ab, besteht aber ab etwa 9,5 m Tiefe aus Kieselgur, welche aber erst ab etwa 20 m gewarvt vorliegt. Will man nun dem Tiefenabschnitt 9,5-20 m eine zeitliche Dauer zuweisen muss diesem Tiefenintervall eine mittlere Sedimentationsrate zugeteilt werden. Die Fehler-schranken bei der Ermittlung der Sedimentationsdauer unter Abschätzung der Sedimentationsrate resümieren aus folgenden Überlegungen. Es gilt:

$$s = \frac{d}{t} \leftrightarrow t = \frac{d}{s} \quad (5.5)$$

wobei

s : Sedimentationsrate

d : Tiefenintervall (*depth*)

t : Zeitintervall (*time*)

Nimmt man nun an, dass die wahre Sedimentationsrate innerhalb eines Unsicherheitsintervalls Δs um die geschätzte Sedimentationsrate s liegt, so berechnet sich für die, dem Tiefenintervall d entsprechende, Sedimentationsdauer ein Zeitfenster $[t_{\min} \quad t_{\max}]$. Dessen obere und untere, sich auf Grund des Sedimentationsraten-konfidenzintervalles $[s - \Delta s \quad s + \Delta s]$ ergebenden Zeitmarken t_{\max} und t_{\min} resultieren dann aus Formel (5.5) mit $t_{\min} = \frac{d}{s + \Delta s}$ und $t_{\max} = \frac{d}{s - \Delta s}$. Das Vertrauensintervall der Sedimentationsdauer lässt sich allgemein durch $\frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} \pm \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2}$ und somit folglich (wie man leicht rechnet) durch $\frac{d * s}{s^2 - \Delta s^2} * \left(1 \pm \frac{\Delta s}{s}\right)$ ausdrücken. Der relative prozentuale Fehler der Sedimentationsdauer ist also gleich dem relativen prozentualen Fehler der angesetzten Sedimentationsrate (nämlich $\pm \frac{\Delta s}{s}$).

Wird im Beispiel des Kern MU 1 eine Sedimentationsrate von 1,9 mm/a, entsprechend der Mittelung aus den warvengezählten Abschnitten gemäß Abbildung 5.2, angesetzt und eine Unsicherheit von (lediglich) 0,2 mm/a angenommen (wie sie

sich in etwa aus der Differenz der in Abbildung 5.1 2) dargestellten Sedimentationsraten ergibt) so resultierte für die Sedimentationsdauer des Tiefenstückes 9,5-20 m ($d = 11,5 \text{ m}$) ein zeitliches Vertrauensintervall zwischen etwa 5476-6765 Jahren, also über 1250 Jahre Differenz zwischen minimalem und maximalen Wert. Hätte man lediglich mit 1,9 mm/a gerechnet wären aus Formel (5.5) geschätzte circa 6053 Jahre resultiert. Diese Zahl kommt erstens nicht mittig in obigem Vertrauensintervall zu liegen (nämlich nicht bei etwa 6120 a) und verschweigt zweitens den (aus der unsicher geschätzten Sedimentationsrate herrührenden) Fehler bei der Bestimmung der Sedimentationsdauer. Absolut beträgt dieser in obigem Beispiel circa 644 Jahre (6120 ± 644), relativ also etwa 10,5 %, nämlich gleich dem angesetzten relativen Fehler der Sedimentationsrate ($\frac{\Delta s}{s} * 100\%$).

5.3. Magnetische Suszeptibilität

Die magnetische Suszeptibilität ist eine einheitslose Größe, welche die relative Änderung der magnetischen Induktion gegenüber der des Vakuums, bei Einbringung eines Materials ins Magnetfeld, beschreibt. Sie ist also eine materialabhängige Größe und erlaubt demnach Rückschlüsse auf das Material. Da die Änderung der magnetischen Induktion von der Anzahl der ins Magnetfeld eingeführten magnetischen Dipole pro Volumeneinheit abhängt, definiert man die so genannte spezifische magnetische Suszeptibilität [m^3/kg] als die auf die Materialdichte bezogene magnetische Suszeptibilität.

Man unterscheidet diamagnetische Stoffe, welche das Magnetfeld geringfügig schwächen (zum Beispiel Wasser, Kalzit, Quarz, Organik, Salz), paramagnetische Stoffe, welche das Magnetfeld (temperaturabhängig) geringfügig verstärken (zum Beispiel Olivin, Biotit, Pyroxen, Amphibol, Pyrit, Dolomit), ferromagnetische Stoffe, deren Wirkung auf das magnetische Feld sehr groß, aber nicht konstant, sondern von der Temperatur (oberhalb Curie-Temperatur paramagnetisch), der magnetischen Erregung und der Materialvorbehandlung abhängig ist (Hysteresis) (zum Beispiel Eisen, Kobalt, Nickel), antiferromagnetische Stoffen, die temperaturabhängig (Néel-Temperatur) dia- oder paramagnetisches Verhalten zeigen (zum Beispiel Hämatit, Goethit) und ferrimagnetische Stoffe, welche nach außen temperaturabhängig magnetisch sind und das Magnetfeld relativ stark beeinflussen (zum Beispiel Magnetit).

Die Suszeptibilitätsmessungen wurden mit einem Gerät von Bartington Instruments vorgenommen, wobei der Sensor direkt auf der Sedimentoberfläche der Halbkerns aufsaß. Der Durchmesser des kreisförmigen Messkopfes betrug 22 mm. Sämtliche Messungen beziehen sich auf, beziehungsweise sind in SI-Einheiten (*Systeme International d'Unites*) angegeben.

5.4. „RADIUS“-Korngrößenanalyse

(rapid particle analysis of digital images by ultra-high-resolution scanning of thin sections)

Die am Institut für Geowissenschaften der Universität Mainz entwickelte Methode basiert auf lichtmikroskopischen, digitalen Aufnahmen von Dünnschliffen und der anschließenden, rechnergestützten bildanalytischen Auswertung und Interpretation der Daten. Dabei werden in einem ersten Schritt (Analyse) Zahl, Form und Farbe der in den Dünnschliffen vorhandenen Partikel bestimmt, wobei die Schliffe, in 500 μm und 100 μm Schritten abgerastert werden. Untergrenze der noch erfassbaren Korngröße ist bei 25-facher Vergrößerung 20 μm , Obergrenze 5 mm und bei 63-facher Vergrößerung 2 μm beziehungsweise 1 mm. Aus diesen Messdaten können dann standardisierte Kurven generiert (Korngrößensummen, Korngrößegehalte, Sedimentgradierung etc.) oder spezifische Größen, wie Median, Modalwert, Verteilungsschiefe, Perzentile etc., ermittelt und in bestimmtem Umfang auch mineralogische Sedimentkomponenten wie Quarz oder Kalzit differenziert werden. In einem zweiten Schritt (Detektion) kommen interpretative Routinen zum Einsatz, welche das Zusammenspiel der einzelnen Sedimentparameter zur Bewertung nutzen. Ergebnis der Detektion ist eine wahrscheinlichkeitsbasierte Unterscheidung zwischen verschiedenen Sedimenttypen und Ablagerungsbedingungen. Zurzeit können vulkanische „Asche“, Organik, Flugsand, äolischer Staub / Löss und Turbidite, sowie die Quarz-Körngrößenfraktion kleiner 20 μm , also die Summation von Ton-, Fein- und Mittelsiltgehalt voneinander abgetrennt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise und der einzelnen Algorithmen findet sich in Seelos (2004), sowie Seelos und Sirocko (2005).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Dünnschliffe unter 25-facher Vergrößerung aufgenommen, die Untergrenze der noch detektierbaren Korngröße lag also bei 20 μm . Einige der oben aufgeführten Routinen (wie etwa die Karbonatdetektion, aber auch einige die Korngrößenverteilung beschreibende Messdaten) standen bei Auswertung, der im Rahmen dieser Arbeit bearbeiteten Dünnschliffe, leider noch nicht zur Verfügung.

5.5. Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung

Die Radiofluoreszenz (RF) Datierung (Erfurt and Krbetschek, 2002; Erfurt et al., 2003) zählt zu den allgemein auf Lumineszenz-Effekten basierenden Verfahren zur Altersbestimmung. Dabei versteht man unter Lumineszenz allgemein jene optische Strahlung die von Elektronen innerhalb der Atome beim Übergang von angeregten, energetisch höheren Zuständen in energetisch tiefere Zustände freigesetzt wird. Dieses Rückfallen kann durch Energiezufuhr stimuliert werden. Von Fluoreszenz spricht man dann, wenn die Lumineszenzstrahlung während der Anregung abgegeben wird, nach der Anregung abgegebene Strahlung wird als Phosphoreszenz bezeichnet. Je nach Art der Anregung differenziert man unter anderem zwischen Thermolumineszenz (TL), optisch stimulierter Lumineszenz (OSL) (mit dem Spezialfall der Infrarot stimulierten Lumineszenz, IRSL), oder bei Stimulation mittels radioaktiver Strahlung von Radiolumineszenz (RL) (beziehungsweise Radiofluoreszenz, RF). Die emittierte Lumineszenzstrahlung belegt dabei typischerweise bestimmte Spektralbanden, wie beispielsweise Infrarot (IR). Infrarot-Radiofluoreszenz (IR-RF) bezeichnet also eine Emission im infraroten Spektralbereich ($\approx 830\text{-}870\text{ nm}$) während (Fluoreszenz) radioaktiver Anregung.

Bei Feldspäten zum Beispiel genügt das Sonnenlicht um die Elektronen zum Rückfall in den Grundzustand anzuregen. Werden die Feldspäte also bei der Sedimentation Lichteinwirkung ausgesetzt befinden sich die Elektronen danach in ihren thermodynamischen Grundzuständen. Der Vorgang des Rückfalles von energetisch höheren zu energetisch niedrigeren Zuständen wird Bleichung genannt. Nach der Sedimentation, bei dann fehlender Lichtbestrahlung, beginnen die Elektronen unter Einwirkung von Wärme- und/oder radioaktiver Strahlung wieder energetisch hochwertigere Zustände zu besetzen. Diese Energie kann später im Labor wiederum durch künstliche Anregung in Form von Lumineszenz freigesetzt und gemessen werden. Die abgestrahlte Energie (Paläodosis genannt) steht in Relation zur Bestrahlungsdauer (also zu der Zeit, die seit der Sedimentation vergangen ist) und zur Bestrahlungsleistung (Energiedosisleistung), die die Feldspäte erfahren haben. Nach Messung der Paläodosis und bei Bekanntsein der Energiedosisleistung (durch Bestimmung der radioaktiven Quellen im Sediment) kann dann die seit der Bleichung verstrichene Zeit ermittelt werden.

Werden die Feldspäte nicht vollständig gebleicht, ergeben folgerichtig die Altersbestimmungen ein zu hohes Alter. Eine unvollkommene Bleichung kann vor allem bei aquatischer, kaum aber bei äolischer Sedimentation auftreten. Erfahren die Feldspäte nach ihrer ursprünglichen (1.) Sedimentation (und Bleichung) eine nicht berücksichtigte (2.) Umlagerung, während der sie dem Sonnenlicht ausgesetzt waren, so weist man fälschlicherweise dem 1. Sedimentationsereignis ein zu geringes Alter zu. Zu geringe Alter ergeben sich auch, wenn die Energiedosisleistung zu hoch, zu hohe Alter dagegen, wenn die Energiedosisleistung zu gering angesetzt wurde.

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen IR-RF Datierungen wurden sämtlich von Herrn Dr. D. Degering und Herrn Dr. M. R. Krbetschek (Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Abteilung TU Bergakademie Freiberg, Institut für angewandte Physik) vorgenommen und sind detailliert in Degering und Krbetschek (2007) veröffentlicht. Dort wird auch die Methodik eingehender erläutert, beziehungsweise werden Verweise zu vertiefender Literatur gemacht. Zuletzt muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Altersbestimmung mittels Lumineszenz-Verfahren zwar etabliert ist, dass aber insbesondere die hier zur Anwendung gekommene Methodiken teilweise neu und noch in der Forschung begriffen waren und sind und sich nahe der theoretischen IR-RF Datierungsgrenze von circa 300-350 ka bewegen (Degering and Krbetschek, 2007). Alle Ergebnisse der Lumineszenz-Datierungen werden daher unter Vorbehalt der methodischen Richtigkeit des Verfahrens diskutiert.

6. Untersuchte Bohrkerne

Insgesamt sind Bohrkerne von 4 verschiedenen Lokalitäten in die vorliegende Arbeit eingeflossen. Tabelle 6.1 listet deren Eckdaten auf. Mittels GPS (*global positioning system*) wurden nur die Bohrpunkte der Lokalität Döttingen (Diehl and Sirocko, 2007) vermessen, zu den restlichen Lokalitäten existieren lediglich Karteneinträge.

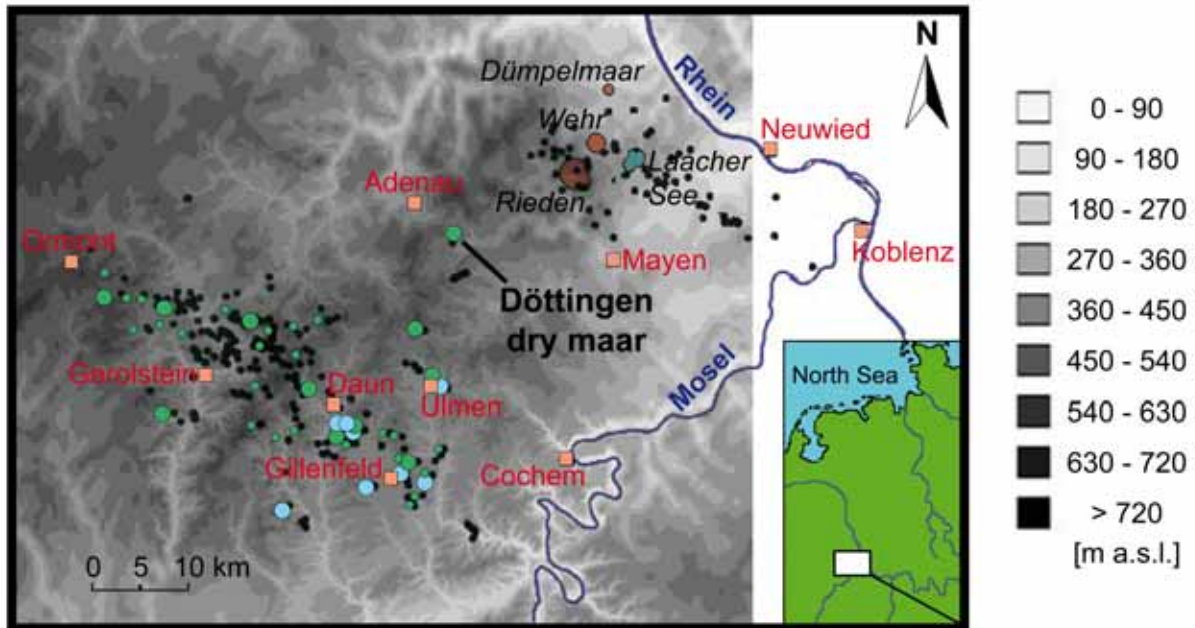
Tab. 6.1: Lage der Bohrlokaltäten und Tiefe der Bohrkerne

Lokalität	Bohrkerne			
	Name	Rechts- / Hochwert	Höhe [m NN]	Tiefe [m]
Döttingen Trockenmaar Eifel Rheinland-Pfalz	DOE 1	2571682 / 5579728	460	89,50
	DOE 2	2571664 / 5579622		14,50
	DOE 3			16,75
Hetendorf / Bonstorf Kieselgurlagerstätte Lüneburger Heide Niedersachsen	BT 1	unbestimmt	≈ 70	17,00
Munster / Breloh Kieselgurlagerstätte Lüneburger Heide Niedersachsen	MU 1	unbestimmt	≈ 72	25,00
	MU 2	unbestimmt	≈ 80	50,00
Bilshausen Tongrube südwestliches Harzvorland Niedersachsen	BI 1	unbestimmt	≈ 155	50,00

6.1. Döttingen, Rheinland-Pfalz, Eifel

6.1.1. Döttingen – Lokalität, Stand der Forschung

Das Döttinger Trockenmaar (→ Abb. 10.12 a/b) ist eines von etwa 70 phreatomagmatischen Eruptionszentren in der Eifel (Büchel, 1984; Büchel and Mertes, 1982). Das Maar liegt bei Herresbach-Döttingen (50.35° N, 7.12° E) (TK 25, Adenau, 5607 & Virneburg, 5608), südwestlich der Autorennstrecke Nürburgring im tertiären Vulkanfeld der Hocheifel. Der reliktsche Maarkessel hat heute 1-1½ km Durchmesser und ist cirka 50 m gegenüber dem rezenten Relief, von etwa 500 m über Meeresniveau, eingetieft. Am südöstlichen Kesselrand liegt der Schlackenkegel des Niveligsbergs, der zusammen mit dem Tuffschlot von Herresbach die nordöstlichsten, quartären Eruptionszentren des Westeifel-Vulkanfeldes repräsentiert. Am östlichen Diatremrand befindet sich ein tertiäres Alkaliolivinbasaltvorkommen (Stachel and Büchel, 1989). Das Döttinger Trockenmaar liegt etwa 12-15 km entfernt vom Eruptionskomplex des zum Osteifel-Vulkanfeld zählenden Riedener Kessels. Die Abbildungen 6.1 und 6.2 illustrieren die Situation.



(Geobasisinformationen (DGM5) © Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland - Pfalz vom 28.06.2005, Az.: 26 722-1.401)

- Quaternary volcanic activity centres of the Eifel:
 - investigated dry maars 'Rammkernsondierung' (up to 10 m depth)
 - investigated dry maars 'Seilkernbohrung' (up to 155 m depth)
 - maar lakes

Abb. 6.1: Quartäre Eruptionszentren der Eifel und Lage des Döttinger Trockenmaares (verändert nach Schminke, 2000 und van den Bogaard & Schminke, 1990). Grün markiert sind die Ramm- und Seilkernbohrungen des ELSA-Projektes (*Eifel Laminated Sediment Archive*) des Institutes für Geowissenschaften der Universität Mainz, blau gekennzeichnet sind die rezent noch nicht trocken gefallenen Maarseen.

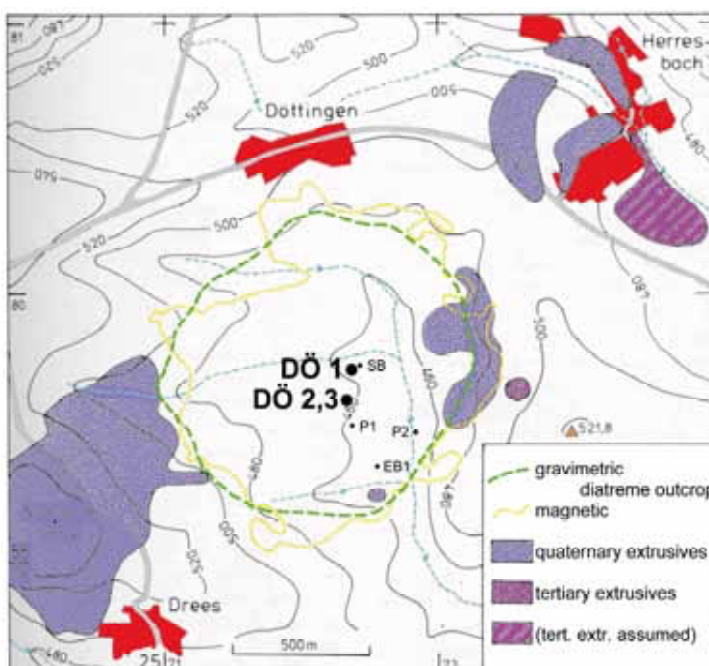


Abb. 6.2: Topographisch-vulkanologische Karte des Döttinger Maares (nach Stachel & Büchel, 1989) mit Lage der im folgenden Text erwähnten Kernbohrungen P1, P2 und EB1, des Baggersturfs SB und der Bohrpunkte DOE 1, 2 und 3.

Der "Wasserversorgungszweckverband" Maifeld-Mayen brachte 1993 drei Bohrungen (P1/2, EB1) im östlichen Kraterteil nieder. Pirrung (1998) schreibt leuzitphonolithische Bimse, welche innerhalb elsterzeitlich angesprochener Tone und Silte, (etwa 9 m unterhalb einer Diatomeengyttja gefunden wurden) der Eruptionsphase des Riedener Kessels zu, dessen Entstehung zwischen 430-380 ka BP datiert wird (van den Bogaard and Schmincke, 1990). Stachel & Büchel (1989) wiesen in einem Baggerschurf (SB in Abbildung 6.2), etwa 2,5 m unter Geländeoberkante, von Torf unterlagerte Gyttjen nach. Die organogenen Ablagerungen stuft Usinger (in Stachel & Büchel, 1989) anhand palynologischer Befunde holsteinzeitlich ein.

6.1.2. Döttingen - Material

Im Rahmen des *Eifel laminated sediment archive* (ELSA) wurden im Jahr 2000 drei weitere Bohrungen (DOE 1-3) (→ Abb. 6.2) im Döttinger Trockenmaar niedergebracht. Palynologisch und sedimentologisch bearbeitet wurde lediglich Bohrkern DOE 3. Kern DOE 2 ist ein zur Bohrung DOE 3 leicht versetzt positionierter Kern, bei welchem die einzelnen Kernmeterstücke mit 50 cm Tiefenversatz zu DOE 1 niedergebracht wurden um die, an den Bohrkernmetergrenzen von DOE 3 potentiell zu erwartenden, Kernverluste auszugleichen (und umgekehrt). In der Bohrung DOE 1 (→ Abb. 10.14) war der hangende Teil der, in den Kernen DOE 2 (→ Abb. 10.13) und DOE 3 (→ Abb. 10.15) vollständig überlieferten, interglazialen Abfolge erodiert. Kern DOE 1 durchteuft jedoch unterhalb der interglazialen Gyttjen, zwischen etwa 7-75 m Tiefe, glaziale Silte, in die zahlreiche Tephren als auch umgelagertes vulkanogenes Material (mit Nebengesteinsklasten) eingebettet sind. Unterhalb 75 m Tiefe, bis zur Basis der Bohrung liegen grauschwarze, monomikt-basaltische, in Ihrem Hangenden verfestigte, zu ihrem Liegenden hin grobklastischer werdende Vulkanite. Wahrscheinlich handelt es sich um autochthon syneruptive Auswürfe der postinitialen Maareruptionphase.

Der im Folgenden behandelte Kern DOE 3 besteht im Liegenden, von 16,75 m bis 13,75 m aus gräulich-grünlichen Silten, die von einer diatomeenhaltigen, undeutlich schichtigen/laminierten, teils brockigen, Gyttja überlagert werden. In ihren obersten 30 cm (13,75-14,05 m) sind die Silte (verstärkt) kalkhaltig (positiver HCl-Test am Kern). Zwischen 13,17-13,21 m liegt eine feinkörnige, weißlich-hellgraue, bimsführende, vulkanische Asche (T8: Tephra 8). Eine weitere Tephralage (T7) befindet

sich zwischen 12,77-12,90 m Tiefe. An deren Top ist die Gytija auf etwa 2 cm (12,75-12,77 m) auffällig deutlich laminiert (synsedimentärer Turbidit). Unterhalb der Tephra-basis (12,77 m) ist die Diatomeengytija auf etwa 15 cm um 30-45° gegen die Horizontale verkippt. In diesem Tiefenbereich finden sich einzelnen Tephren“reste“. Im Tiefenintervall 10,24-10,45 m ist ein Torf eingeschaltet, der mit einer Nebengestein und Bims führenden vulkanischen Asche (T3) (10,17-10,50) verzahnt ist. Darüber folgen wieder, diesmal massig entwickelte (auch mikroskopisch un-laminierte) Diatomeengytijen, die zum Hangenden organischen „Grob“detritus (Holz-stückchen, Pflanzengewebe etc.) führen. Zwischen 7,05-7,45 m Tiefe besteht der Kern aus Silt, zwischen 6,25-7,05 m aus einer bröckeligen Gytija mit einer Siltlage im Bereich 6,38-6,52 m. Ab 6,25 m Tiefe folgen gräulich/grünliche Silte mit rötlicher Streifung im Hangenden. Sie enthalten bei 6,05 m Tiefe eine 2 cm mächtige Gytija-lage, sowie Gytjaklasten zwischen 5,85-5,95 m Tiefe und werden oberhalb 4,90 m durch Kolluvium ersetzt.

Die Tephrenlagen enthalten idiomorphe, unverwitterte Phänokristalle, Bimskörner und/oder ungerundete Nebengesteinsfragmente. Sie sind demnach nicht oder nur geringfügig umgelagert. Die Anwesenheit von Nebengestein, von zerbrochenen Kristallen, sowie ein weites Korngrößenspektrum sprechen für einen explosiven (phreatomagmatischen) Charakter der zu Grunde liegenden Eruptionen. Neben den mit bloßem Auge erkennbaren Tephren existieren noch weitere, nur bei mikroskopischer Untersuchung der angefertigten Dünnschliffe (→ Abb. 10.18) klar, oder überhaupt detektierbarer, vulkanischer Aschelagen. Sie finden sich bei 13,82-13,86 m (T10) und 13,73-13,75 m (T9), bei 13,055-13,075 m (wahrscheinlich T7), um 12,30 m (T6), um 11,895-11,995 m (T5), bei 11,165-11,175 m (T4), bei 9,78-9,79 m (T2) und 6,945-6,960 (T1) m Tiefe. In den Tephren T4, T5 und T6 konnten idiomorphe Leuzite gefunden werden. Bei 11,445-11,45 m finden sich außerdem einige einzelne Leuzit-kristalle. Der idiomorphe Erhaltungsgrad der verwitterungsanfälligen Leuzitkristalle spricht für eine autochthone Lagerung, beziehungsweise für eine nur geringfügige Aufarbeitung der betreffenden Tephren.

Tabelle 6.2 stellt die Kernbeschreibung zusammen, Abbildung 6.3 zeigt Fotografien des Tiefenbereichs 4,75-14,75 m. Die im Folgenden (→ 6.1.4.) beschriebene palynologische Kernstratigraphie ist dabei bereits mit vermerkt.

Tab. 6.2: Kernbeschreibung DOE 3

DOE 3		
Tiefe [m]		Sediment
0,000	0,150	Bodenbildung
0,150	0,900	Kolluvium
0,900	1,000	Kernverlust
1,000	4,900	Kolluvium
4,900	6,040	Silt
6,040	6,060	Diatomeengyttja
6,060	6,250	Silt
6,250	6,380	Gyttja (bröckelig)
6,380	6,520	Silt
6,520	6,945	Gyttja (bröckelig)
6,945	6,960	Tephra 1
6,960	7,050	Gyttja (bröckelig)
7,050	7,450	Silt
7,450	9,780	Diatomeengyttja (unlaminiert)
9,780	9,790	Tephra 2
9,790	10,170	Diatomeengyttja (unlaminiert)
10,170	10,240	Tephra 3
10,240	10,350	Torf
10,350	10,420	Tephra 3
10,420	10,430	Torf
10,430	10,440	Tephra 3
10,440	10,450	Torf
10,450	10,500	Tephra 3
10,500	11,165	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert, im Hangenden in Torf übergehend)
11,165	11,175	Tephra 4
11,175	11,985	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert)
11,985	11,995	Tephra 5
11,995	12,300	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert)
12,300		Tephra 6 (~2 cm mächtig, gestört)
12,300	12,770	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert) (12,75-12,77: Turbidit, synsedimenär zu Tephra 7)
12,770	12,900	Tephra 7
12,900	13,055	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert, verkippt)
13,055	13,075	Tephrareste (Tephra 7 ?!)
13,075	13,170	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert)
13,170	13,210	Tephra 8
13,210	13,730	Diatomeengyttja (undeutlich laminiert)
13,730	13,750	Tephra 9
13,750	13,820	Silt (verstärkt kalkig zwischen 13,75-14,05 m)
13,820	13,860	Tephra 10
13,860	14,750	Silt (verstärkt kalkig zwischen 13,75-14,05 m)
14,750	14,770	Kernverlust
14,770	15,240	Silt
15,240	15,260	Kies
15,260	16,750	Silt

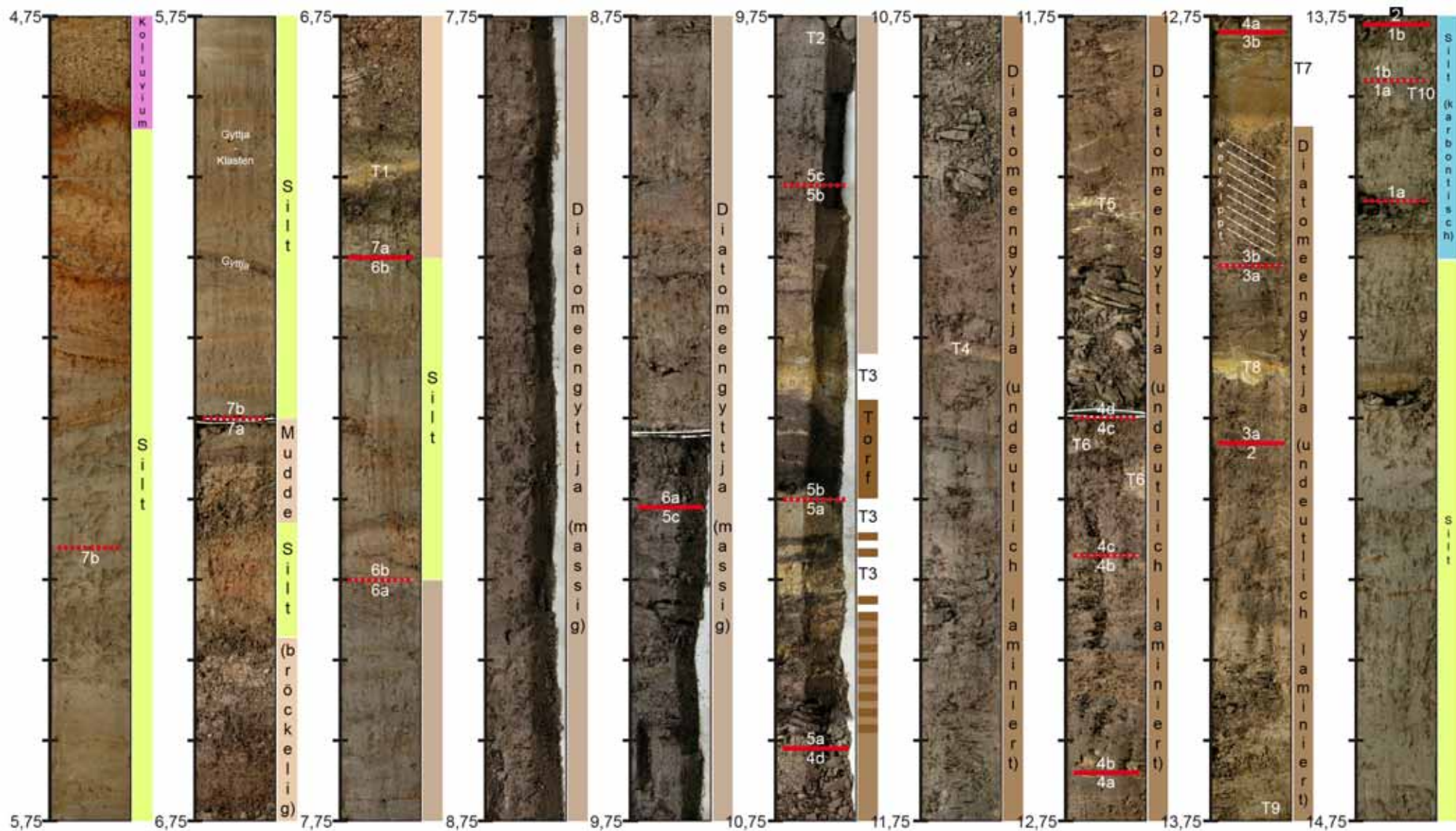


Abb. 6.3: Kern DOE 3, Tiefenbereich 4,75-14,75 m. 1a-7b: Pollenzonen, T1-10: Tephren.

In Kern DOE 3 gibt es Anzeichen für sedimentologische Umlagerungen. Die Verkipfung der Gyttjenlagen (Abb. 6.3, Abb. 6.4, → Abb. 10.15) im, teils Tephren“reste“ führenden Tiefenbereich 12,77-12,90 m (unterhalb T7) steht wahrscheinlich in kausalem Zusammenhang mit der betreffenden vulkanischen Eruption (Verstellung der Schichtung durch Hangrutsch und/oder Tephrenauflast und/oder vulkanischer Tremor/“Erdbeben“). Die teils brockige Ausbildung der Diatomeengyttja an sich, beziehungsweise innerhalb sonst kompakter Bereiche, farbliche Differenzen und insbesondere die Art der Einschaltung der Tephrenlagen T5 oder T6 (Abb. 6.5) deuten auf Umlagerungen innerhalb der Gyttjen. Auch die Verzahnung von Tephrenlage 3 (T3) mit Torf beziehungsweise vertorfender Gyttja (Abb. 6.6) lagert nicht in ungestörter stratigraphischer Superposition. Die Lagerungsverhältnisse im bislang unausgewerteten Parallelkern DOE 2 deuten jedoch an, dass Tephra 3 (T3) stratigraphisch über dem Vertorfungshorizont und demnach jünger als der Torf, anzusiedeln ist (Abb. 6.7). Die überwiegend „bröselig-klastische“ Ausprägung der, von Silten ummantelten, Gyttja zwischen 6,25-7,05 m Tiefe (Abb. 6.8, → Abb. 10.15) deutet ebenfalls auf Um-/Aufarbeitung der Sedimente, beziehungsweise auf ein „unruhiges“ Sedimentationsmilieu. Zwischen 5,85-5,95 m Tiefe sind klastische Gyttjenfragmente in die hangenden Silte eingearbeitet (Abb. 6.9).

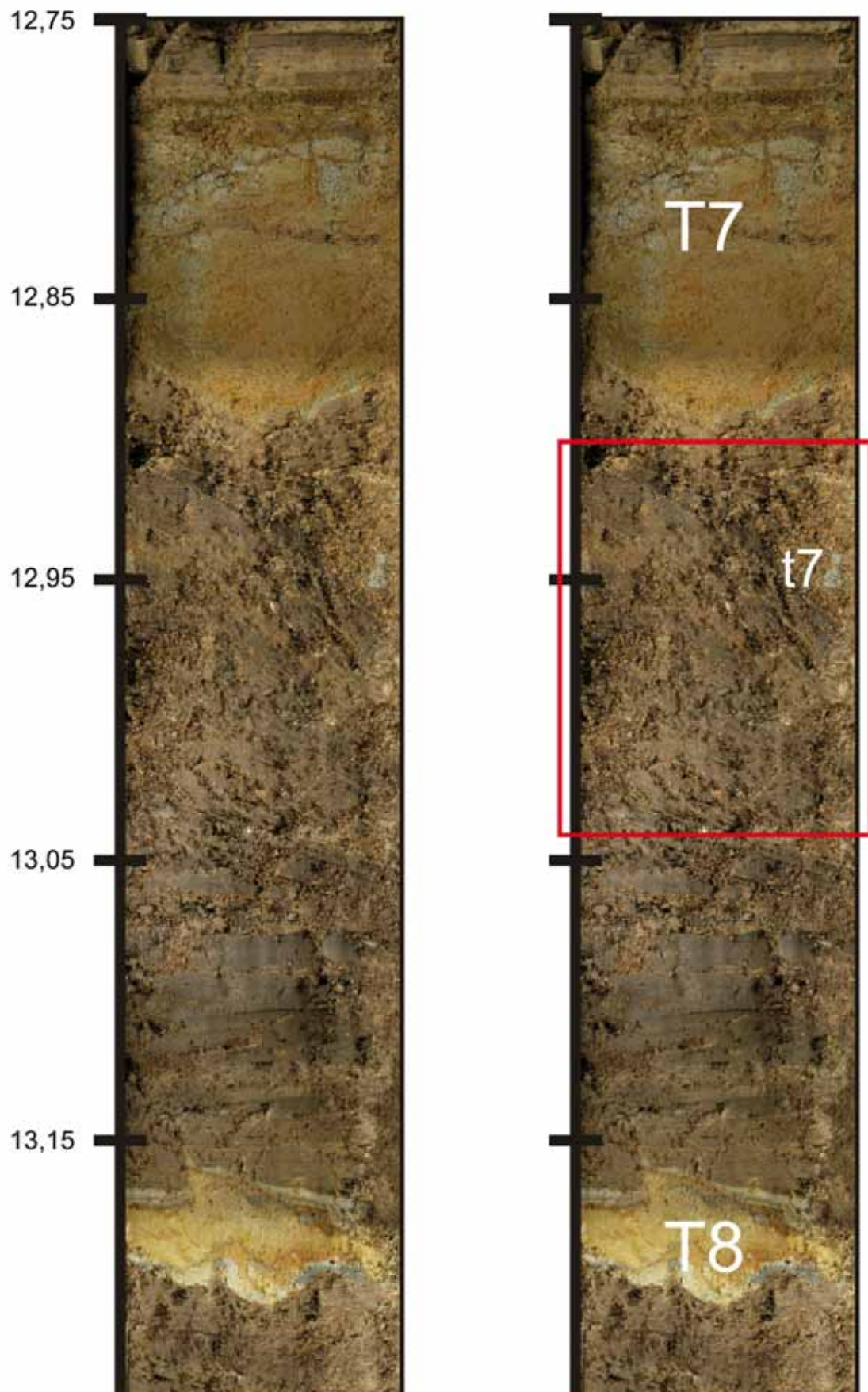


Abb. 6.4: Kern DOE 3, Tiefenbereich um 12,75-13,15 m. T: Tephra, t: Tephrenreste. Rot markiert ist der verkippte Bereich an der Basis von T7.

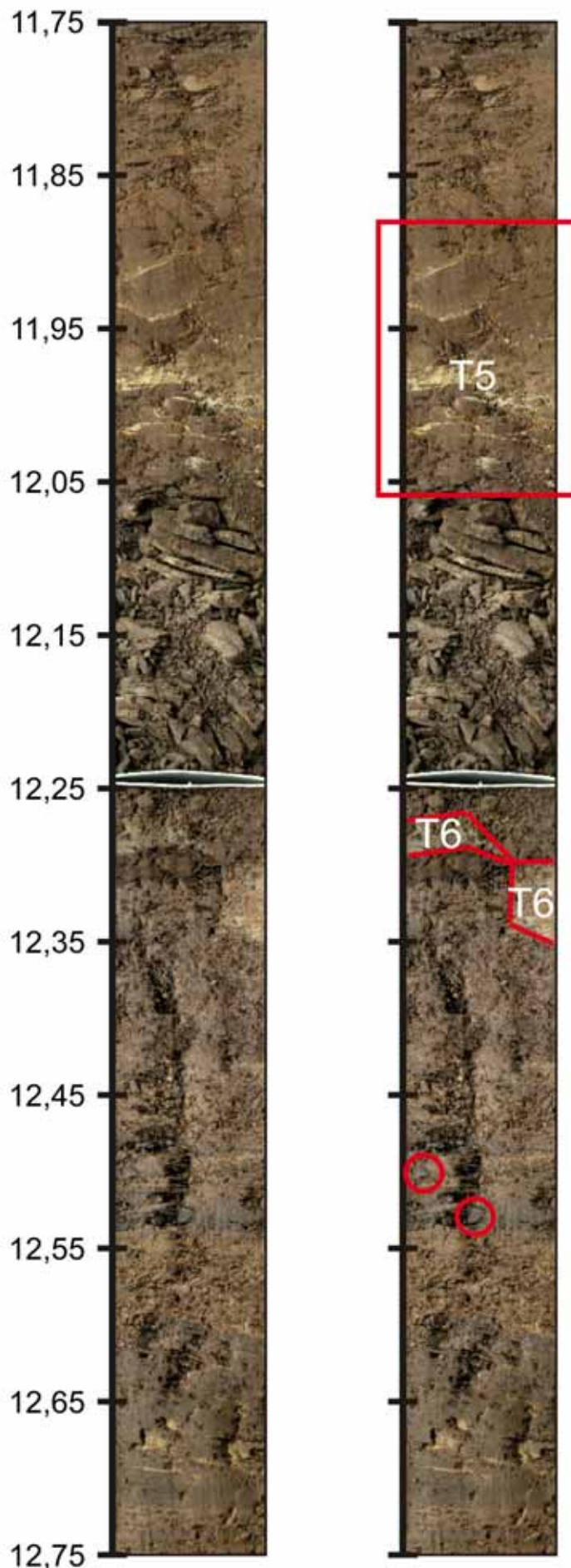


Abb. 6.5: Kern DOE 3, Tiefenbereich 11,75-12,15 m. Tephralage 5 (T5) zeigt innerhalb des rot markierten Bereichs Umlagerungserscheinungen. Die Tephralage T6 ist in sich um einige Zentimeter versetzt. Neben farblichen Differenzen innerhalb der Diatomeengyttja deutet auch die teils brockige Ausbildung an sich, beziehungsweise innerhalb sonst kompakter Bereiche (rote Kreise) auf Umlagerungsvorgänge.

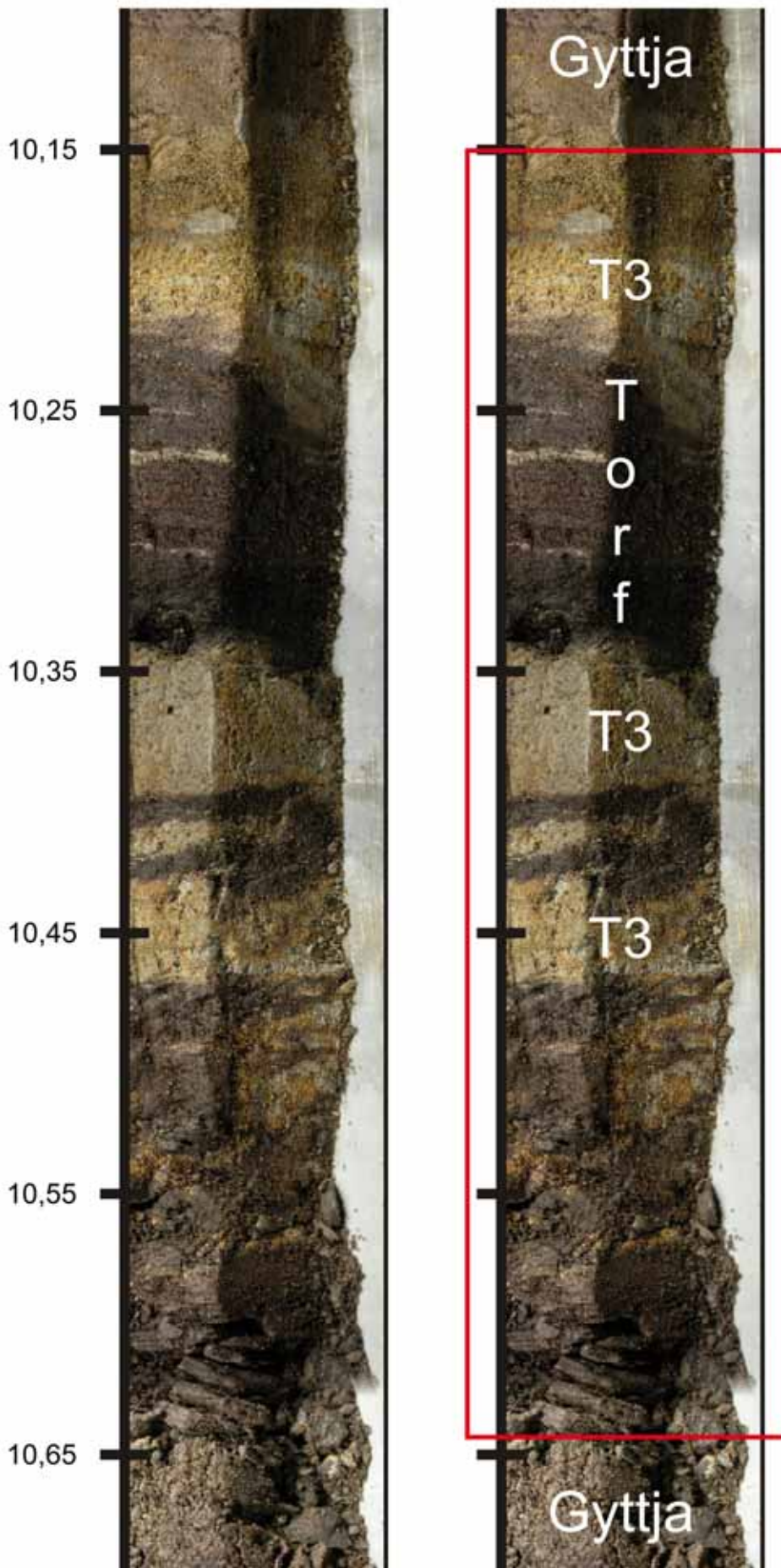


Abb. 6.6: Kern DOE 3, Tiefenbereich um 10,15-10,65 m. Rot umrahmt: Mit Tephra 3 (T3) verzahnter Übergang von Gyttja zu Torf und wieder zu Gyttja.

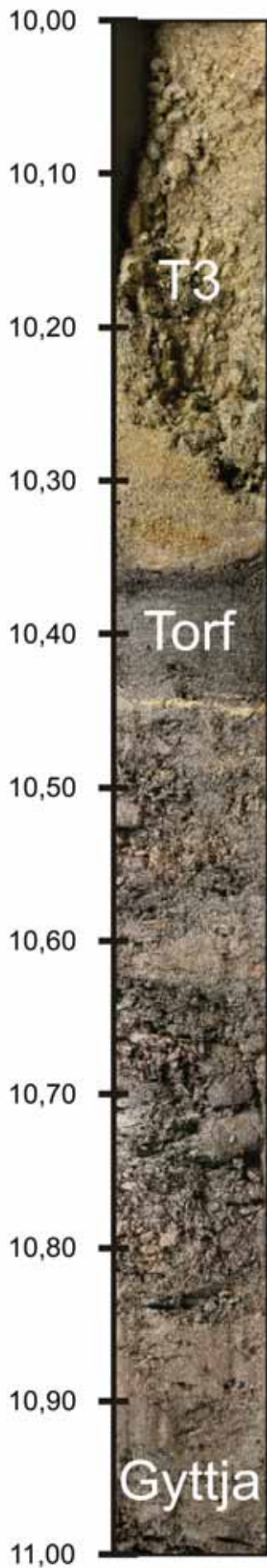


Abb. 6.7: Kern DOE 2, Tiefenbereich 10,00-11,00 m. Tephra 3 (T3) lagert (von einem Kernverlust begleitet) hangend zum Torf. Im überlagernden Kernmeter 9,00-10,00 m ist Tephra T3 nicht mehr präsent.

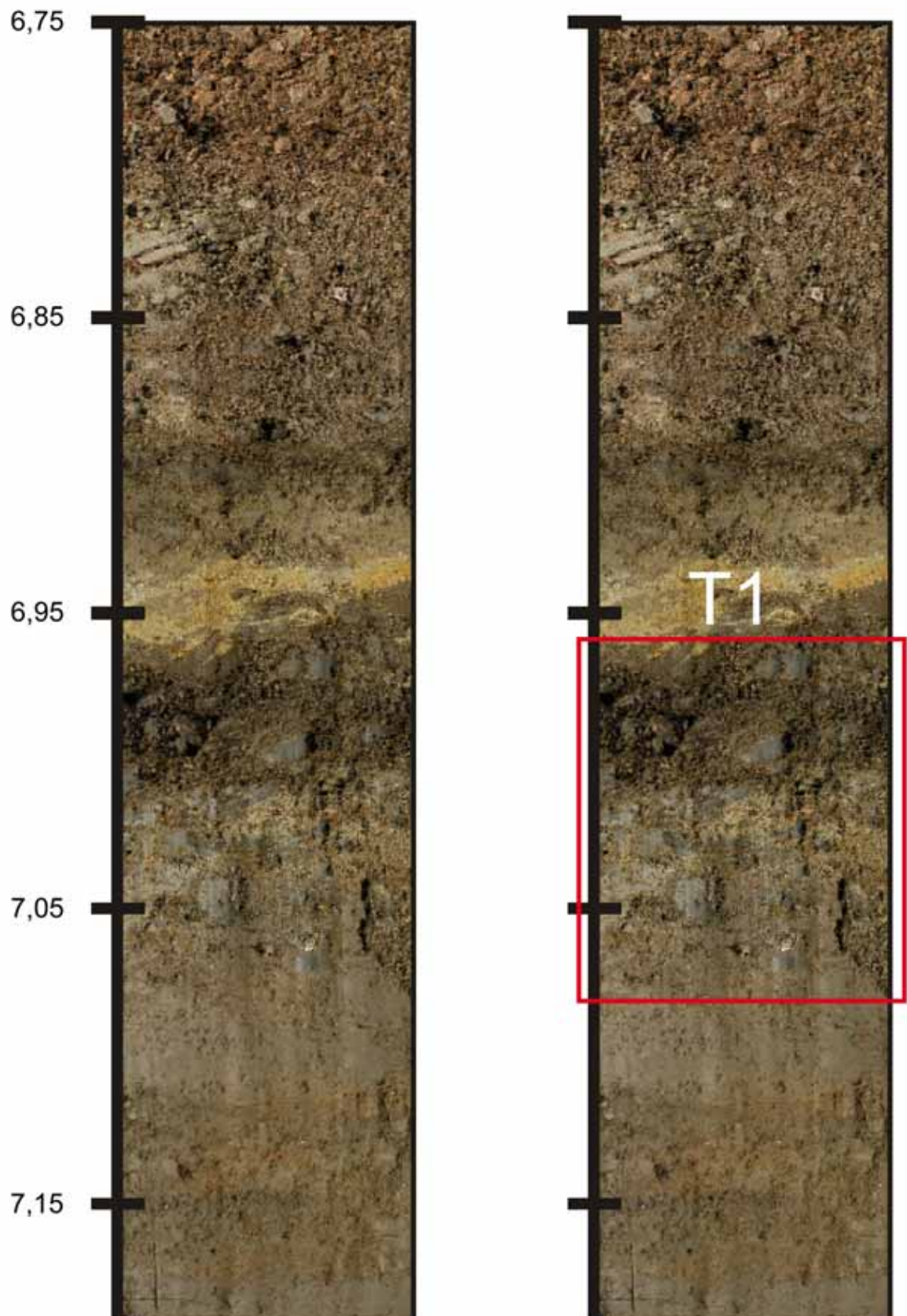


Abb. 6.8: Kern DOE 3, Tiefenbereich um 6,75-7,15 m. Liegendes der zwischen 6,25-7,05 m Tiefe „bröselig-klastisch“ ausgebildeten Gyttja mit Tephrenlage 1 (T1).

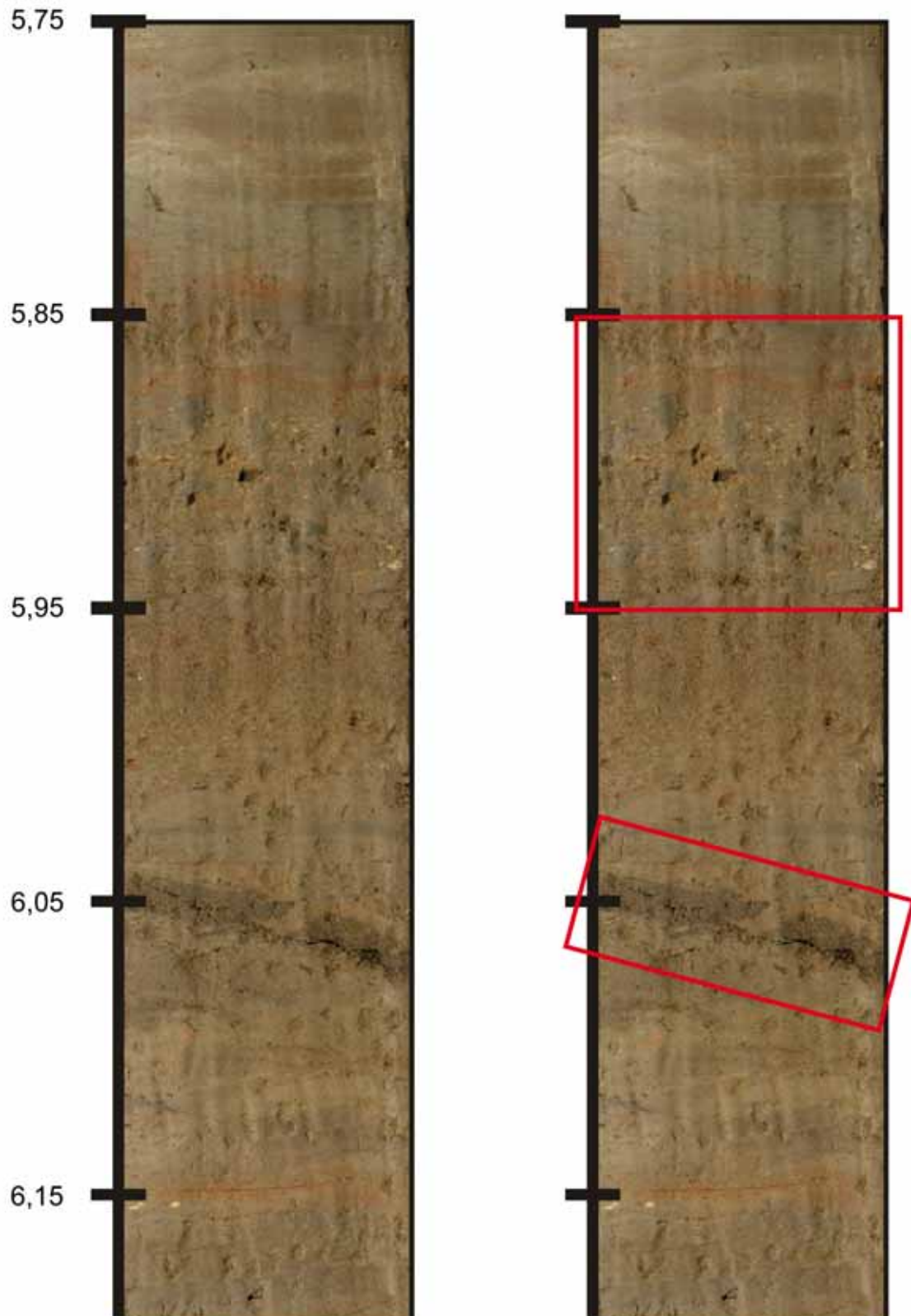


Abb. 6.9: Kern DOE 3, Tiefenbereich um 5,75-6,15 m. In Silt eingearbeitete Gytjenfragmente (6,85-6,95 m) und geringmächtige, schräg und in sich gestört lagernde Gytjitalage um 6,05 m Tiefe, die durch ihre Pollenführung klar als Umlagerung zu interpretieren ist (→ 6.1.4.).

6.1.3. Sedimentologische Untersuchungen am Kern DOE 3

An Kern DOE 3 wurden verschiedene sedimentologische Parameter bestimmt. Zum einen wurde die Trockendichte der Sedimente ermittelt, indem die, für die Pollenzählungen genommenen, Sedimentproben jeweils für 2 Tage bei etwa 50°C getrocknet und anschließend gewogen wurden. Des Weiteren wurde der Verlauf der magnetischen Suszeptibilität gemessen und anhand angefertigter Dünnschliffe (→ Abb. 10.16) Korngrößenuntersuchungen (RADIUS) angestellt. Abbildung 6.10 gibt die tabellarische Kernbeschreibung nach Tabelle 6.2 graphisch wieder und stellt die Trockendichtebestimmungen und Suszeptibilitätsmessungen daneben. Außerdem ist eine Kurve relativer Reaktion bei HCl-Zugabe (relativer Karbonatgehalt) zugefügt.

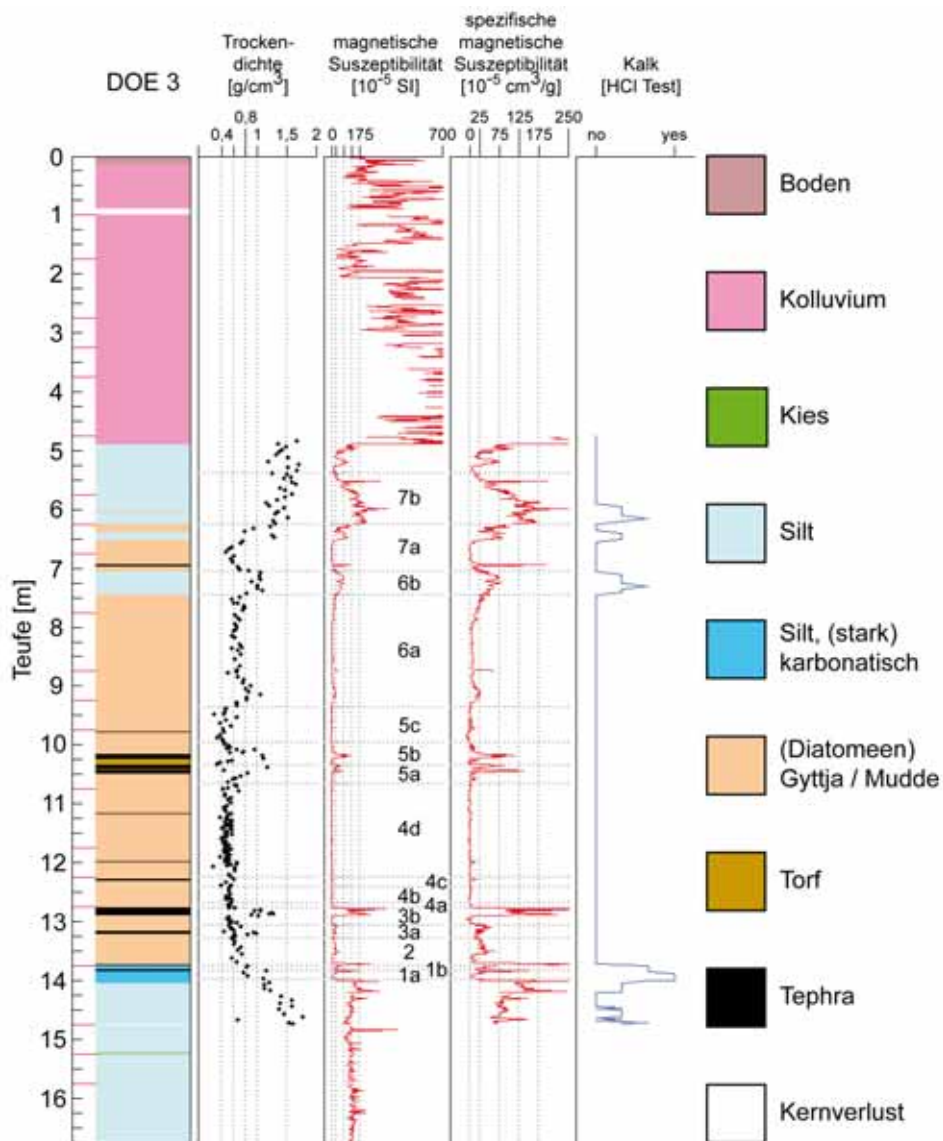


Abb. 6.10: Sedimentologie, Trockendichte, Suszeptibilität und relativer Kalkgehalt, Kern DOE 3. Trockendichte: Schrittweise variabel, Suszeptibilität: Schrittweise 5 mm. (1a-7b: Pollenzonen, → 6.1.4.)

Die präinterglazialen Silte zeichnen sich unterhalb des karbonatisierten, obersten Horizontes durch, dauerhaft um $125 (\approx 75-175) \cdot 10^{-5}$ SI schwankende Werte der magnetischen Suszeptibilität aus ($\approx 75 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$ bei der spezifischen magnetischen Suszeptibilität). Die Suszeptibilitätswerte des kolluvialen Hangschuttetes schwanken extrem, liegen aber meist deutlich um ein Vielfaches (Spitzenwert: $1769,1 \cdot 10^{-5}$ SI) über dem Bereich (minimal innerhalb des Bereichs) der Silte. Die organogenen Gytjen besitzen Suszeptibilitätswerte um Null (teils kleiner Null, minimal $-4,8 \cdot 10^{-5}$ SI). Die Tephrenlagen zeichnen sich durch unterschiedlich starke Maxima der Suszeptibilität aus. Teils sind sie in der Suszeptibilitätskurve auch gar nicht auffällig. Bei den geringmächtigen Tephren können dafür Messungenauigkeiten in Frage kommen (Suszeptibilitätsmesskopf breiter als Tephrenlage, lockeres Sediment etc.), aber bei Tephren sind auch per se, je nach Zusammensetzung und Anteil an magnetisch wirksamen Bestandteilen, unterschiedliche Suszeptibilitätswerte zu erwarten. Die Siltlagen um 7,25 m Tiefe und um 6,50 m Tiefe weisen erhöhte Suszeptibilität auf und erreichen Spitzenwerte auf dem Wertenniveau, wie es für die präwarmzeitlichen Silte charakteristisch ist. Das Siltpaket zwischen 6,25-4,90 m Tiefe weist dagegen in seinem Liegenden deutlich höhere, über dem Niveau der glazialen Silte liegende Werte auf, die jedoch im Hangenden wieder abfallen. Innerhalb der Siltlagen um 7,25 m und 6,50 m Tiefe, als auch im (durch erhöhte Suszeptibilität gekennzeichneten) Liegenden der Silte zwischen 6,25-4,90 m wurden Karbonate nachgewiesen.

Die, die organogenen Sedimente ummantelnden, Siltlagen weisen Trockendichten von etwa $1,5 \text{ g/cm}^3$ auf. Im Gegensatz dazu erreicht das Siltpaket um 7,25 m Tiefe lediglich Werte von etwa 1 g/cm^3 . Im Maximum ähnliche Werte werden zwischenzeitlich auch um 9 m Tiefe, innerhalb der massigen Gytjen erreicht. Dieses Maximum der Trockendichtewerte wird von einem leichten Anstieg der Suszeptibilität begleitet. Während der Pollenaufbereitung konnte in diesem Bereich kein Karbonat nachgewiesen werden. Oberhalb dieses relativen Trockendichtemaximums bewegen sich die Werte zwischen $0,6-0,8 \text{ g/cm}^3$, wohingegen sie sich unterhalb zwischen etwa $0,4-0,6 \text{ g/cm}^3$ eingependelt hatten. Das mit einem Anstieg der Suszeptibilitätswerte gekoppelte Trockendichtemaximum weist auf den Eintrag klastischen Materials hin. Die Dünnschliffauswertungen belegen diese Einschätzung. In Abbildung 6.11 sind unter anderem die, in jeweils 5 Klassen aufgeteilte, Grobsilt- beziehungsweise Feinsand-Fractionen der detektierten Quarzkörner dargestellt.

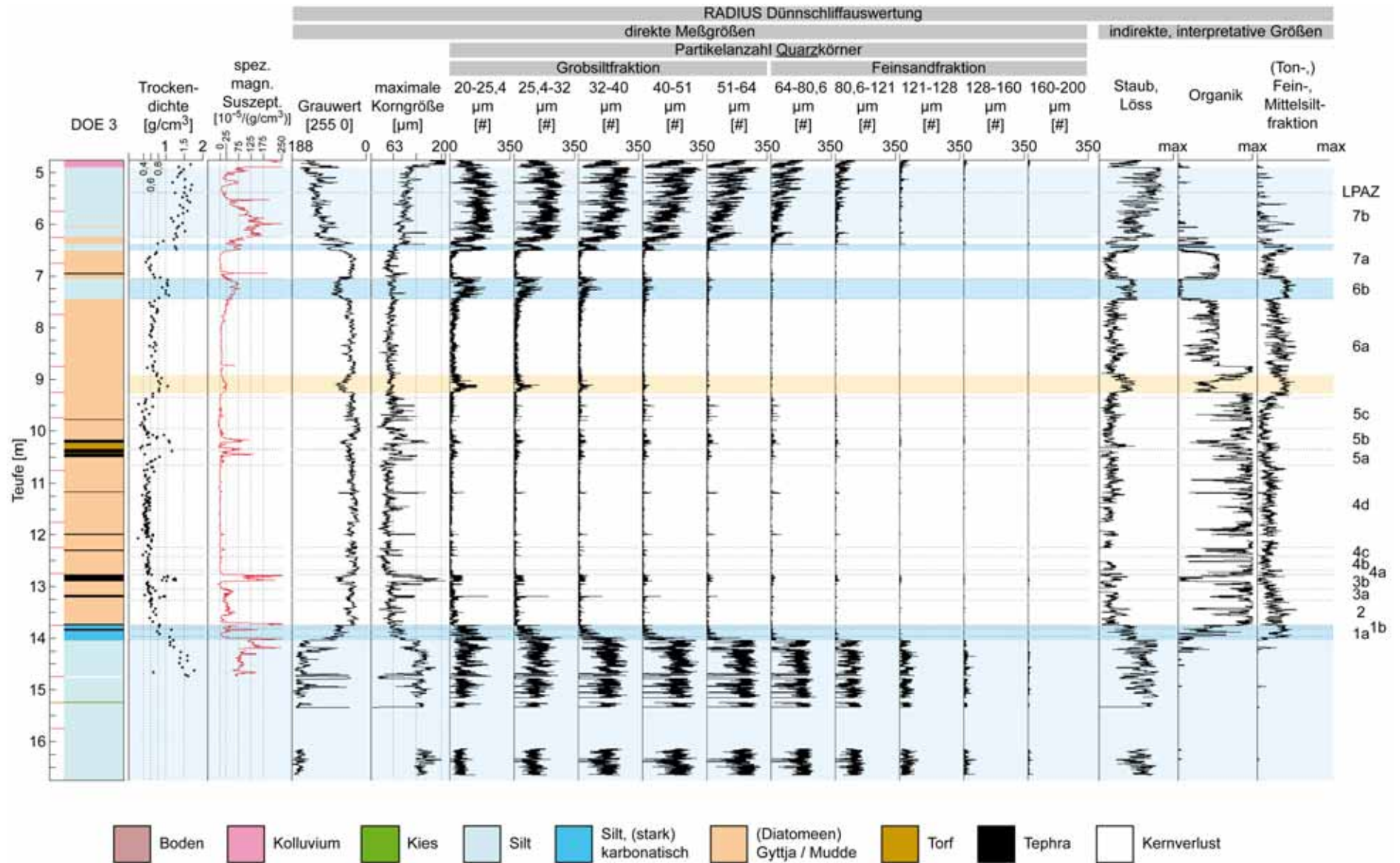


Abb. 6.11: Sedimentologie, Kern DOE 3. (Suszeptibilitätsschrittweite 5 mm, RADIUS-Schrittweite: 0,5 mm, Grauwert, max. Korngröße, interpretative RADIUS-Größen als laufendes Mittel über 1 cm, sonstige Werte als Rohdaten, 1a-7b: Pollenzonen, → 6.1.4.) 80

Die Dichtemaxima werden jeweils von einem Anstieg der Quarzkornanzahl (pro RADIUS-Dünnschliffsegment) innerhalb der Siltfraktion begleitet. Dabei enthält die Siltlage um 7,25 m Tiefe einen höheren Anteil „grobkörnigen“ Materials als der Eintrag um 9 m Tiefe. Generell ist die Quarzkornanzahl zwischen etwa 9 m Tiefe und der Siltlage um 7,25 m erhöht, mit deutlicher Tendenz zu Anteilen in den Korngrößenfraktionen kleiner Grobsilt, also zur Mittel- und Feinsilt- und gegebenenfalls zur Tonkorngrößenfraktion. Zudem wird ersichtlich, dass die glazialen Silte einen deutlichen Feinsandanteil aufweisen (jedoch schon keinen Mittelsandanteil mehr), wobei sich der Feinsiltanteil beim Übergang Interglazial zu Glazial kontinuierlich verstärkt, umgekehrt aber, beim Übergang Glazial zu Interglazial, mit dem Liegendsten des stark kalkigen Horizontes zwischen 13,75-14,05 m Tiefe abrupt abnimmt. Das gleichzeitige Abfallen der Suszeptibilitätswerte an dieser Sedimentgrenze indiziert, dass die magnetische Suszeptibilität der glazialen Silte von klastischem Material im Feinsandbereich, nicht aber im Siltbereich herrührt. Der kalkige Horizont selbst weist eine Korngrößenverteilung etwa der der Siltlage um 7,25 m Tiefe auf.

Die indirekt ermittelte Größe des Korngrößenanteils $< 20 \mu\text{m}$ (äußerste, rechte Kurve in Abbildung 6.11) zeigt, neben der bereits erwähnten, verhältnismäßig verstärkten Präsenz von Korngrößen kleiner Grobsilt im Tiefenbereich kleiner 9 m auch eine anteilmäßige Unterrepräsentanz dieser Korngrößenbereiche innerhalb der prä-, beziehungsweise postinterglazialen Silte. Außerdem weist die Staub/Löss-Detektion auf einen (zumindest anteiligen) äolischen Eintrag der feinsandhöffigen und weniger ausgeprägt auch der feinsandfreien Lagen (Siltlage um 7,25 m Tiefe, klastisches Material um 9 m Tiefe, karbonatisierte Lage zwischen 13,75-14,05 m Tiefe).

Tabelle 6.3 stellt die sedimentologischen Eigenschaften äolisch geprägter/beeinflusster Ablagerungen in Kern DOE 3 gegenüber. Es lassen sich mehrere Staub/Löß-Typen differenzieren. Sie unterscheiden sich in ihrer Korngrößenzusammensetzung, ihren Suszeptibilitätswerten, sowie in ihren Organik- und Karbonatgehalten, wobei insbesondere letztere post- oder/und synsedimentärer Natur sein können. So sind etwa die hohen Karbonatgehalte zwischen 13,75-14,05 m Tiefe auf postsedimentäre Karbonatfällung zurückzuführen (\rightarrow 6.1.5.). Die vorgenommene Beurteilung der Staub/Löß-Typen in glazial, interglazial, präglazial, beziehungsweise präinterglazial beruht auf den palynologischen Auswertungen (\rightarrow 6.1.4.). Das Korngrößenspektrum der karbonatisierten Siltlage zwischen 13,75-14,05 m Tiefe ist durch die eingearbeitete Tephra (T 10) zu etwas größeren Korngrößen verfälscht.

Tab. 6.3: Vergleich äolisch geprägter/beeinflusster Sedimente in Kern DOE 3. (+/-: ja, vorhanden/nein, nicht vorhanden, *igd*: interglazial dust, *gl*: glacial loess, *pgl*: pre-glacial loess, *pigl*: pre-interglacial loess)

Tiefe [m]	spezifische Suszeptibilität [10 ⁻⁵ SI/(g(cm ³))]	Korngrößen(klassen)				Organik	Karbonat	Staub/ Löß-Detektion (Beurteilung)
		max. Korngröße [µm]	Ton, Fein-Mittel-Silt	Grob-silt	Fein-sand			
4,90- 5,75	Uneinheitlich	64	-	+	+(+)	-	-	++ (gl, type C)
5,75-6,06 6,06-6,25	125-175	128	-	+	+	-	+	+ (gl, type B)
6,38-6,52 7,05-7,45	≤ 75	≈ 64	+	+...-	-	-	+	+ (pgl)
≈ (8,90-9,25)	≤ 25	≈ 64	+	+...-	-	+	-	+ (igd)
13,75-13,82 13,86-14,05	≤ 25	≈ 64	+	+...-	-	(+)	++	+ (pigl)
14,05-14,75 14,77-15,24 15,26-16,75	75-125	≈ 128	-	+	++	-	-	++ (gl, type A)

6.1.4. Palynologische Untersuchungen am Kern DOE 3

Die in diesem Kapitel vorgestellten Pollenzählungen/-diagramme sind bereits im Rahmen von DEKLIM publiziert worden (Diehl and Sirocko, 2007). Die palynologische Sequenz DOE 3 wurde in 7 lokale Hauptpollenzonen mit insgesamt 16 Unterzonen untergliedert (LPAZ: *local pollen assemblage zones*). Die Pollenzonen und deren Grenzen wurden anhand der Pollenprozentwertdiagramme (Abb. 6.12 a/b) erstellt und dann auf die Absolutwertdiagramme (Abb. 6.13 a/b) übertragen. Diese Vorgehensweise ermöglicht den direkten Vergleich mit den Pollenzonendefinitionen anderer Autoren, die sämtlich auf Prozentwertdiagrammen beruhen. In folgenden den Diagrammen sind die grauen Schattenrisse zehnfach überhöht, bei den Tiefen sind die Bohrkerngrenzen rot markiert. EMW steht für Eichenmischwald. Die Anzahl gezählter Palynomorphen kann Abbildung 10.17 im Anhang entnommen werden.

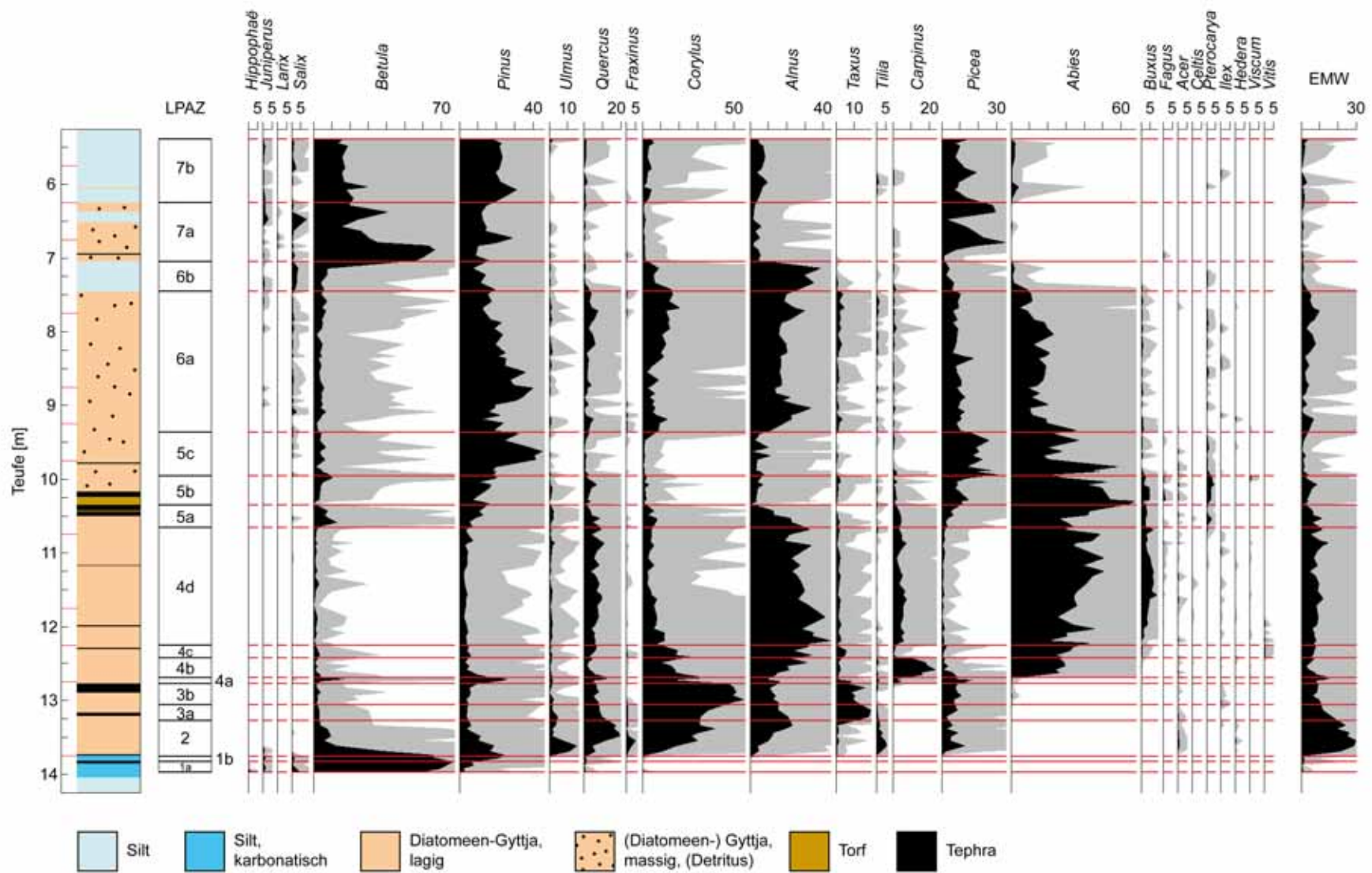


Abb. 6.12 a: Pollenprozentwertdiagramm Baumpollen, DOE 3. Werte in % terrestrischer Pollen.

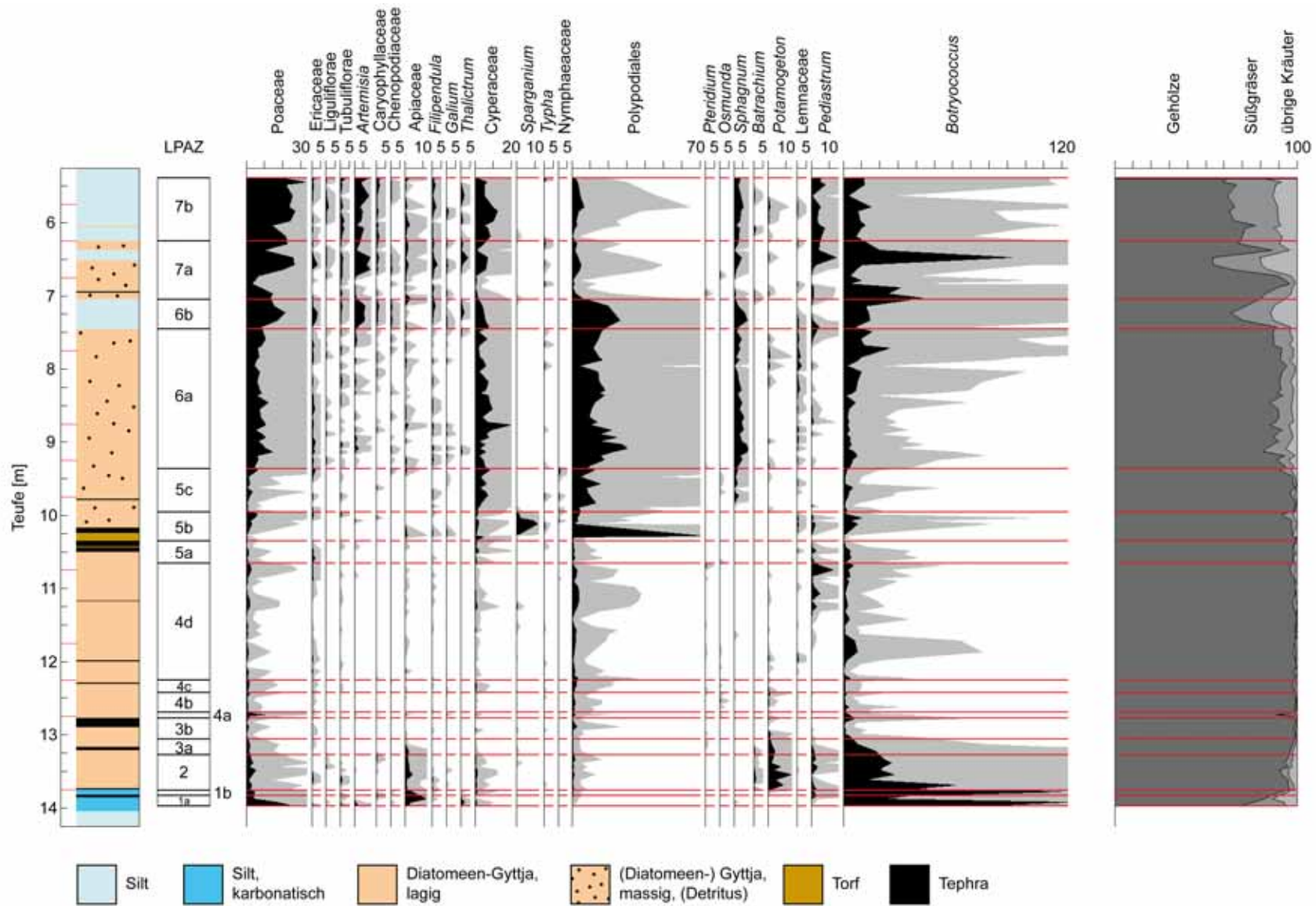


Abb. 6.12 b: Pollenprozentwertdiagramm Nichtbaumpollen, DOE 3. Werte in % terrestrischer Pollen.

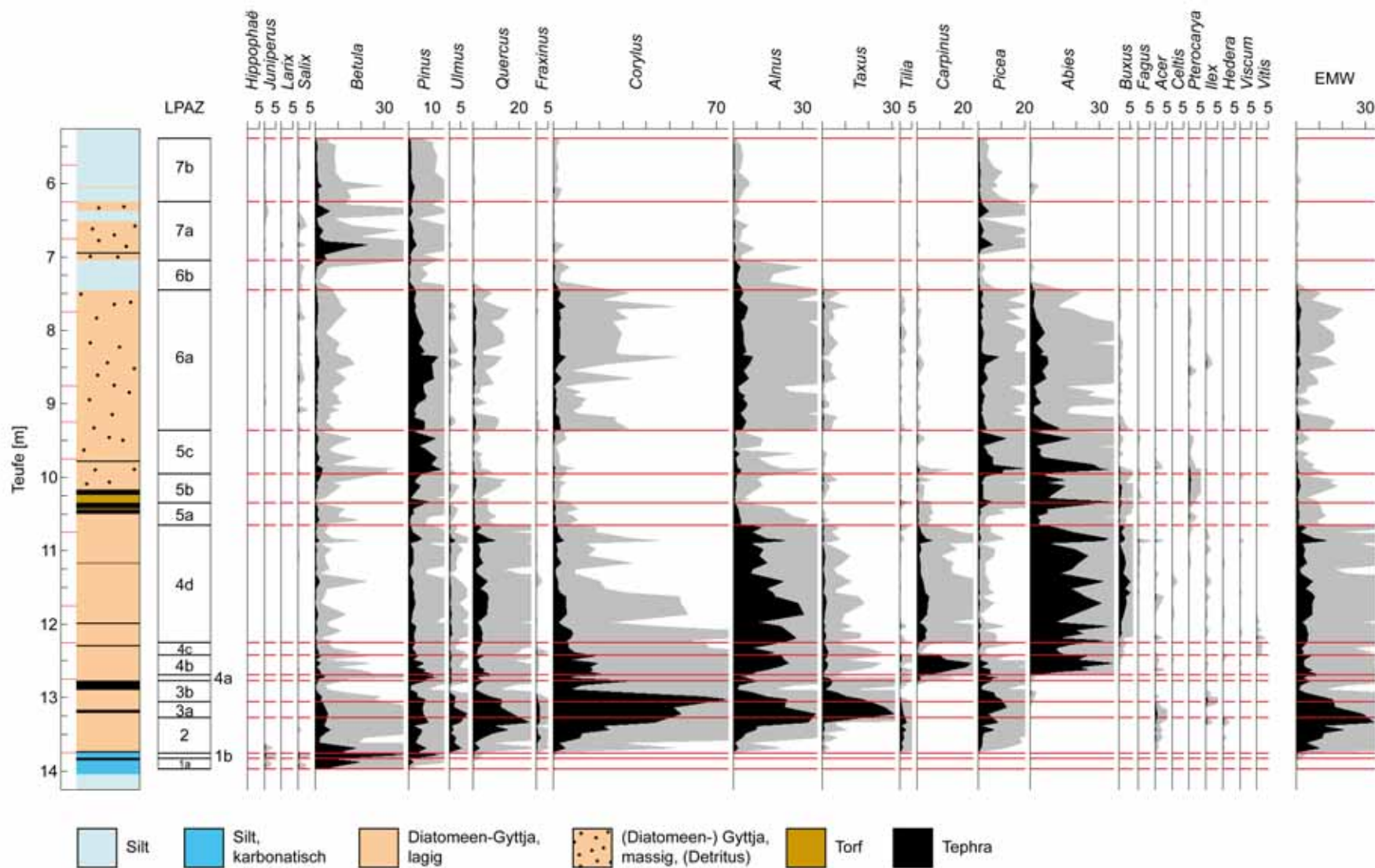


Abb. 6.13 a: Pollendichtediagramm Baumpollen, DOE 3. Werte in 10^4 Pollen/cm³.

Im Folgenden werden die palynologischen Merkmale der definierten Pollenzonen dargestellt und gegebenenfalls zur Sedimentologie von Kern DOE 3 in Bezug gesetzt. Dabei wurden zu der als Eichenmischwald betitelten Pflanzengemeinschaft *Quercus* (Eiche), *Ulmus* (Ulme), *Fraxinus* (Esche), *Tilia* (Linde) und *Acer* (Ahorn) gezählt.

LPAZ 1

Pollenzone 1 korreliert mit dem oberen, karbonatischen Teil der liegenden Silte. Die Pollenzone umfasst eine initiale Wiederbewaldungsphase und eine Übergangsphase hin zu den Laub(Eichen)mischwäldern von Pollenzone 2. In der, noch von hohen Nichtbaumpollenanteilen (insbesondere Poaceae) geprägten, LPAZ 1a konnte als Pioniergehölz *Hippophaë* (Sanddorn) und bei den krautigen Heliophythen *Potentilla* (Fingerkraut), *Helianthemum* (Sonnenröschen) und *Knautia* (Witwenblume) (die drei letzteren sind im Pollendiagramm nicht dargestellt) nachgewiesen werden. Die im Prozentwertdiagramm vorgenommene Abgrenzung zu LPAZ 1b anhand des beginnenden *Betula*- Rückganges wird durch das Absolutwertdiagramm der Pollendichte pro cm³ nicht gestützt. Hier kumulieren die Werte von *Betula* und *Pinus* in LPAZ 1b, wobei diese Pollenzone in etwa von den Tephrenlagen T9 und T10 umschlossen wird. Die Anzahl der, sporadisch schon in LPAZ 1a gefundenen, Pollen von *Quercus* (und in geringerer Zahl auch von *Corylus*) ist in LPAZ 1b leicht erhöht.

Grenze LPAZ 1/2: Erscheinen von *Alnus*, *Ulmus*, *Fraxinus* und *Taxus*.

LPAZ 2

Mit LPAZ 2 setzt die Ablagerung von schichtigen, mikroskopisch undeutlich laminierten Diatomeengyttjen ein. Die Pollenzone wird durch eine von *Betula*, *Pinus*, *Alnus*, *Corylus* und insbesondere auch von *Picea* begleiteten Eichenmischwaldgesellschaft geprägt. *Tilia* und *Acer* erscheinen erst nach *Ulmus* und *Fraxinus*, aber etwa zeitgleich mit *Picea*. Während das Prozentwertdiagramm in LPAZ 2 fallende *Pinus* Bestandsanteile suggeriert, erscheinen diese im Absolutwertdiagramm als in etwa konstant. Bei den Nichtbaumpollen sind in LPAZ 2 neben den Süßgräsern vor allem und wie auch schon in Pollenzone 1 die Doldenblütengewächse (Apiaceae = Umbelliferae) vertreten.

Grenze LPAZ 2/3: (Steil-)Anstieg von *Taxus*, Rückgang von *Quercus*, jeweils sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 3

LPAZ 3 ist durch das absolute Maximum von *Taxus* im Interglazial charakterisiert. Die Subzonierung von LPAZ 3 wurde anhand der erstmals in LPAZ 3b gefundenen Pollen von *Abies* vorgenommen. In LPAZ 3b liegt außerdem das absolute Maxima von *Corylus*, sowohl im Prozentwert- als auch im Pollendichtediagramm, während die entsprechenden Maxima bei *Taxus* in LPAZ 3a zu liegen kommen.

Innerhalb LPAZ 3a liegt Tephralage T8. Die palynologische Grenz LPAZ 3a/b spiegelt sich auch in den Lagerungsverhältnissen der Gytjen wieder. In LPAZ 3b sind diese um etwa 30-45° gegen die Horizontale verkippt. Im Hangenden wird LPAZ 3b durch die, teilweise mit Gytja vermengte, Tephralage T7 abgeschlossen. Die hangenden Gytjen sind in den ersten, direkt auf die „Asche“ folgenden, etwa zwei Zentimetern (12,75-12,77 m), auffallend deutlich laminiert, weshalb sie als Ablagerung eines kausal der Tephra deposition folgenden Trübestroms gedeutet werden.

Grenze LPAZ 3/4: Starker Rückgang von *Corylus*, Erscheinen von *Carpinus*. In der nachfolgenden Tabelle 6.5 wurde die Grenze LPAZ 3/4 dem Top der Tephralage T7 gleichgestellt, tatsächlich bildet die Tephra an sich die Grenze.

LPAZ 4

Wie die Pollenzonen 2 und 3 besteht LPAZ 4 aus undeutlich laminierten Diatomeengytjen. Innerhalb der Pollenzone wurden drei geringmächtige Tephren (T4, T5, T6) gefunden. Innerhalb der, durch einen Rückschlag bei *Carpinus* charakterisierten, LPAZ 4c befindet sich die 1-2 cm mächtige, gestörte, leuzitführende Tephralage T6. Die beiden anderen „Aschen“ lagern in LPAZ 4d. Im Pollendichtediagramm fallen die Tephren T5 und T6 mit relativen Minima von insbesondere *Alnus* zusammen.

LPAZ 4a

Pollenzone 4a ist geprägt durch prozentuale Spitzen bei *Betula*, *Pinus*, *Picea* und Poaceae. Dabei zeigt sich bei einem Vergleich von Prozentwert- und Pollendichtediagramm, dass die extrem steilen Maxima bei den genannten Baumarten nicht von

proportionalen Anstiegen in den Absolutwerten dieser Arten begleitet werden. Lediglich bei den Süßgräsern wird der prozentuale auch von einem, ähnlich auffallenden, absoluten Ausschlag vergleichbaren Faktors begleitet. Dies spiegelt sich auch wieder in dem Abb. 6.12 b beigefügten Vergleich von Baumpollen zu Nichtbaumpollen, wo in LPAZ 4a ein kurzfristiger Einbruch bei den Gehölzpollen zu verzeichnen ist. Die Überbetonung (der Spitzen von *Betula*, *Pinus* und *Picea*) im Prozentwertdiagramm rührt daher, dass in LPAZ 4a die übrigen Taxa (insbesondere *Corylus*) mehr oder minder ausgeprägte Minima in ihren Absolutwerten aufweisen.

Grenze LPAZ 4a/4b: (Steil-)Anstiege von *Carpinus* und *Abies*, jeweils sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 4b

In Pollenzone 4b erreicht *Carpinus* seine maximale Präsenz im Profil. Bei den Farnen ist *Osmunda* (Königsfarn) verstärkt nachzuweisen.

Grenze LPAZ 4b/4c: (Steil-)Abfall von *Carpinus*, sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 4c

In LPAZ 4c kommt es zu einem fast vollständigem Verschwinden von *Carpinus*-Pollen. Auffällig ist das vermehrte Auftreten *Vitis* (Weinrebe) in dieser Pollenzone. Der von LPAZ 4c repräsentierte Zeitabschnitt des Holstein wird im Folgenden (insbesondere auch zu Korrelationszwecken mit anderen und den später vorgestellten holsteinzeitlichen Pollenprofilen) als intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum (*intraholsteinian Carpinus minimum*), kurz IHCM, bezeichnet.

Grenze LPAZ 4c/4d: (Wieder-)Anstieg von *Carpinus*, sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 4d

In LPAZ 4d „erholt“ sich der Bestand von *Carpinus*, was sich sowohl im Prozentwert-, als auch Absolutwertdiagramm widerspiegelt. Diese Pollenzone ist außerdem durch die Expansion von *Buxus* (Buchsbaum), der schon seit Beginn von LPAZ 4 nachzuweisen ist, sowie dem Erscheinen von *Fagus* (Rotbuche) (regelmäßig), von *Celtis*

(Zürgelbaum) (sporadisch) und gegen Ende der Pollenzone auch von *Pterocarya* (Flügelnuss) charakterisiert. *Picea* und *Betula* erreichen ihre absoluten Minima im Profil.

Grenze LPAZ 4/5: Beginnender, prozentualer Rückgang von *Alnus*, im Pollendichtediagramm als abrupter Abfall ausgebildet.

LPAZ 5

Palynologisches Hauptmerkmal von Pollenzone 5 ist der zwischenzeitliche Rückgang bei vor allem *Alnus* und *Corylus*. Beide Taxa „erholen“ sich in der folgenden Pollenzone 6a. Weniger deutlich, aber sowohl im Prozent- als auch im Absolutwertdiagramm, ist dieser Verlauf auch bei *Quercus*, *Taxus* und *Carpinus* festzustellen. *Pterocarya* erreicht in LPAZ 5 seine Maximalwerte.

LPAZ 5a

LPAZ 5a besteht (wie schon LPAZ 2-4) aus undeutlich geschichteten Diatomeengyttjen. Das noch zu LPAZ 5a gezählte Liegende von Tephra T3, bis zur Unterkante des Torfhorizontes, stellt als zeitloses *event* die eigentliche Grenze zu Pollenzone 5b dar und zählt in diesem Sinne nicht zu den Ablagerungen von LPAZ 5a.

Im Prozentwertdiagramm ist die Zone durch abfallende Werte von *Alnus* bei ansteigenden Werten von insbesondere *Betula*, *Pinus* und *Picea* geprägt. Der Vergleich mit dem Pollendichtediagramm zeigt, dass die prozentualen Anstiege letzterer jedoch nicht mit absoluten Anstiegen einhergehen, sondern von absoluten Abfällen vor allem bei *Alnus* und *Abies*, bei den Eichenmischwaldvertretern, sowie bei *Carpinus*, *Taxus*, *Corylus* und *Buxus* herrühren.

Grenze LPAZ 5a/5b: Ende des prozentualen Rückganges von *Alnus*.

LPAZ 5b

Pollenzone 5b ist sedimentologisch zwei(drei)geteilt. Im Liegenden befindet sich circa 10 cm Torf, gefolgt von Tephra T3, die wiederum von Diatomeengyttja überlagert wird. Dabei zeigt die Gyttja im Liegenden von LPAZ 5b noch eine undeutliche, mikroskopische Lamination, während sie im Hangenden von LPAZ 5b von massigem Habitus ist. Die (durch die Einschaltung von Tephra T3 im Kern DOE 3 nicht klar

abgrenzbare) Unterkante des beschriebenen Torfhorizontes bildet die Grenze der Pollenzonen 5a und 5b.

Der Torf selbst ist stark mit Sporen von Polypodiales und Pollen von Koniferen (primär *Abies*) durchsetzt (siehe Abb. 6.12 b). Die geringe Artenvielfalt deutet auf selektive Korrosion weniger widerstandsfähiger (also in der Exine weniger Sporopollenin enthaltender) Pollentypen hin (Straka, 1957; Straka, 1975) in Folge dessen es zu einer Anreicherung von resistenteren Formen wie Koniferenpollen kommt. Die hangende Gytja enthält eine auffällige Kumulation an Pollen von *Sparganium* (Igelkolben), als auch das Maximum von *Pterocarya* im Profil.

Grenze LPAZ 5b/5c: (Steil-)Anstieg von *Picea*, sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 5c

Die Diatomeengytjen von LPAZ 5c sind von massiger Ausprägung und reich an Detritus (Holzstückchen, Pflanzenresten). In LPAZ 5c kommt es zu prozentualen, wie absoluten Anstiegen von *Picea* und auch *Pinus*. Zusammen mit *Abies* dominieren Koniferenpollen das Profil. Bei den Nichtbaumpollen treten nun verstärkt Cyperaceae in Erscheinung. Die Gehalte an Sporen von Polypodiales steigen auf ihre in LPAZ 6 durchhaltend erhöhten Werte. *Sphagnum* (Torfmoos) erscheint und bildet bis zum Profilende eine nahezu geschlossene Kurve. *Salix* (Weide) erscheint wieder häufiger.

Grenze LPAZ 5/6: (Wieder-)Anstieg von *Alnus* und *Corylus*, sowohl prozentual als auch absolut.

LPAZ 6

Hauptmerkmal von LPAZ 6 sind die wieder angestiegenen Werte von *Alnus* und *Corylus* (*Quercus* und *Taxus*) bei jedoch jetzt, im Vergleich zu LPAZ 4d, erhöhten Werten von *Pinus*, *Picea* und *Betula* und verringerten Werten von *Abies*. Des Weiteren steigt an der Grenze 5c/6 der Anteil der Nichtbaumpollen, insbesondere der Poaceae durchhaltend auf mindestens 10 %. Bei den Sporen bleiben Polypodiales und *Sphagnum* stark vertreten. Cyperaceae behalten ihre während LPAZ 5c erreichten Werte bei. Lemnaceae (Wasserlinsengewächse) können in Pollenzone 6 praktisch durchgehend nachgewiesen werden. Das Sediment besteht, wie auch in LPAZ 5c, aus massiger Diatomeengytja.

LPAZ 6a

In LPAZ 6a sind die Werte von *Alnus* und *Corylus*, aber auch von *Quercus*, *Taxus* und undeutlicher auch von *Carpinus* wieder angestiegen. *Alnus* und *Taxus* erreichen etwa die gleichen prozentualen Werte, *Quercus* und vor allem *Carpinus* niedrigere, *Corylus* vor allem gegen Ende von LPAZ 6a sogar höhere Werte als in LPAZ 4d. Ein Anstiegstrend bei den Prozentwerten zum Ende von LPAZ 6a hin ist weniger deutlich auch bei *Quercus* und *Taxus* zu erkennen. *Tilia*, *Buxus* und *Pterocarya* sind präsent, wobei auch bei *Tilia* ein Anstiegstrend bei den Prozentwerten gegen Ende von LPAZ 6a zu erkennen ist. Die Prozentwerte von *Picea* fallen an der LPAZ 5c/6a Grenze, bleiben dann aber stabil bei Werten vergleichbar den Pollenzonen 2 und 3. *Betula* behält die gegenüber LPAZ 4d erhöhten, schon während Pollenzone 5 erreichten Prozentwerte bei. Nach dem absoluten Prozentwertmaximum von *Pinus* in LPAZ 5c zeigen die Werte gegen Ende von LPAZ 5c und zu Beginn von LPAZ 6a ein relatives Minimum (welches sich auch im Absolutwertdiagramm wieder findet) um dann wieder Werte ähnlich LPAZ 5c zu erreichen und schließlich zum Ende von Pollenzone 6a hin mehr oder minder kontinuierlich abzufallen. Dieser Abfall von *Pinus* findet sich auch im Pollenabsolutwertdiagramm. Dort ist außerdem ein Ausklingen der Absolutwerte von *Abies* gegen Ende LPAZ 6a zu erkennen. Diese Trends verstärken sicher die anfangs angesprochenen prozentualen Anstiege von insbesondere *Corylus* oder *Quercus* gegen Ende von Pollenzone 6a. Bei den Eichenmischwaldvertretern ist der seit Pollenzone 2 durchgehend zu findende *Acer* praktisch nicht mehr vertreten. *Salix* bildet in LPAZ 6a eine geschlossene Kurve.

Grenze LPAZ 6a/6b: Rückgang von *Abies* und der Eichenmischwaldvertreter, Verschwinden von *Buxus*.

LPAZ 6b

In LPAZ 6b kommt es zum Rückgang der Eichenmischwaldvertreter sowie von *Abies* und *Taxus*. *Buxus* wurde ab einschließlich Pollenzone 6b nicht mehr gefunden. *Corylus* und vor allem *Alnus* bleiben dagegen im Prozentwertdiagramm noch deutlich präsent, wobei *Alnus* auffällig höhere Werte als in LPAZ 6a aufweist. Ein Vergleich mit dem Pollendichtediagramm zeigt jedoch, dass dieses prozentuale Maximum nicht auf einem absoluten Maximum eben bei *Alnus*, sondern auf absoluten Minima der anderen Taxa beruht, der prozentuale Erlengipfel also nicht auf eine Ausbreitung der

Gattung zurückzuführen ist. Der Anteil an Nichtbaumpollen steigt in Pollenzone 6a auf bis zu 40% an, wobei neben Poaceae vor allem *Artemisia* (Beifuß, Wermut) und Ericaceae auftreten. Die hohen Nichtbaumpollenanteile und das gemeinsame Auftreten an lichtbedürftigen Kräutern wie Caryophyllaceae (Nelkengewächse), Chenopodiaceae (Gänsefußgewächse), *Filipendula* (Mädesüß) *Thalictrum* (Wiesentraute) und die zu den Korblütlern (Asteraceae = Compositae) zählenden Tubuliflorae (Röhrenblütler) und Liguliflorae (Zungenblütler) belegen eine Bestandslichtung unter den Bäumen und einen beträchtlichen Offenlandanteil. Pollenzone 6b korreliert mit der in Tabelle 6.2 beschriebenen Siltlage zwischen 6,52-6,38 m.

Grenze LPAZ 6/7: (Steil-)Anstieg von *Betula*, (Steil-)Abfall von *Alnus* und *Corylus*, Verschwinden von *Abies*.

LPAZ 7

Die anhand des Prozentwertdiagramms durchgeführte Grenzziehung zwischen den Pollenzonen 6 und 7 erscheint im Pollendichtediagramm vor allem durch das gemeinsame Ansteigen der Absolutwerte von *Betula*, *Pinus* und *Picea* (wobei *Betula* eine anfängliche, extreme Spitze aufweist) und das Abfallen der Absolutwerte bei *Alnus*. Die klastischen Sedimente von Pollenzone 6b deuten an, dass die in dieser Pollenzone gefundenen Pollen von Thermophilen wie etwa *Quercus*, *Taxus* oder *Abies* teils (wenn nicht völlig) als allochthon anzusprechen sind.

LPAZ 7a

Am Übergang von LPAZ 6b zu LPAZ 7 steigen die Baumpollenprozentwerte wieder stark an. Die Offenlandanteile von LPAZ 6b wurden offensichtlich von den Birken, Kiefern und Fichten besiedelt. Drei aufgefundene Pollenkörner wurden *Larix* (Lärche) zugeschrieben, daneben ist *Juniperus* (Wacholder) und *Salix* präsent. Polypodiales fallen an der Pollenzonengrenze 6/7 stark ab. In LPAZ 7a finden sich immer wieder einzelne Pollenkörner der Eichenmischwaldbildner, sowie von *Corylus*, *Alnus*, *Abies* und auch *Carpinus*. Im zweiten Teil von LPAZ 7a steigen die Nichtbaumpollenanteile bis auf etwa 50% an. Wie schon in LPAZ 6b sind vor allem Poaceae und *Artemisia* beteiligt. Bei den Bäumen bricht *Picea* zwischenzeitlich ein, *Betula* büßt seine anfängliche Dominanz ein.

Pollenzone 7a besteht aus einer bröseligen Gytija, ohne nennenswerten Gehalt an Diatomeen. Der Einbruch bei den Baumpollen ist schon innerhalb dieser Gytija ausgebildet, wird aber mit einer Siltlage abgeschlossen. Darauf folgt wieder bröckelige Gytija, in welcher vor allem die Prozentwerte von *Picea* wieder angestiegen sind. Im Liegenden von Pollenzone 7 liegt Tephrenlage T1.

Grenze LPAZ 7a/7b: Letztendlicher Anstieg der Nichtbaumpollenanteile, sedimentologisch begleitet vom Wechsel der Gytijen von LPAZ 7a zu den Silten von LPAZ 7b.

LPAZ 7b

Die Grenzziehung LPAZ 7a/7b ist vor allem auch durch einen sedimentologischen Wechsel von den Gytijen der Pollenzone 7a hin zu Silten der Pollenzone 7b bestimmt. Die Pollenführung und Erhaltung nimmt rapide ab. Ein schmaler, übergangslos innerhalb der Siltlagen bei etwa 6,05 m Tiefe gelegener Streifen Diatomeengytija weist eine Pollenführung entsprechend LPAZ 6a auf und wird daher als umgelagert angesehen. Im Prozentwertdiagramm steigen die Werte anspruchsvollerer Gehölze (*Abies*, *Alnus*, *Corylus* etc.) wieder leicht an. Sie werden jedoch, wie die beschriebene Gytijalage selbst, als allochthon interpretiert.

In Tabelle 6.4 sind die aufgestellten LPAZ zusammengefasst.

Tab. 6.4: LPAZ (*local pollen assemblage zones*) von Kern DOE 3. Die Gliederung basiert auf dem Pollenprozentwertdiagramm nach Abbildung 6.12. Beschreibungen wie Rückgang oder Anstieg sind deskriptiv, sich auf die Prozentwerte der einzelnen Taxa beziehend, zu verstehen. (NATP: *non arboreal terrestrial pollen*).

LPAZ	palynologische Merkmale		untere LPAZ-Grenze
7	b	hohe NATP Werte (~ 40%)	finaler NATP Anstieg
	a	Expansion von <i>Betula</i> , später auch von <i>Picea</i> , einzelne Pollenkörner von <i>Larix</i>	Anstieg von <i>Betula</i> , Abfall von <i>Alnus</i> und <i>Corylus</i> , Verschwinden von <i>Abies</i>
6	b	Rückschlag bei den Baumpollen, relative Maxima von Poaceae, Ericaceae, <i>Artemisia</i> , Polypodiales und <i>Sphagnum</i>	Rückgang von <i>Abies</i> und der Eichenmischwaldbildner, Verschwinden von <i>Buxus</i>
	a	Anstieg von Poaceae und anderer Kräuter, Verschwinden von <i>Acer</i> and <i>Fagus</i>	Beginn des (Wieder) Anstiegs von <i>Alnus</i> and <i>Corylus</i>
5	c	Koniferendominanz, <i>Pinus</i> und <i>Picea</i> Maxima, Eichenmischwald-Minimum, Anstieg von Cyperaceae, Polypodiales und <i>Sphagnum</i>	starker Anstieg von <i>Picea</i>
	b	starker Rückgang bei <i>Alnus</i> , weniger ausgeprägt auch bei <i>Corylus</i> , Anstieg von <i>Betula</i> , <i>Pinus</i> und <i>Picea</i> , <i>Pterocarya</i> Maximum <i>Sparganium</i> Gipfel	Ende des Rückgangs von <i>Alnus</i>
	a	danach Rückgang von <i>Carpinus</i> , <i>Taxus</i> und Eichenmischwald Rückgang von <i>Alnus</i> , Anstieg von <i>Betula</i> , <i>Pinus</i> und <i>Picea</i>	Beginn des Rückgangs von <i>Alnus</i>
4	d	Expansion von <i>Carpinus</i> und <i>Abies</i> , Anstieg von <i>Buxus</i> , Erscheinen von <i>Fagus</i>	(Wieder)Anstieg von <i>Carpinus</i>
	c	Rückgang von <i>Corylus</i> , später Dominanz von <i>Abies</i> und <i>Alnus</i> , daneben <i>Quercus</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Buxus</i> und <i>Pinus</i>	starker Rückgang von <i>Carpinus</i>
	b	<i>Carpinus</i> Maximum, ansteigende <i>Alnus</i> Werte	starke Anstiege von <i>Abies</i> und <i>Carpinus</i>
	a	Erscheinen von <i>Fagus</i> , Nachweis von <i>Celtis</i> und <i>Pterocarya</i> , absolute Minima von <i>Picea</i> und <i>Betula</i> <i>Betula-Pinus-Picea-Poaceae-Spitze</i> , Rückschläge bei <i>Taxus</i> und <i>Corylus</i>	starker Rückgang von <i>Corylus</i> , Erscheinen von <i>Carpinus</i>
3	b	<i>Corylus</i> Maximum	Erscheinen von <i>Abies</i>
	a	maximales Auftreten von <i>Taxus</i> anfängliches Maximum bei <i>Taxus</i>	Anstieg von <i>Taxus</i> , Rückgang von <i>Quercus</i>
2	Maximum der Eichenmischwaldgemeinschaft, begleitet von <i>Picea</i> , ansteigende <i>Corylus</i> und <i>Alnus</i> Werte, bei sinkenden <i>Pinus</i> und <i>Betula</i> Prozentanteilen		Erscheinen von <i>Alnus Ulmus</i> , <i>Fraxinus</i> und <i>Taxus</i>
1	b	Übergangszeit mit fallenden <i>Betula</i> und steigenden <i>Pinus</i> Werten, einige Pollen von <i>Quercus</i> und <i>Corylus</i>	Beginnender Rückgang von <i>Betula</i>
	a	<i>Betula-Pinus-Dominanz</i> Wiederbewaldungsphase mit <i>Betula</i> , <i>Pinus</i> , <i>Salix</i> , <i>Juniperus</i> und <i>Hippophaë</i> , hohe Anteile an Süßgräsern und anderen Kräutern	im Profil nicht present

Die Tiefen der Pollenzonengrenzen und die daraus folgenden Mächtigkeiten der Pollenzonen können etwa wie folgt festgemacht werden (Tab. 6.5).

Tab. 6.5: Tiefen der Pollenzonengrenzen und daraus resultierende Pollenzonenmächtigkeiten im Profil DOE 3. LPAZ 1a und 7b sind nur einseitig begrenzbar.

LPAZ	Tiefe [m]	Mächtigkeit [cm]			
		unkorrigiert	um Tephren korrigiert		
	≤ 5,39				
7	b	≥ 166	≥ 86	≥ 164,5	≥ 86,0
	a		80		78,5 (T1: 1,5 cm)
6	b	231	40	231,0	40,0
	a		191		191,0
5	c	130	60	109,0	59,0 (T2: 1 cm)
	b		39		32,0 (T3: 7 cm)
	a		31		18,0 (T3, 13 cm)
4	d	211	159	205,0	157,0 (T4: 1 cm, T5: 1 cm)
	c		17		15,0 (T6: 2 cm)
	b		27		27,0
	a		8		6,0 (2 cm Turbidit über T7)
3	b	51	29	34,0	15,5 (T7: 13 cm + 0,5 cm Tephrest 7 ?!)
	a		22		16,5 (T8: 4 cm + 1.5 cm Tephrest 7 ?!)
2		48	48	46,0	46,0 (T9: 2 cm)
1	b	≥ 22	7	≥ 18,0	6,0 (T10: 1 cm)
	a		≥ 15		≥ 12,0 (T10: 3 cm)
	≥ 13,98				

Obwohl nicht systematisch nach Makroresten gesucht/gesiebt wurde, fanden sich bei der Pollenaufbereitung einige Samenkörner, nämlich von *Potamogeton* (Laichkraut) und von *Ceratophyllum* (Hornblatt) (freundlicher Weise bestimmt von Herrn Prof. Dr. T. Litt). Tabelle 6.6 gibt die Tiefen samt zugehörigen Pollenzonen der Funde wieder.

Tab. 6.6: Samenfunde im Kern DOE 3 (LPAZ: *local pollen assemblage zone*).

Tiefe [m]	Samenkorn	LPAZ
6,795	<i>Potamogeton</i>	7a
6,815		
7,545		6a
10,16		5b
10,59	<i>Ceratophyllum</i>	5a

6.1.5. Döttingen – Diskussion

Basierend auf den Arbeiten von von Post (1946), Firbas (1949), Iversen (1958) und Andersen (1966) können nach Turner und West (1968) in jedem (quartären) Interglazial 4 Perioden der Vegetationsentwicklung festgestellt werden. Deren Auftreten kann insbesondere auch zur Abgrenzung gegen interstadiale Erwärmungsphasen herangezogen werden. Diese Perioden sind (in zeitlicher Reihenfolge) die von *Betula* und *Pinus* dominierte *pre-temperate zone*, die Eichenmischwaldphase der *early-temperate zone*, die in zunehmenden Maße von spät einwandernden, wärme liebenden Bäumen wie *Carpinus* und *Abies* beherrschte *late-temperate-zone* und die wiederum von borealen Bäumen bestimmte *post-temperate zone*.

Insgesamt sind im Pollenprofil von Döttingen diese vier interglazialen Vegetationsabschnitte klar definierbar und das Profil daher einem Interglazial (keinem Interstadial) zuzuordnen. LPAZ 1 entspricht in dieser Viergliederung der *pre-temperate zone*, LPAZ 2-3 der *early-temperate zone*. LPAZ 4-6a markieren die *late-temperate-zone* und LPAZ 6b-7a bilden die *post-temperate zone*. Dabei ist die, durch das frühe Auftreten einer Eichenmischwaldgemeinschaft und einer folgenden Phase mit hohem Eibenanteil (*Taxus*), beide unter beträchtlicher Fichtenbeteiligung (*Picea*), und einer späteren Hainbuchen-Tannen-Zeit (*Carpinus/Abies*) mit Buchsbaum (*Buxus*), Flügelnuss (*Pterocarya*), Buche (*Fagus*) und Zürgelbaum (*Celtis*) gekennzeichnete Pollensequenz, klar dem Holstein zuzusprechen (→ 4.2.).

Insbesondere kann das Döttinger Interglazial auch eindeutig von holozänen oder eemzeitlichen Profilen differenziert werden. Das in der Eifel, anhand der Pollenprofile des Holzmaares und des Meerfelder Maares (Litt, 1999; Litt, 2000) dokumentierte Holozän ist unter anderem durch die Anwesenheit von Getreidepollen (*Secale*) im jüngeren Abschnitt, die generelle Abwesenheit von *Taxus*, *Buxus* und *Pterocarya*,

der geringen Beteiligung von *Picea* und (der noch geringeren) von *Abies* und im jüngeren Abschnitt der dominanten Anwesenheit von *Fagus* charakterisiert. Die Vegetationsentwicklung im Eem ist in zahlreichen Profilen Nord- und Mitteldeutschlands dokumentiert (Litt, 1994; Menke and Tynni, 1984; Müller, 1974). Ein eemzeitlich eingestuftes Pollenprofil, mit jedoch starken Abweichungen von den „klassischen“ Eemsequenzen, ist aus der Eifel von Sirocko et al. (2005) publiziert. Die eemzeitliche Pollenabfolge unterscheidet sich von der Döttingens, insbesondere durch Anstiege von *Picea* und *Tilia* nach und nicht während einer anfänglichen, von *Quercus* dominierten Laubmischwaldphase, einem späten Erscheinen von *Abies* bei schon sinkenden Prozentwerten von *Carpinus*, sowie einem klar, gegenüber *Ulmus* und *Quercus* zeitverzögertem Anstieg von *Corylus* und *Alnus*. *Pterocarya* und *Celtis* sind aus eemzeitlichen Profilen unbekannt.

Des Weiteren schließen fehlende Tertiärrelikte, wie etwa *Tsuga* (Hemlock-, Schierlingstanne) oder *Eucommia* (Guttaperchabaum) eine cromerzeitliche oder gar präcromerzeitliche Einstufung aus. Auch das ins ausgehende Cromer eingestufte Profil von Bilshausen (→ 6.5.) unterscheidet sich deutlich von der Pollenabfolge Döttingens.

Die in LPAZ 1 dokumentierte Wiederbewaldungsphase und die folgende Übergangszeit hin zu LPAZ 2 korrelieren mit dem oberen, karbonatischen Teil der liegenden Silte. Als Ursache der Kalkhaltigkeit kommt chemische als auch biogene Fällung, ursprünglich gelöster Karbonate, während der Seeerwärmung, zu Beginn des Interglazials in Frage.

Die geringmächtige Gytjalage bei 6,05 m Tiefe, welche übergangslos inmitten einer Siltschicht liegt, muss anhand ihrer Pollenführung und des sedimentologischen Befundes als Umlagerung angesehen werden, ebenso wie die vereinzelt in LPAZ 7a zu findenden thermophilen Taxa. Unter dieser Prämisse wäre Pollenzone 7a als boreale Phase am Übergang vom Interglazial zum folgenden Glazial zu interpretieren. Im Gegensatz dazu kann die, zwischen der Wiederbewaldungsphase von LPAZ 1a und der schon von Eichenmischwäldern geprägten Pollenzone 2 befindliche, LPAZ 1b nur unter Vorbehalt als boreal betitelt werden. Dagegen sprechen die seltenen, aber doch regelmäßig zu findenden Pollen von *Quercus*, deren Auftreten sich nur schwer durch die Umlagerung älteren Materials erklären ließe. Es

käme eher eine Umlagerung jüngerer Materials aus LPAZ 2 nach unten in Betracht. Denkbar wäre auch ein Antransport durch Fernflug, aus Arealen mit schon günstigerem Mikroklima. In Frage käme hier zum Beispiel das Moseltal. Aber auch diese Deutung bleibt problematisch, da dann auch vermehrt andere wärmebedürftige Gehölze (wie *Alnus*) zu erwarten wären. Möglicherweise spielen auch die am Übergang von Pollenzone 1 zu Pollenzone 2 gefundenen Tephrenreste (T9), beziehungsweise die um Pollenzonengrenze 1a/b gestört lagernde Tephra T10 eine Rolle.

Die innerhalb LPAZ 3a gefundene Tephra (T8) bleibt ohne erkennbare Auswirkung auf die Vegetation. Der starke Wechsel im Einfallen der Diatomeenschichtung im Grenzbereich LPAZ 3a/b deutet einen möglichen Hiatus an dieser Stelle an.

Zumindest für Tephrenlage T7 ist eine Einflussnahme auf die Florenentwicklung nachweisbar. Sie leitet die, palynostratigraphisch dem 1. Birken-Kiefern-Vorstoß (1. BKV) von Muntser/Breloh entsprechende, Pollenzone 4a ein. LPAZ 4a ist nach den an Kern DOE 3 durchgeführten Untersuchungen nicht auf eine Klimarückschlag, im Sinne von Müller (1974) für den 1. BKV (→ 4.2.1.2.), sondern auf ein vulkanisches Ereignis zurückzuführen (das jedoch Klimagesamtheit nach sich ziehen könnte). Möglicherweise begünstigte dieses Ereignis auch die unmittelbar nach LPAZ 4a einsetzende Ausbreitung von *Carpinus* und *Abies* (zeitweise verminderter Konkurrenzdruck) in LPAZ 4b. Während des intraholsteinischen, LPAZ 4c entsprechenden, *Carpinus* Minimums (IHCM) zeigen im Profil DOE 3 andere thermophile Arten kein äquivalentes Verhalten. Pollen von *Vitis* werden sogar auffallend häufig gefunden, *Buxus* taucht erstmalig auf. Anzeichen einer Klimaverschlechterung, wie von Müller (1974) als Ursache für den zweiten, die initiale Phase maximaler *Carpinus*-Präsenz beendenden und das IHCM einleitenden, Birken-Kiefern-Vorstoß angenommen konnten in Profil DOE 3 nicht gefunden werden. Im Gegenteil, die Pollenvergesellschaftung spricht gegen eine Kühlphase zu dieser Zeit.

Die Torfbildung in Pollenzone 5 belegt einen Übergang von limnischen zu telmatischen Bedingungen. Hierfür sprechen auch das vermehrte Auftreten von Cyperaceae (Riedgräsern) (beginnend in LPAZ 5b) und die auffällige Kumulation von *Sparganium* (Igelkolben) (LPAZ 5b). Der kontinuierliche Niedergang der Pollenprozentwerte von *Alnus* während LPAZ 5a könnte in diesem Zusammenhang

ein Trockenfallen deren Standorte widerspiegeln. Die dem Torf auflagernden Gyttjen bezeugen einen Wiederanstieg des Seespiegels im jüngeren Abschnitt von Pollenzone 5b. Dabei indiziert deren massige, detritusreiche (Holzstückchen, Pflanzenreste) Ausprägung ein Sedimentationsmilieu mit hoher Bioturbation in flachem, sauerstoffhaltigem Wasser, bei vergleichsweise hohen Sedimentationsraten. Die Bedingungen am Seegrund waren sicher auch vor der Torfbildung niemals anaerob. An der Bohrstelle (Maarzentrum) ergeben sich zwischen Basis Pollenzone 1 (≈ 14 m) und Basis Torf ($\approx 10,5$ m) etwa 3,5 m Sedimentmächtigkeit, der interglaziale Wasserstand dürfte nicht wesentlich höher gelegen haben. Der Fund einer kleinen (≈ 3 mm), kugeligen, nicht bestimmten Bivalve (Lebendstellung mit geschlossenen Schalenhälften) bei 13,98-13,99 m Tiefe belegt zudem die Anwesenheit von Sauerstoff am Seegrund schon in LPAZ 1a.

Die als Seespiegelschwankung mit zwischenzeitlicher Verlandung/Vermoorung gedeutete Superposition von Gyttja-Torf-Gyttja wurde auch von Stachel und Büchel (1989) sowie von Pirrung (1998) beschrieben. Pirrung (1998) berichtet über 40 cm Niedermoortorf und in Stachel und Büchel (1989) wird von mindestens 1,5 m Torf im Maarzentrum berichtet. Im Profil DOE 3 (und auch DOE 2) ist die Torflage etwa 10 cm mächtig ausgebildet. Diese Mächtigkeiten deuten an, dass die Torfbildung kein kurzzeitiges (dekadisches) Ereignis war.

Als Ursache des Szenarios käme eine Grundwasserschwankung, eine Aufstauung oder eine Drainage mit späterer Wiederabdichtung in Frage. Für letzteren Fall wurden jedoch keine Anhaltspunkte, wie etwa eine erosive Basis unterhalb des Torfes gefunden. Tephrenlage T3 wiederum ist zu geringmächtig, als dass sie eine eventuelle, erosive Drainage am Seerand hätte verfüllen oder einen gegebenen Abfluss (Überlauf) hatte verschließen und so zu einer (nach den Sedimentmächtigkeiten von LPAZ 5b-7a etwa 3-4 m hohen) Aufstauung des Sees hätte führen können. Eine Aufstauung des Sees durch Biber erscheint nicht wahrscheinlich, da diese eigentlich an Fließgewässern vorkommen. Es kann also von einer Schwankung des Grundwasserspiegels ausgegangen werden. Prinzipiell kann eine solche durch geologische oder/und klimatische Veränderungen ausgelöst werden. Geologische Ursachen könnten Änderungen in den Grundwasserleitern durch tektonische Aktivitäten wie im Umfeld von Vulkanausbrüchen und/oder Erdbeben sein. Anzeiger seismischer Aktivitäten wie Verfaltungen (Seismite) oder Turbidite wurden jedoch

nicht gefunden. Klimatischer Auslöser wäre ganz allgemein eine Veränderung des Verhältnisses von Niederschlag und Evaporation.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage ob es eine Grundwasserschwankung in dem Sinne war, dass der Seespiegel erst fiel und später wieder anstieg oder ob die Torfbildung die natürliche Verlandung bei stagnierendem Grundwasserstand widerspiegelt, der dann später (ohne vorherigen Absenkung) angehoben wurde. Eine im Falle einer Grundwasserstandsabsenkung gegebenenfalls zu erwartende, erosive Basis oder die Schüttung von klastischem Material aus dem Hangbereich des Maares wurde nicht festgestellt. Insbesondere ist im Tiefenbereich unterhalb der Torflage (LPAZ 5a) in den Dünnschliffauswertungen (→ Abb. 6.4) keine Zunahme der Anzahl klastischer Partikel erkennbar, was in Richtung einer natürlichen Verlandung deutet.

Aus klimatischen Gesichtspunkten wäre ein erst fallender, dann wieder ansteigender Grundwasserspiegel als eine zeitweilige, relative Trockenphase zu verstehen. Das Szenario eines ansteigenden, vorher aber konstanten Grundwasserspiegels wäre einem feuchteren durch gesteigerten Niederschlag und/oder durch geringere Verdunstung bedingtem Klima zuzuschreiben. Während in erstem Fall, die Trockenphase gegebenenfalls mit vorübergehend erhöhten Temperaturen in Verbindung zu bringen wäre, wären im zweiten Fall der Feuchtigkeitszunahme eher gegenüber der Zeitspanne vor der Torfbildung, im Durchschnitt sinkende Temperaturen zu erwarten. Letztere Interpretation träfe auch dann zu, wenn es zwischenzeitlich zu der theoretischen Trockenphase gekommen sein sollte (da der See-/Grundwasserspiegel nach der Vertorfung höher lag als zuvor).

Pterocarya kommt eine, in Bezug zur Abgrenzung des Holsteins gegenüber jüngeren Interglazialen, biostratigraphische Sonderstellung zu, da die Flügelnuss post-holsteinzeitlich im nördlichen Mitteleuropa unbekannt ist. Rezent kommt das Gehölz bei Niederschlagsraten, meist über 1200 mm/a (Frenzel, 1968) oder in Niederungen vor, ist also, außer als Anzeiger temperiert/gemäßigter Bedingungen, auch als Indikator für Wasserzugänglichkeit zu werten. Ihr Expansionsmaximum in Pollenzone 5b, oberhalb der Torflage, während des einsetzenden Seespiegelanstieges mag daher als Indiz für gesteigerte Niederschläge gelten. Andererseits war *Pterocarya* schon während beziehungsweise vor dem Übergang ins telmatische Milieu vertreten

(LPAZ 5a, 4d). Wahrscheinlich wuchs die Pflanze ausschließlich in Ufernähe bei gesicherter Grundwasserversorgung.

Die Anwesenheit von Gehölzen des Eichenmischwaldes, von *Buxus*, *Pterocarya* etc., sowie der Seerosengewächse *Nymphaea* und *Nuphar* (LPAZ 5b und 5c) und insbesondere auch der Nachweis von *Trapa natans* (Wassernuss) (ein Pollenkorn bei 9.93-9.94 m, LPAZ 5b/c Grenze) bezeugt, dass der prozentuale Anstieg von *Picea*, *Pinus* und *Betula* in LPAZ 5 nicht als Indikator für einen Temperaturrückschlag zu verstehen ist. Diese Arten (*Picea*, *Pinus*, *Betula*) haben in gewissem Umfang wahrscheinlich die von *Alnus* freigegebenen Standorte besiedelt. Auch bei den Nichtbaumpollen ist weder ein prozentualer noch absoluter, mit rückläufiger Waldbedeckung gleichzusetzender, Anstieg zu verzeichnen. Insbesondere die erhöhten Koniferenpollengehalte in LPAZ 5a/b können durch einen selektiven Korrosionsprozess im aeroben und/oder sauren Milieu während der Verlandung/Vertorfung verstärkt oder gar hervorgerufen sein.

In LPAZ 5c kommt es zu einem Rückgang der Prozentwerte von *Pterocarya*, *Buxus*, *Carpinus*, *Taxus*, *Abies*, *Corylus* und der Eichenmischwaldvertreter, bei gleichzeitiger Expansion von *Pinus* und *Picea*. Ansteigende Prozentanteile bei Polypodiales, *Sphagnum* und Cyperaceae belegen weiterhin telmatisches Milieu. Dabei zeugen die immer noch vorhandenen Pollen, beziehungsweise Sporen von zum Beispiel *Pterocarya* oder *Osmunda* von anhaltend mildem Klima.

Die Pollenkurvenverläufe in LPAZ 5 sind obigen Überlegungen zu Folge nicht auf einen klimatischen Rückschlag zurückzuführen. Inwieweit Tephrenlage T3 in LPAZ 5a/b in einen kausalen Zusammenhang mit der Pollenführung und damit Vegetationsentwicklung dieser Pollenzone zu bringen ist bleibt hierbei unbeantwortet.

In Pollenzone 6a steigen die Prozentwerte der Süßgräser und die der anderen Kräuter auf etwa 10% der terrestrischen Pollensumme an. Die Sauer(Ried)gräser erreichen 5-10%. Sie werden als Bewuchs im Schilfgürtel, nicht als Anzeiger einer Offenlandvegetation verstanden. Diese Interpretation stützt sich auf die niedrigen Prozentwerte bei den Heliophyten wie *Artemisa* (Beifuß, Edelraute) oder *Thalictrum* (Wiesenraute). Außerdem sind *Quercus*, *Carpinus*, *Taxus*, *Tilia*, *Abies*, *Buxus*, *Pterocarya* oder *Ilex* immer noch präsent, wenn auch in geringerem Umfang als zuvor. *Sphagnum*, Polypodiales and Ericaceae gelten als Anzeiger versauernder

Böden, was standortbedingt sein kann, aber auch von generell zunehmender Bodenverschlechterung im Zuge der fortschreitenden interglazialen Pedogenese (Entkalkung → Lessivierung → Podsolierung) herrühren könnte. Eine Bodenversauerung im fortgeschrittenen Interglazial könnte durch die dominante Anwesenheit von Koniferen (*Abies*, *Pinus*, *Picea*, *Taxus*) beschleunigt worden sein.

Ab etwa LPAZ 6 steigt die Anzahl von Korrosion betroffener Pollenkörner. Als Ursache hierfür kann an korrosives (aerobes) Ablagerungsmilieu in einem flachen Gewässer und/oder der verstärkte Eintrag umgelagerter Materials sein. Der absolute Pollengehalt pro Kubikzentimeter ist im Interglazialteil nach der Verlandungsphase generell niedriger als im „frühen“ Interglazial, was auf einen geringeren Polleneintrag und/oder erhöhte Sedimentationsraten deutet. Die Pollenkörner von Poaceae in der sehr pollenarmen LPAZ 7b sind oft stark verfaltet und die Keimöffnung schwer zu finden, viele der nicht bestimmbareren Pollenkörner dieser Zone sind daher wahrscheinlich den Süßgräsern zuzuschlagen. Da zudem die in Pollenzone 7b gefundenen Pollen thermophiler Gehölze als allochthon interpretiert werden, sind die Prozentwerte der Baumpollen in diese Zone sicherlich übergewichtet.

Die beschriebenen Umlagerungen (→ 6.1.2.) bleiben offensichtlich ohne maßgebliche stratigraphische Relevanz. Die aus anderen Profilen bekannte holsteinzeitlich Pollensequenz ist in ihrer Grundsukzession klar wieder zu erkennen. Dennoch muss mit durch Umlagerungen verfälschten Mächtigkeiten einzelner Pollenzonen gerechnet werden, die nicht die tatsächlichen Sedimentationraten zur Zeit der Deposition widerspiegeln. Die bröselig/brockige, unkomakte Ausbildung von LPAZ 7a deutet auf eine Deposition bei geringem Wasserstand (Dezimeterbereich), wo es schon synsedimentär zu intensiver Aufarbeitung und Durchmischung, etwa durch Wettereinflüsse (Überfrieren, Niederschlag) und/oder durch Tiere („Wildschweinsuhle“, Tränke) kam.

Die insgesamt zehn, in Kern DOE 3 gefundenen Tephren, belegen aktiven Vulkanismus während des Interglazials. Auf Grund der räumlichen Nähe, als auch des phreatomagmatisch eingestuften Charakters der überlieferten Eruptionen (→ 6.1.2.) kommt die Eifel selbst als Ursprungsort des betreffenden Vulkanismus in Frage.

6.2. Hetendorf/Bonstorf, Niedersachsen, Lüneburger Heide

6.2.1. Hetendorf/Bonstorf – Lokalität, Stand der Forschung

Die Lokalität Hetendorf in Niedersachsen wurde erstmals von Müller (1958) erwähnt. Er beschreibt westlich des Örtzetales bei Hetendorf „ein in die saale-eiszeitliche Geschiebemergelfläche eingetieftes interglaziales Muddevorkommen“, welches „dicht außerhalb der warthe-stadialen Moränen und Sanderflächen“ liegt. Auf Grund von palynologisch untersuchten Proben aus drei verschiedenen Schlagbohrungen nimmt er für das Interglazialvorkommen von Hetendorf eine zeitgleiche Entstehung mit den nahe gelegenen Kieselgurvorkommen von Munster und Oberohe an. In Benda und Brandes (1974) werden zwei Kieselgurlagerstätten bei Hetendorf/Bonstorf, westlich Hermannsburg (TK 25, Hermannsburg, 3126) beschrieben. Ein Kieselgurvorkommen erstreckt sich südwestlich von Hetendorf, das zweite zieht sich aus dem Raum südlich von Hetendorf bis in das Gebiet von Bonstorf (Abb. 6.14). Das Liegende der Lagerstätten wird von Fein- bis Mittelsanden gebildet.

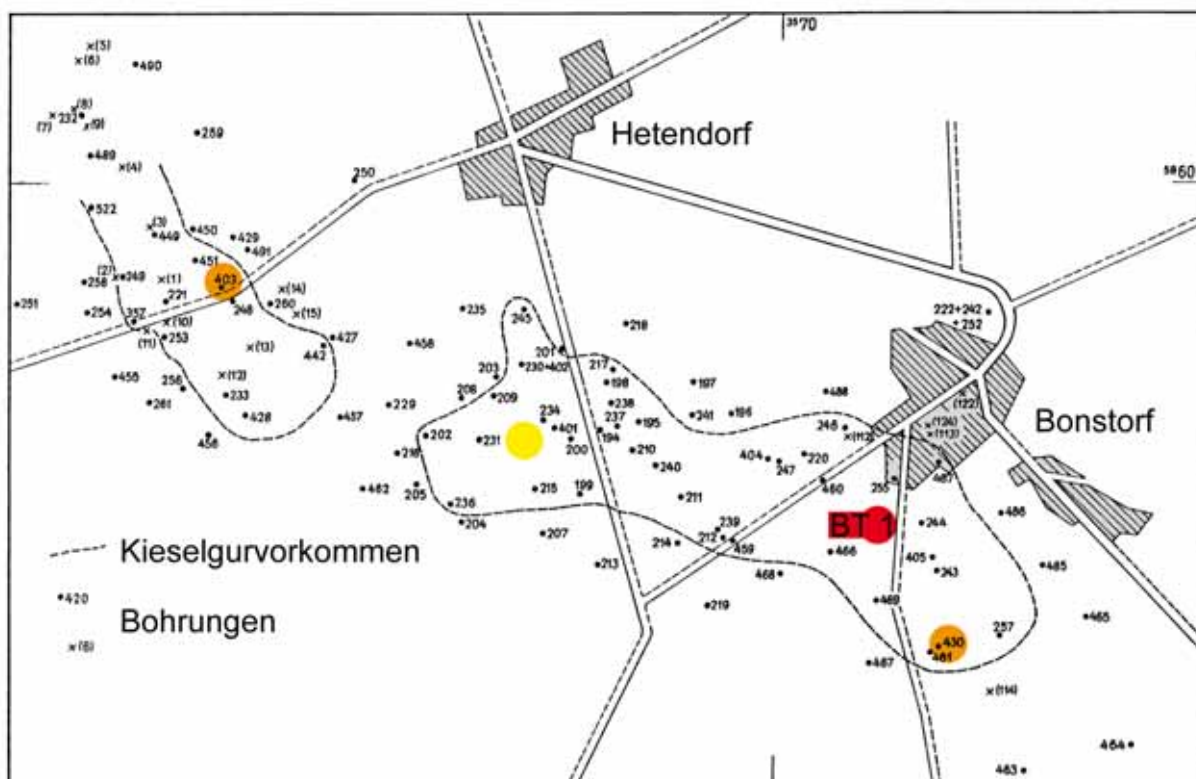


Abb. 6.14: Begrenzung der Kieselgurlagerstätten bei Hetendorf und Bonstorf (nach Benda, 1974) mit Lage der von Meyer (1974) pollenanalytisch bearbeiteten Kernbohrungen (orange), Lage der Kieselgurgrube Hetendorf (gelb) sowie Lage der in dieser Arbeit beschriebenen Kernbohrung Bonstorf 1 (BT 1) (rot).

Meyer (1974) bearbeitete ein Aufschlussprofil aus der Kieselgurgrube Hetendorf, sowie zwei Kernbohrungen (KS 403/71 und KS 430/72) aus je einem der beiden Vorkommen pollenanalytisch. Dabei hatten die ausgewerteten Proben eine vertikale Probenlänge von 3-5 cm. Im Allgemeinen wurden etwa 200, vereinzelt nur etwa 100 Baumpollen ausgezählt. In Abbildung 6.15 sind die Pollenprofile, der von Meyer bearbeiteten Kernbohrungen KS 403/71 und KS 430/72, dem schematisierten Holsteinprofil von Munster/Breloh (Müller, 1974) (→ Abb. 4.3.) gegenübergestellt. Die Prozentwerte beziehen sich auf die Summe der Baumpollen, wobei *Corylus*, *Hedera*, *Ilex*, *Buxus*, *Hippophaë* und *Juniperus* als Sträucher den Nichtbaumpollen zugeschlagen sind.

Die von Meyer (1974) mit II-VII bezifferten Pollenzonen bestehen (bis auf LPAZ in Kern KS 403/71) fast gänzlich aus Kieselgur. Die mit I und VIII nummerierten Pollenzonen sind dagegen sandig/siltig („schluffig“) ausgebildet und zu Beginn der interglazialen Abfolge (LPAZ I-II) stark mit Tertiärrelikten versetzt. In diesen Pollenzonen ist die „Pollenführung durch Umlagerungen beeinflusst, außerdem muss vermehrt mit Zersetzungsauslese gerechnet werden“, weshalb diese Zonen in Abbildung 6.15 farblich abgesetzt sind. Im Pollendiagramm von Munster/Breloh sind dagegen, die dort nicht vertretenen Pollenzonen (I-VI), deren pollenfloristischer Verlauf anhand Meyers Befunde aus Hetendorf/Bonstorf rekonstruiert ist, entsprechend ausgehalten.

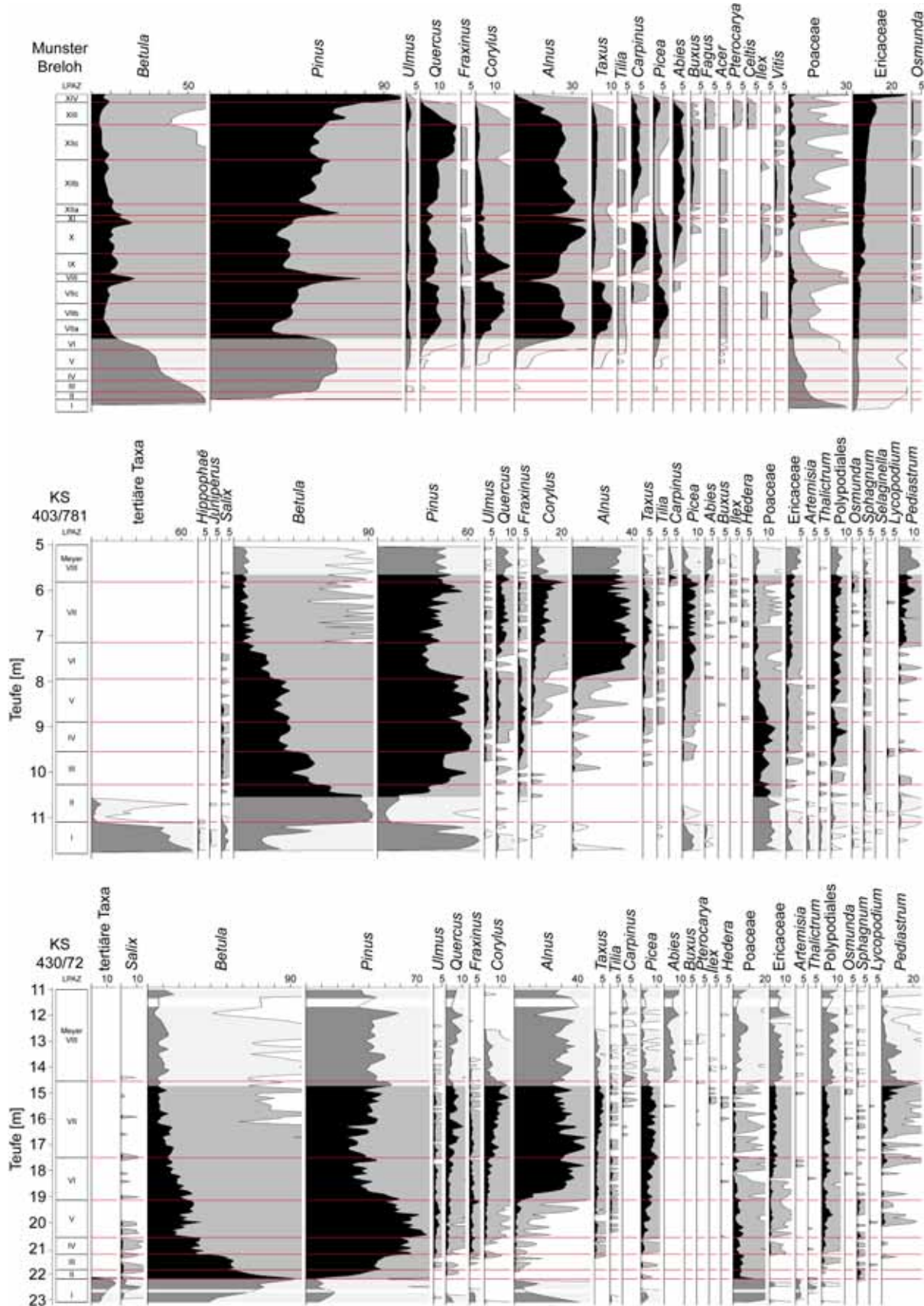


Abb. 6.15: Vergleich des schematisierten Pollendiagramms Munster/Breloh (Müller, 1974) mit den Pollendiagrammen der Kerne KS 403/71 und KS 430/72 aus Hetendorf/Bonstorf (Meyer, 1974). Kernverluste sind weiß ausgehalten.

Meyers Pollenzonengrenze I/II („starker Rückgang der Tertiärelemente“) erscheint beim Vergleich der Pollendiagramme der Kerne KS 403/71 und KS 430/72 in Bezug auf die in den Pollendiagrammen autochthon einzustufenden Taxa unbrauchbar. Zur Korrelation mit anderen Pollenprofilen ist die so definierte LPAZ-Grenze ungeeignet. Meyers (pollenfloristisch unsicher charakterisierte) Pollenzone VIII ist nicht mit Müllers Pollenzone VIII gleichzustellen und deshalb in Abbildung 6.15 ausdrücklich mit Meyer VIII gekennzeichnet. Vielmehr beinhaltet Meyers Pollenzone VIII palynologische Merkmale, wie sie in Munster/Brehloh oberhalb Pollenzone VII zu finden sind, wie etwa das Auftreten von *Abies* und *Carpinus*, der Rückgang von *Corylus* und das spätere Erscheinen von *Pterocarya*. Nur daher kann Meyers Pollenzonengrenze VII/VIII etwa mit derselben bei Müller gleichgestellt werden. Die Profile von Hetendorf/Bonstorf und Munster/Brehloh überlappen jedoch in Pollenzone VII.

Meyers Aufschlußprofil aus der Kieselgurgrube Hetendorf ist in Abbildung 6.16 wiedergegeben. Das Pollendiagramm lässt sich mit den Pollenzonen XIIc-XIV des Profils „Kieselgurgrube Else II“ (→ Abb. 6.26) aus Munster/Brehloh vergleichen. Insbesondere das Auftreten von *Pterocarya* spricht für die vorgenommene Korrelation. Die Pollenzonenbenennung gleicht der von Munster/Brehloh nach Müller (1974).

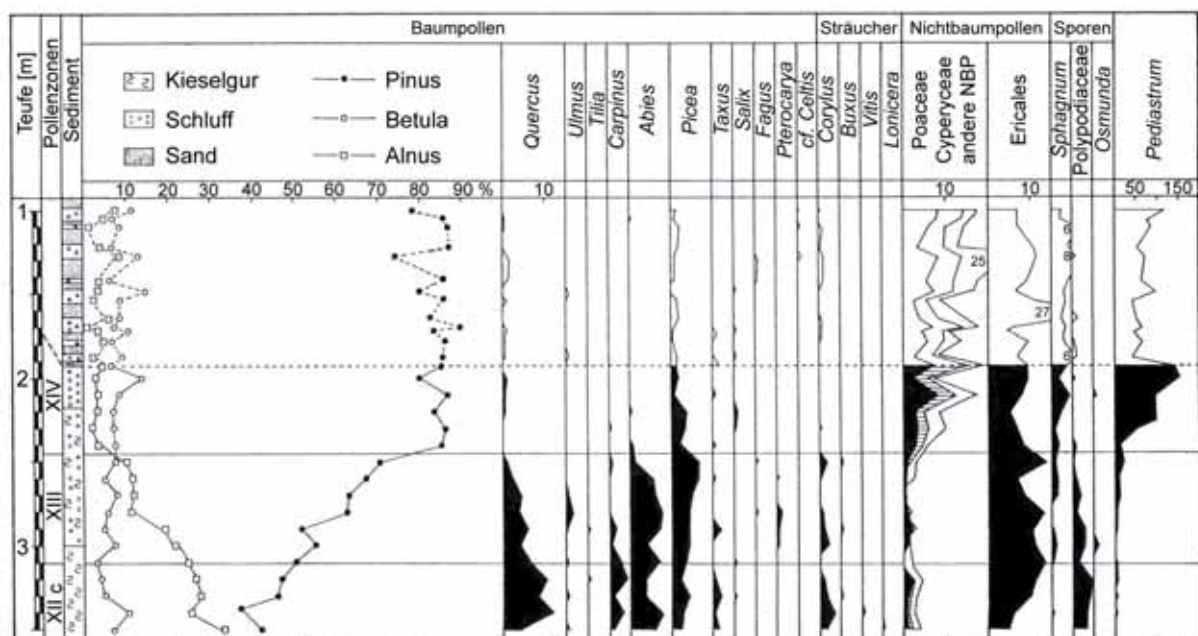


Abb. 6.16: Aufschlußprofil aus der Kieselgurgrube Hetendorf (Meyer, 1974). Die Pollenzonen wurden hier von Meyer entsprechend der von Müller (1974) für Munster/Brehloh aufgestellten Nomenklatur benannt. Die Prozentwerte beziehen sich auf die Baumpollensumme, wobei *Corylus*, *Hedera*, *Ilex*, *Buxus*, *Hippophaë* und *Juniperus* als Sträucher den Nichtbaumpollen (NBP) zugeschlagen sind.

Insgesamt lässt sich die Pollenabfolge innerhalb der Kieselgur von Hetendorf/Bonstorf mit den Pollenzonen (VI-)VII beziehungsweise XIIc-XIV (nach Müller, 1974) von Munster/Breloh parallelisieren. Die Pollenführung der hangenden, sandigen Partien von Hetendorf/Bonstorf zeigt eine prinzipiell der jüngeren Pollensequenz von Munster/Breloh (Pollenzonen oberhalb Müllers PAZ VII) entsprechende, allerdings weit weniger differenzierte Pollenvergesellschaftung.

Der erfasste Teil von Pollenzone XIIc, Pollenzone XIII und das Liegende von Pollenzone XIV sind im Aufschlussprofil nach Abbildung 6.16 innerhalb der Kieselgur ausgebildet. Das bedeutet, dass das entsprechende Becken bis in das ausklingende Interglazial nicht (zumindest nicht vollständig) verlandet war. Dieser Befund legt nahe, dass der in den Bohrkernen KS 403/71 und KS 430/72 gefundene Sedimentwechsel von Kieselgur im Liegenden zu Sanden im Hangenden (LPAZ Grenze VII/Meyer VIII) als Erosionsbasis und nicht als Anzeichen einer Verlandung zu deuten ist.

Abbildung 6.17 zeigt die Lokalitäten Hetendorf/Bonstorf, Munster/Breloh und auch die in Kapitel 6.4. behandelte Lokalität Bilshausen in Bezug zu den Eisrandlagen von Weichsel/Würm, Saale/Riss und Elster/Mindel. Die Kieselgurlager von Hetendorf/Bonstorf und Munster/Breloh liegen innerhalb der saalezeitlichen Moränenlandschaft. Die holsteinzeitlich, also präsaalezeitlich eingestufte Kieselgur wurde demnach im dem Interglazial (Holstein) folgenden Glazial (Saale) vom Inlandeis überfahren. Die hangenden Sande wären demnach saalezeitlichen Ursprunges.

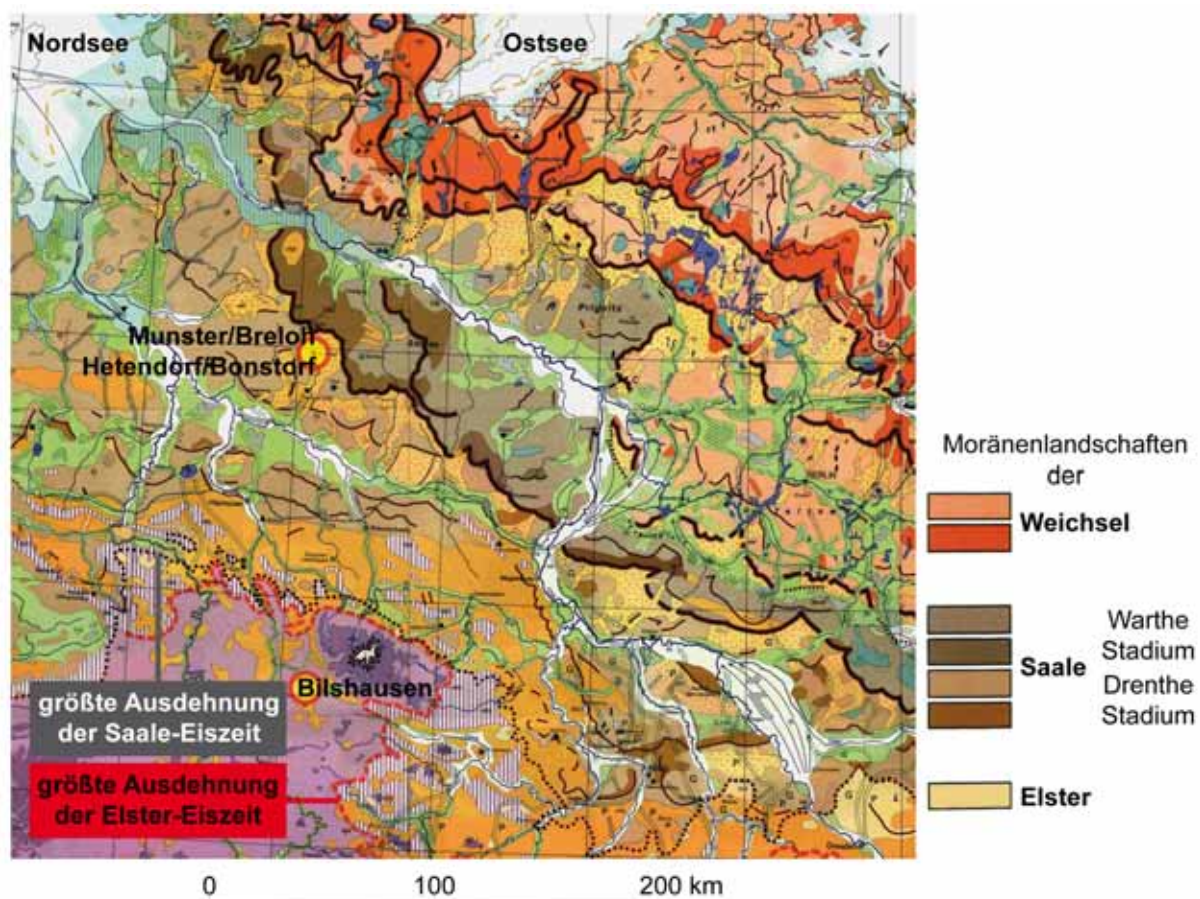


Abb. 6.17: Eisrandlagen während Weichsel, Saale und Elster im norddeutschen Raum (nach Liedtke, 1981).

Meyer (1974) berichtet von einer Feinschichtung der Kieselgur im Bohrkern KS 430/72 zwischen 19,00-21,85 m Tiefe (PAZ III-V, Beginn PAZ VI) und in einem geringmächtigen Kernstück der Bohrung KS 403/71 zwischen 9,37-9,455 m Tiefe (PAZ IV). Anhand von Pollenzählungen an Hell-Dunkel-Lagen einer Probe aus der so genannten Kiefern-Birken-Zeit (Pollenzone V) des Kerns KS 430/72 wurden diese als Warven identifiziert, wobei die hellen Lagen dem Frühjahr (März bis Anfang Mai), die dunklen Lagen dem restlichen Jahr zugesprochen wurden. Anhand von mit bloßem Auge durchgeführten Zählungen der hellen, diatomeenreichen Lagen wurden von Meyer für die Pollenzonen III, IV, V und für den basalen Teil von Zone VI insgesamt 2206 Jahre ermittelt. Dabei entfielen etwa 500 Jahre auf Pollenzone III, etwa 600 Jahre auf Pollenzone IV, etwa 1000 Jahre auf Pollenzone V und etwa 100 Jahre auf den liegendsten Teil von PAZ VI. Unter der Annahme einer gleich bleibenden Sedimentationsrate in letztgenannter Pollenzone schätzt Meyer Ihre Gesamtdauer auf etwa 1000 Jahre. Unter der Prämisse konstanter Sedimentationsraten während

PAZ II und III werden etwa 300 Jahre für Pollenzone II veranschlagt. Aus Meyers Schätzung von 3000-4000 Jahren für die Gesamtdauer von PAZ I-VI sowie den Warvenzählungen und Schätzungen für die einzelnen Pollenzonen resultiert in der Differenz eine Dauer für PAZ I von maximal 600 Jahren. Tabelle 6.7 resümiert diese Daten und gibt die daraus resultierenden Sedimentationsraten wieder.

Tab. 6.7: Pollenzonen und ihre Dauer nach Meyer (1974), basierend auf 2206 gezählten Warven an Kern KS 430/72. Es wurden nur vollständige, gänzlich aus Kieselgur aufgebaute Pollenzonen herangezogen. (PAZ: *pollen assemblage zone*, schwarz: Warvenzählungen, kursiv und rot: Schätzungen, \geq : etwas über, \approx : etwa)

PAZ	Dauer [a]		Mächtigkeit der Kieselgur [cm]		Sedimentationsrate der Kieselgur [mm/a]	
			KS 403/71	KS 430/72	KS 403/71	KS 430/72
VI	≥ 100 (1000)	3000 - 4000	80	165	0,8	1,65
V	≈ 1000		95	145	0,95	1,45
IV	≈ 600		65	135	1,08	2,25
III	≈ 500		73	60	1,46	1,2
II	≈ 300			35		1,17
I	(≤ 600)					

Meyers untere Schätzung für die Gesamtdauer der Pollenzonen I-VI ist inkonsequent, da die Angaben für die einzelnen PAZ (II-VI) sich schon auf 3400 Jahre aufsummieren (für Pollenzone I verblieben somit maximal 600 Jahre). Die insgesamt 2206 ausgezählten Warven machen etwa 55% (bei 4000 Jahren), beziehungsweise 74% (bei 3000 Jahren) der geschätzten Zeitspanne aus. Weiterhin gibt Meyer eine Schätzung von Müller (1974) zur Sedimentationsdauer von Pollenzone XIV von etwa 500 Jahren an, die jedoch im Originaltext von Müller nicht vermerkt ist. Die sich aus den Warvenzählungen und den Sedimentmächtigkeiten ergebenden Sedimentationsraten für beide Kerne differieren teils erheblich (um mehr als den Faktor 2 in den PAZ IV und VI), was für stark unterschiedliche Sedimentationsbedingungen und/oder für Umlagerungen spricht.

6.2.2. Hetendorf/Bonstorf – Material

Im Zuge von DEKLIM wurde im Kieselgurbecken bei Bonstorf Bohrkern BT 1 (→ Abb. 10.18) auf 17 m Tiefe niedergebracht. Die Bohrlokalisierung liegt mehr im Zentrum des Kieselgurbeckens (→ Abb. 6.14), als der in derselben Lagerstätte erbohrte Kern KS 430/72 von Meyer (1974). „Echte“ Kieselgur wurde nur im Teufenbereich 12,20-15,74 m angetroffen. Ein Verhärtungshorizont bei 15,74-15,75 m bildet die Grenze zu einer diatomeenfreien kalkigen Gyttja im Liegenden von Kern BT 1. Oberhalb der Kieselgur lagert eine detritusreiche (Holzstückchen, Pflanzenreste), diatomeenarme, siltig/sandige Gyttja. Tabelle 6.8 gibt eine Kernbeschreibung, Abbildung 6.18 zeigt den Teufenbereich 11,00-17,00 m, wobei die palynologische Kernstratigraphie (→ 6.2.4.) bereits mit vermerkt wurde.

Tab. 6.8: Kernbeschreibung BT 1.

		BT 1	
Teufe [m]		Sediment	
0,00	0,15	Bodenbildung	
0,15	1,00	Sand, kieshaltig	
1,00	1,10	Kernverlust	
1,10	11,10	Sand	
11,10	12,00	siltig-sandige, detritushaltige, massige, braune (Diatomeen)-Gyttja	
12,00	12,20	Kernverlust (mit Kieselgurstücken und Sandresten)	
12,20	15,74	Kieselgur	Im Hangenden dunkelbraun zum Liegenden hin braun-grünstichig, oberhalb ~14,65 m massig, darunter schichtig
15,74	15,75	rötlicher, verhärteter Horizont	
15,75	15,91	Stark karbonatische Gyttja	schwach diatomeenhaltig
15,91	16,08		Diatomeenfrei
16,08	16,28	Sand (mit verstärzter, grünlicher, schichtiger, karbonatischer, diatomeenfreier Gyttja)	
16,28	16,37	Gyttja, grünlich, schichtig, karbonatisch, diatomeenfrei	
16,37	16,48	Sand	
16,48	17,00	Kernverlust	

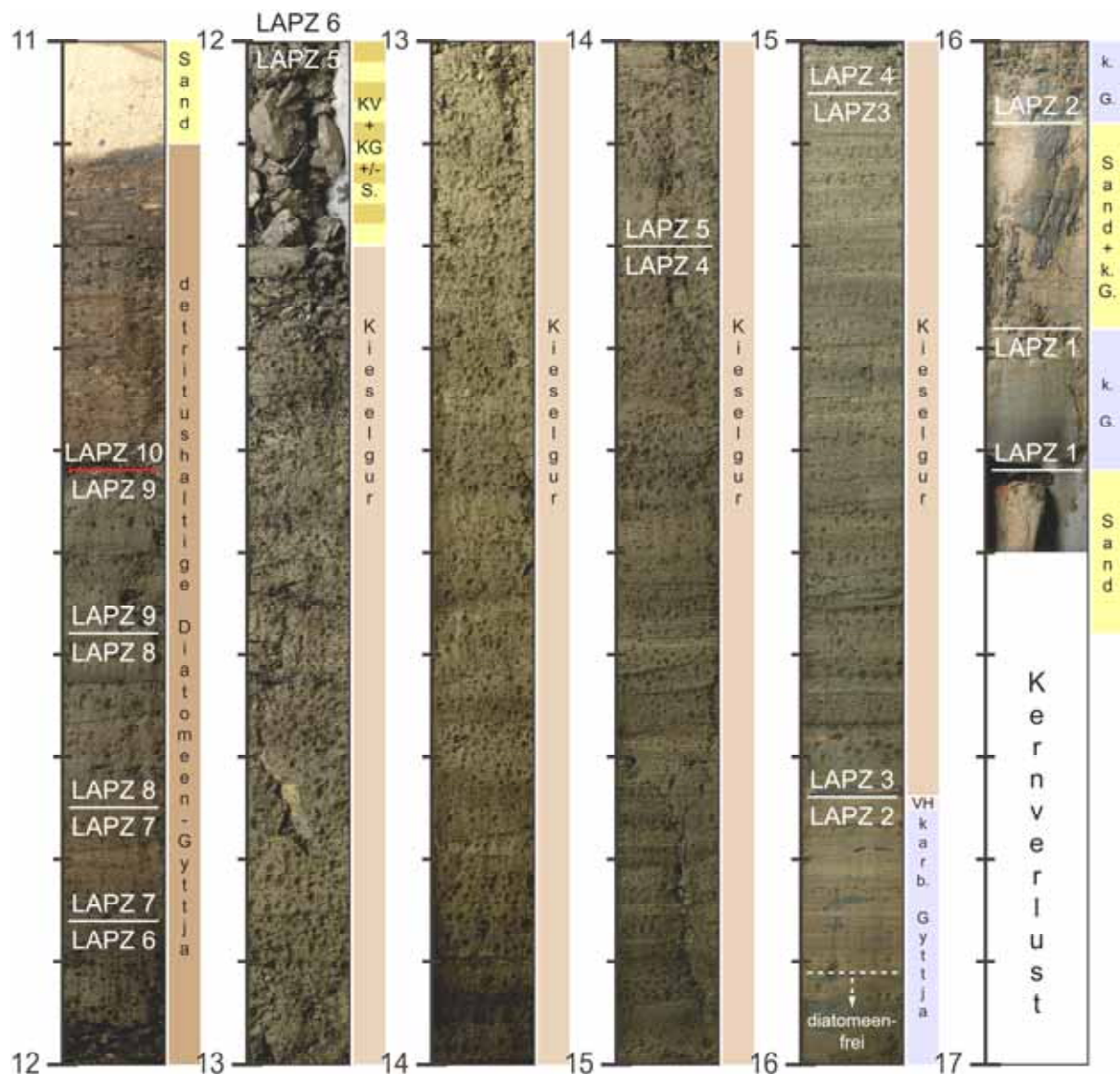


Abb. 6.18: Kern BT 1, Teufenbereich 11,00-17,00 m. LAPZ: *local pollen assemblage zone*, KV: Kernverlust, KG: Kieselgur, S: Sand, VH: Verhärtungshorizont, k. G. karbonatische Gytjtja. Die LAPZ-Grenze 9/10 ist rot abgesetzt, da sie zugleich als Störungshorizont interpretiert wird (→ 6.2.4., → 6.2.6.).

Bei etwa 11,42 m Teufe wechselt die Braunfärbung zu helleren Tönen im Hangenden, die organogenen Ablagerungen werden deutlich sandhaltiger und lockerer. Diese mit LAPZ-Grenze 9/10 zusammenfallende (→ 6.2.4.), sedimentologische Diskordanz wird an ihrer Basis durch einen Sandhorizont markiert.

6.2.3. Sedimentologische Untersuchungen an Kern BT 1

Wie bei Kern DOE 3 wurde unter Verwendung der zur palynologischen Bearbeitung genommenen Proben die Trockendichte bestimmt. Außerdem wurden Dünnschliffe angefertigt. Abbildung 6.19 stellt die Kernbeschreibung nach Tabelle 6.8 im Teufenbereich 11,00-16,50 m graphisch dar und gibt den Verlauf der Trockendichte wieder. Die Dünnschliffaufnahme (15,72-15,82 m) zeigt den abrupten Übergang von stark karbonatischer zu karbonatfreier Kieselgur bei 15,74 m Teufe.

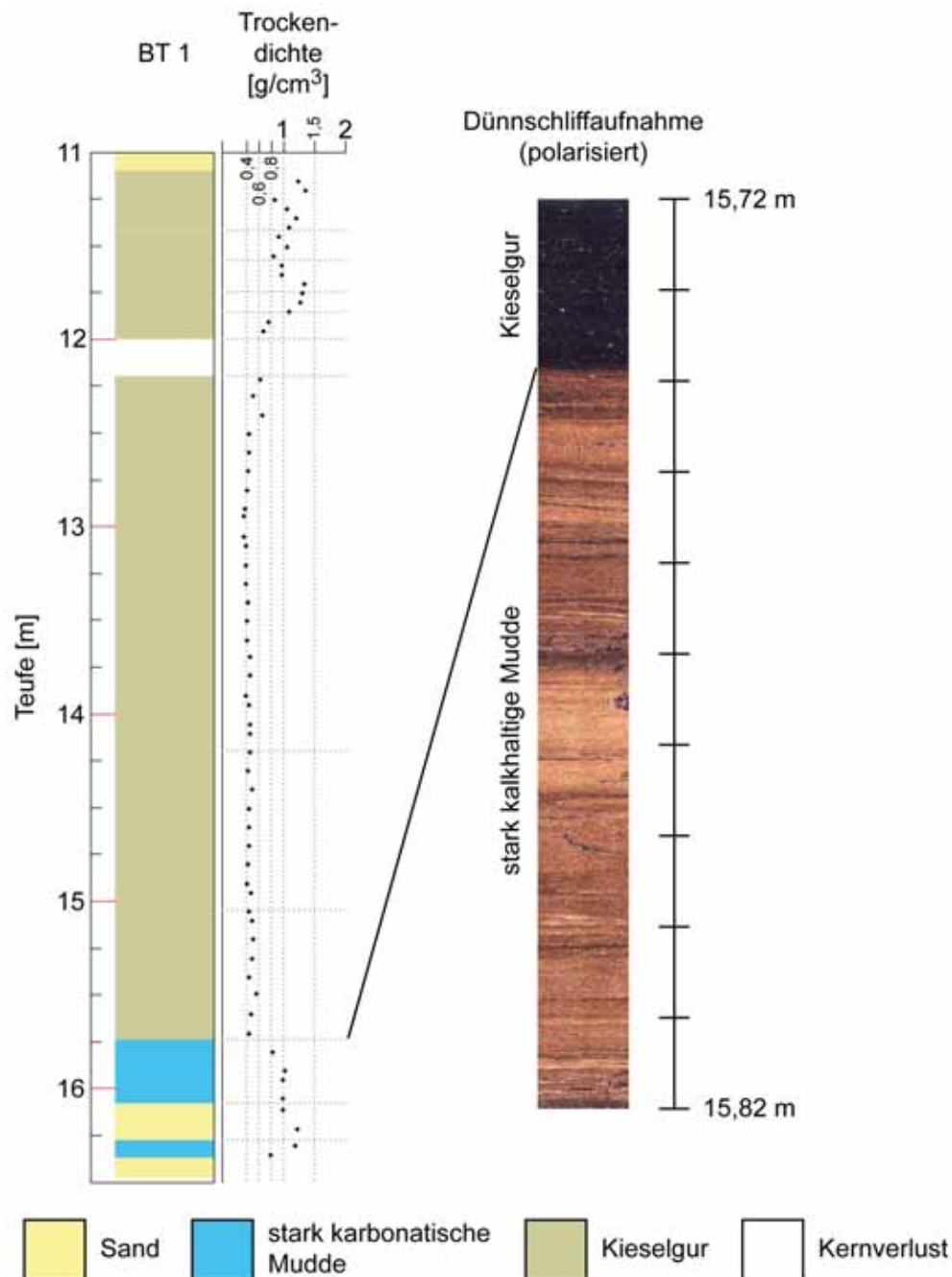


Abb. 6.19: Sedimentologie und Trockendichte, Kern BT 1, im Bereich 11,00-16,50 m Teufe. Bei 11,42 m Teufe befindet sich ein sandiger Horizont.

Die Trockendichte der reinen Kieselgur (Teufenbereich 12,50-15,74 m) liegt etwa bei 0,4 g/cm³. Im detritusreichen Abschnitt, oberhalb des Kernverlustes zwischen 12,00-12,20 m Tiefe, steigt die Trockendichte auf 0,8-1,5 g/cm³, begleitet/bedingt durch den Eintrag klastischen Materials. Die hier eingearbeiteten Quarzkörner erreichen Korngrößen bis in den Bereich der Feinsandfraktion. Die karbonatische Gytija im Liegenden weist Trockendichten um 0,8-1,0 g/cm³ auf.

Im Gegensatz zu Kern KS 430/72 von Meyer (1974) ließ die Kieselgur in Kern BT 1 keine Warvung erkennen.

6.2.4. Palynologische Untersuchungen an Kern BT 1

Aus der Kieselgur des Kerns BT 1 wurden insgesamt 40 Pollenproben ausgewertet, wobei oberhalb des Kernverlustes, also ab 12,00 m Teufe aufwärts, in 5 cm Intervallen, unterhalb des Kernverlustes mit nicht äquidistantem, größerem Abstand beprobt wurde. Die Ergebnisse der Pollenzählungen sind in den Abbildungen 6.20 a/b und 6.21 a/b dargestellt. Die Pollendiagramme wurden in 10 lokale Pollenzonen (LPAZ) untergliedert. Die Pollenkurven lassen sich mit denen von Meyer (1974) parallelisieren und eine Korrelation zwischen den LPAZ von Kern BT 1 zu dessen Pollenzonen II-VIII ist zwanglos möglich. Tertiärelemente (wie beispielsweise *Tsuga* oder *Sequoia*) wurden nicht gefunden. Allerdings reicht das gefundene Pollenspektrum nur bis Pollenzone II nach Meyer (1974). Die Sande im tiefsten Kernabschnitt wurden nicht untersucht. Bei den in den Abbildungsteilen b dargestellten Pollenzonenkorrelationen ist PAZ VIII im Sinne von Müller (1974) zu verstehen, also nicht der gleichziffrigen Pollenzone gemäß Meyer (1974) (→ 6.2.1.) gleichzustellen. Die Anzahl gezählter Palynomorphen kann Abbildung 10.19 im Anhang entnommen werden.

Neben den in den Pollendiagrammen dargestellten Taxa wurde auch *Rhamnus frangula* (Faulbaum, Pulverholz) (1 Pollenkorn in Probe 11,55-11,56 m, Liegendstes von LPAZ 10) sowie ein als *Bruckenthalia*-Habitus (Ericaceae) eingestuftes Pollentyp gefunden (1 Pollenkorn in Probe 11,40-11,41 m, LPAZ 10, 1 Pollenkorn in Probe 12,21-12,22 m, LPAZ 5, 3 Pollenkörner in Probe 15,60-15,61 m, LPAZ 3). Diese Pollentypen wurden auch in den Kernen der Lokalität Munster/Breloh gefunden (→ 6.3.4.).

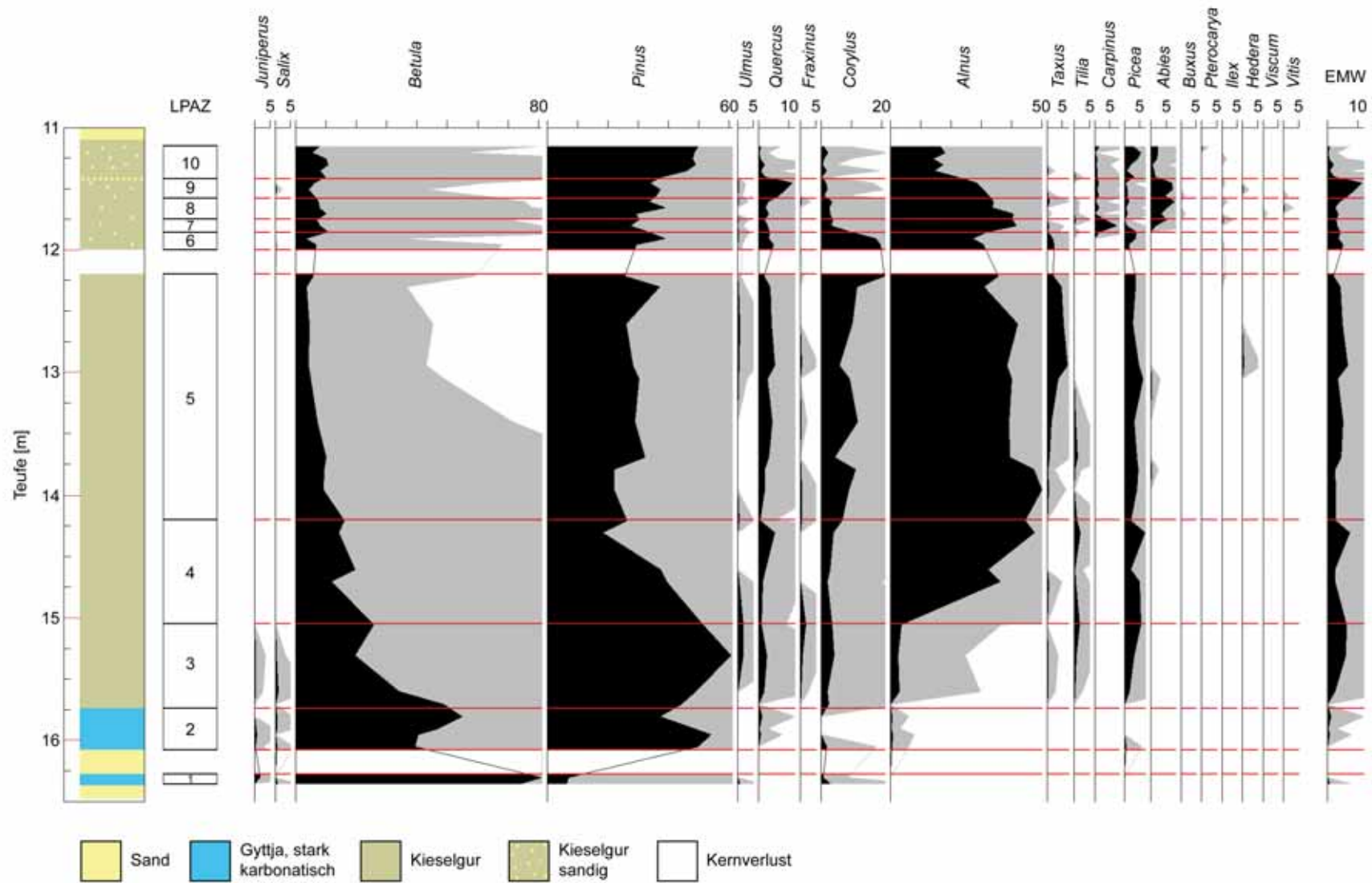


Abb. 6.20 a: Pollenprozentwertdiagramm Baumpollen, BT 1. Werte in % terrestrischer Pollen.

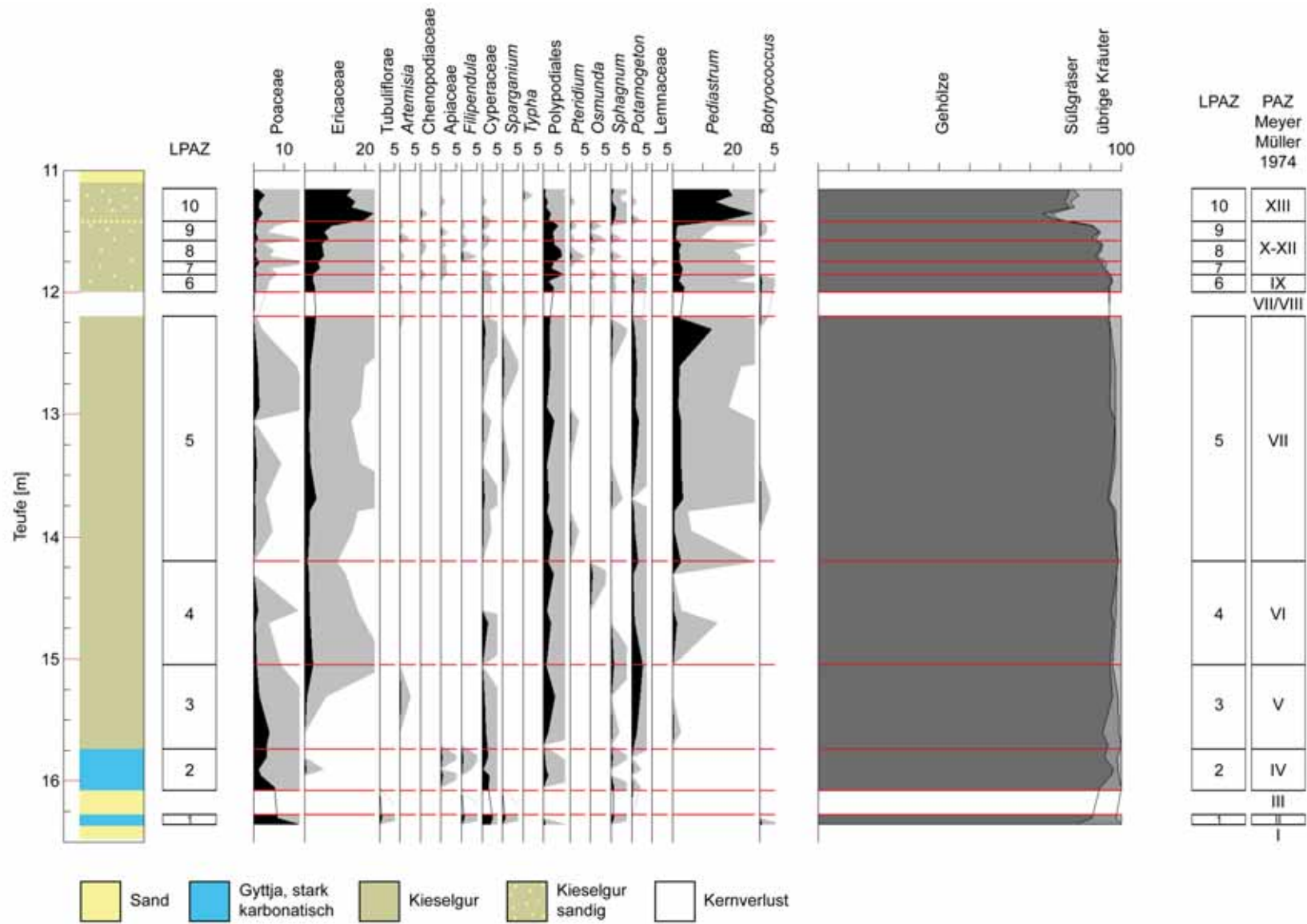


Abb. 6.20 b: Pollenprozentwertdiagramm Nichtbaumpollen, BT 1. Werte in % terrestrischer Pollen.

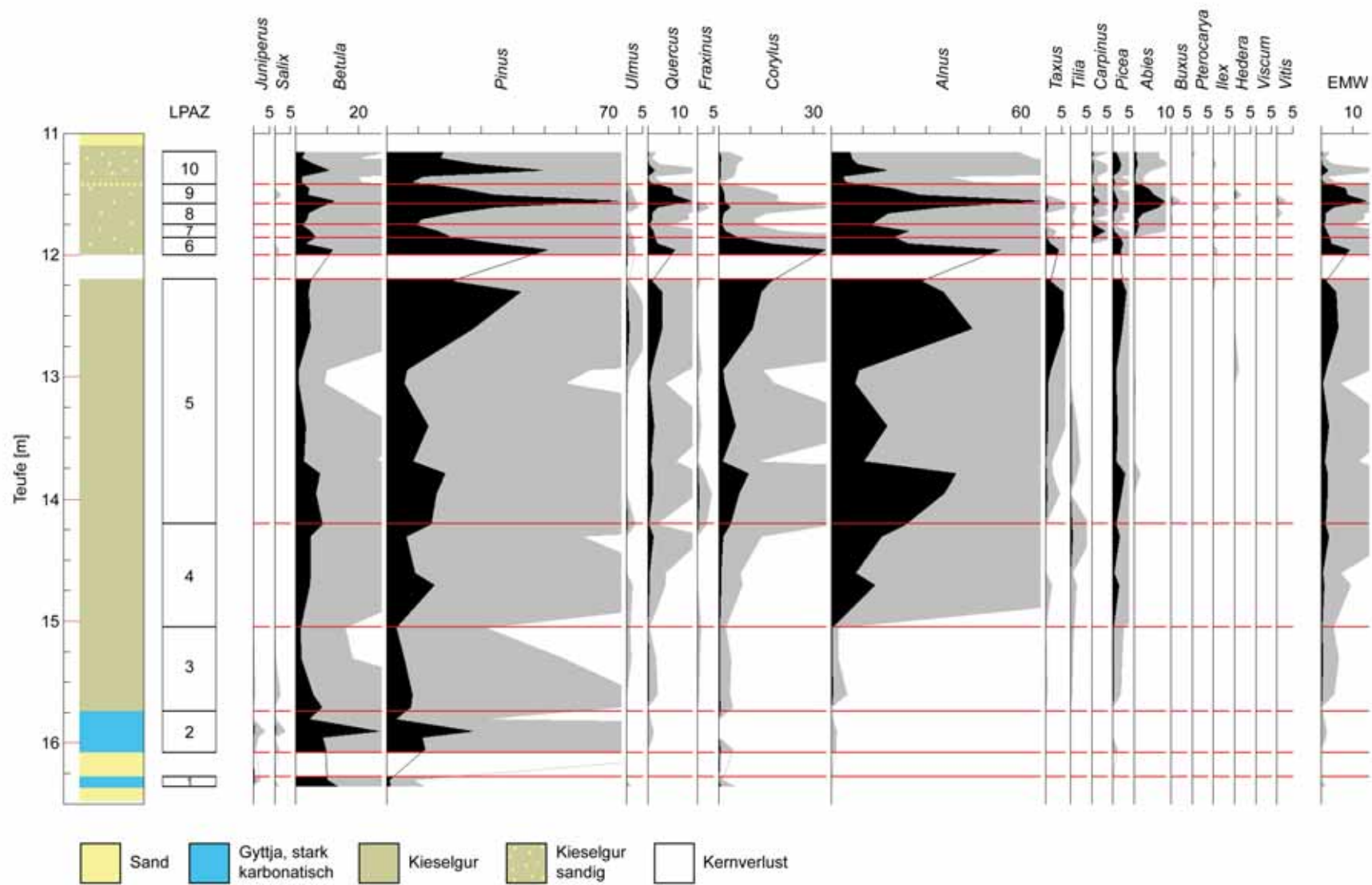


Abb. 6.21 a: Pollendichtediagramm Baumpollen, BT 1. Werte in 10^4 Pollen/cm³.

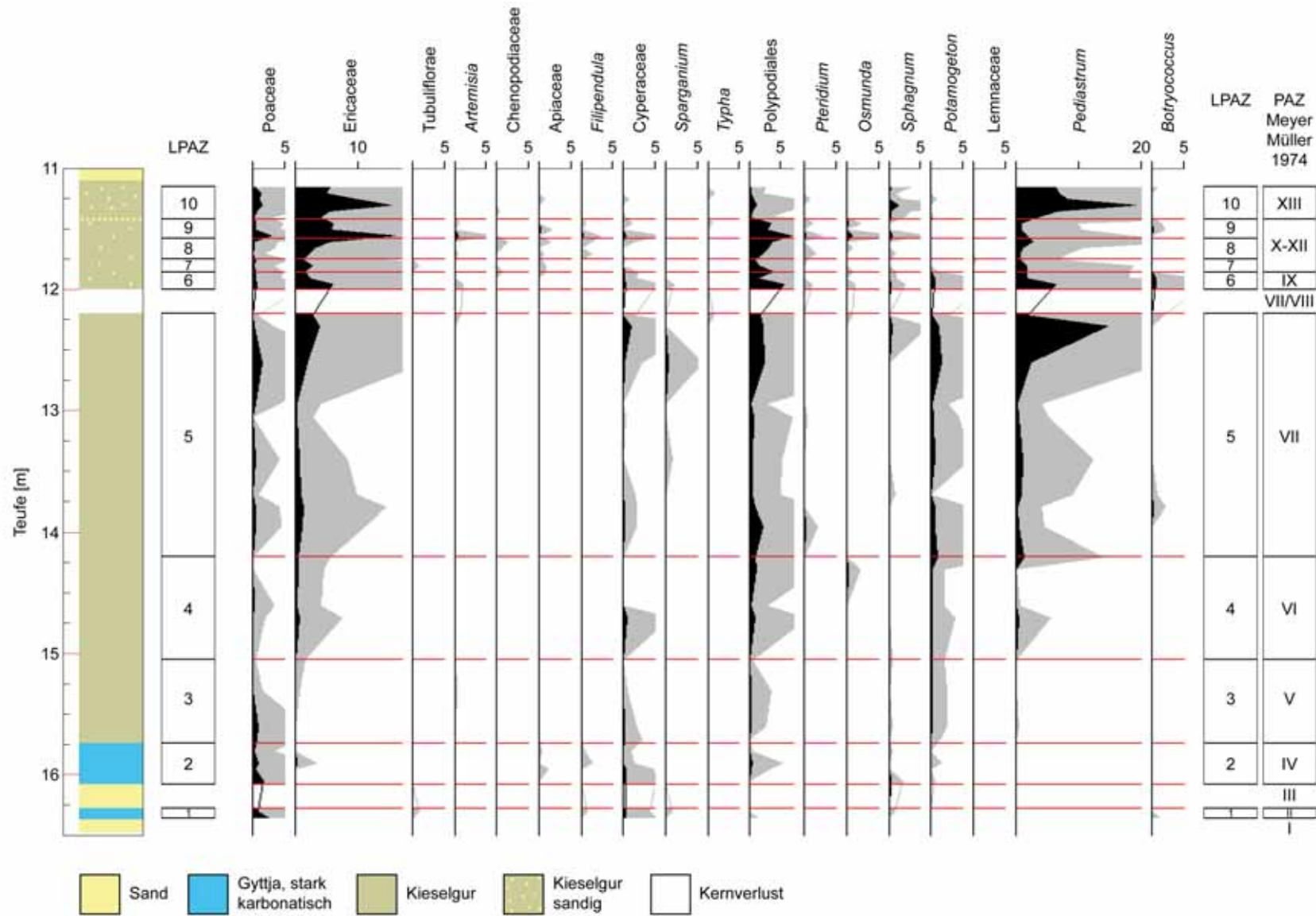


Abb. 6.21 b: Pollendichtediagramm Nichtbaumpollen, BT 1. Werte in 10^4 Pollen/cm³.

LPAZ 1 (16,28-16,37 m) repräsentiert eine durch *Betula* dominierte (70-80%) Wiederbewaldungsphase mit *Pinus* ($\approx 10\%$), begleitet von *Juniperus* und *Salix*, bei Anteilen von Poaceae zwischen 10-15%. In LPAZ 2 (15,74-16,08 m) tauchen erstmals thermophile Elemente, wie *Quercus* und *Alnus* auf. *Betula* und *Pinus* dominieren weiterhin, sind aber zu etwa gleichen Prozentanteilen vertreten. LPAZ 1 entspricht PAZ II nach Meyer (1974), LPAZ 2 Meyers Pollenzone IV. Die Sandeinschaltung mit verstürzter Gur (16,08-16,28 m Tiefe) im Kern BT 1 erschwert hier jedoch eine exakte Korrelation. Beide Pollenzonen fallen mit dem stark kalkhaltigen Liegenden von Kern BT 1 zusammen.

Ab LPAZ 3 (15,05-15,74 m) setzt die Deposition reiner Kieselgur ein. Ab der Grenze LPAZ 2/3 beginnen die geschlossenen Kurven von *Picea*, *Corylus* und *Tilia*. *Ulmus* erreicht in PAZ 3 ein Maximum, *Taxus* kann erstmals nachgewiesen werden, *Betula* ist stark rückläufig. Die Nichtbaumpollen ($\approx 5\%$) sind noch von Poaceae geprägt, die jedoch gegen Ende der Pollenzone ihre Anteile an Ericaceae abtreten. Die Grenze zur folgenden LPAZ 4 (14,20-15,05 m) wird durch den Steilanstieg von *Alnus* markiert. *Pinus* verliert seine Dominanz zugunsten von *Alnus*, die Prozentanteile von *Betula* sinken weiter. In LPAZ 5 (12,20-14,20 m) erhöhen sich die Anteile von *Corylus*, *Taxus* expandiert in der jüngeren Hälfte der Pollenzone, gleichzeitig endet die geschlossene *Tilia*-Kurve. *Pinus* bleibt konstant um 20-30%, *Betula* verliert weiter an Prozentanteilen.

Nach dem Kernverlust bei 12,20-12,00 m Teufe zeichnet sich ein absolutes, prozentuales *Corylus*-Maximum ab (LPAZ 6, 11,86-12,00 m), wobei der Anstieg unmittelbar vor dem Kernverlust von einer Probe (12,21-12,20 m) aus dem schon lockeren, bröseligen Grenzbereich herrührt, also gegebenenfalls auch vom Hangenden über dem Kernverlust stammen könnte.

Die insgesamt lediglich etwa 45 cm mächtigen (11,42-11,86 m) lokalen Pollenzonen 7-9 weisen (ähnlich den entsprechenden, sandigen Partien von PAZ VIII, in den von Meyer bearbeiteten Kernen) nach einem anfänglichen *Corylus*-Gipfel an der LPAZ-Grenze 6/7, eine *Abies-Carpinus* Vergesellschaftung mit initialem *Carpinus*-Maximum (LPAZ 7, 11,75-11,86 m) bei stark zurückgegangenen *Corylus*- und *Taxus*-Anteilen auf. *Picea* verzeichnet während der maximalen *Abies*-Präsenz (LPAZ 8, 11,58-11,75 m) die geringsten Prozentanteile seit dem Auftreten an der Grenze LPAZ 2/3. In LPAZ 9 (11,42-11,58 m) erreicht *Quercus* ein auffälliges Maximum. *Buxus*, *Hedera*, *Viscum* und *Vitis* konnten in LPAZ 8 und 9 nachgewiesen werden,

Ilex ab LPAZ 6. Nach diesen palynologischen Befunden repräsentieren die lokalen Pollenzonen 7-9 die Pollenzonen X-XII nach Müller (1974) von Munster/Brehloh. Anders als bei Meyer (1974) kann in Kern BT 1 noch eine weitere, in den Abbildungen 6.20 und 6.21 als LPAZ 10 (11,10-11,42 m) ausgewiesene Pollenzone ausgehalten werden. Die Pollenzonengrenze 9/10 liegt bei 11,42 m Tiefe, wo auch schon ein sedimentologischer Wechsel auffällig war und wird palynologisch durch Rückgänge in den Prozentwerten von *Abies*, *Quercus* und *Alnus* bei gleichzeitigen Anstiegen von *Pinus*, *Picea* und insbesondere Ericaceae als auch *Pediastrum* markiert. Außerdem steigen die prozentualen Anteile von Poaceae und *Sphagnum*. Am Ende von LPAZ 10 wurde *Pterocarya* gefunden. Die hohen Nichtbaumpollenanteile in LPAZ 10 (wie auch die geringeren Nichtbaumpollenanteile in LPAZ 4-9) beruhen, anders als in LPAZ 1-3 nicht überwiegend auf Anteilen von Poaceae, sondern auf Anteilen von Ericaceae. Anhand der palynologischen Befunde wäre LPAZ 10 mit Pollenzone XIII nach Müller (1974) von Munster/Brehloh zu korrelieren. Tabelle 6.9 stellt die lokalen Pollenzonen BT 1 den Pollenzonen von Meyer (1974) und Müller (1974) gegenüber.

Tab. 6.9: Pollenzonenkorrelation zwischen den LPAZ BT 1 und den holsteinzeitlichen Pollenzonen nach Meyer (1974) und Müller (1974).

LPAZ BT 1	PAZ Hetendorf/Bonstorf Meyer (1974)	PAZ Munster/Brehloh Müller (1974)
10 (11,10-11,42 m)	-	XIII
9 (11,42-11,58 m)	Meyer VIII	X-XII
8 (11,58-11,75 m)		
7 (11,75-11,86 m)		
6 (11,86-12,00 m)		
-	-	IX
-	-	VIII
5 (12,20-14,20 m)	VII	VII
4 (14,20-15,05 m)	VI	-
3 (15,05-15,74 m)	V	-
2 (15,74-16,08 m)	IV	-
-	III	-
1 (16,28-16,37 m)	II	-
-	I	-

Die palynologischen Ergebnisse erlauben es, Tabelle 6.7 um die Mächtigkeiten der mit den Pollenzonen V und VI nach Meyer (1974) korrelierenden LPAZ 3 und 4 zu erweitern (Tab. 6.10).

Tab. 6.10: Pollenzonen und ihre Dauer. Es wurden nur vollständige, gänzlich aus Kieselgur aufgebaute Pollenzonen herangezogen. (LPAZ: local pollen assemblage zone, fett: Warvenzählungen, kursiv und rot: Schätzungen, \geq : etwas über, \approx : etwa)

PAZ Meyer 1974	LPAZ BT 1	Dauer [a]		Mächtigkeit der Kieselgur [cm]			Sedimentationsrate der Kieselgur [mm/a]		
				KS 403/71	KS 430/72	BT 1	KS 403/71	KS 430/72	BT 1
VI	4	≥ 100 (1000)	3000 - 4000	80	165	85	0,8	1,65	0,85
V	3	≈ 1000		95	145	69	0,95	1,45	0,69
IV	2	≈ 600		65	135		1,08	2,25	
III		≈ 500		73	60		1,46	1,2	
II	1	≈ 300			35			1,17	
I		(≤ 600)							

Kern BT 1 weist in den entsprechenden Pollenzonen etwa nur halb so große Sedimentationsraten auf, wie der aus demselben Kieselgurbecken stammende, aber ufernäher (\rightarrow Abb. 6.14) gelegene Kern KS 430/72.

6.2.5. Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern BT 1

An zwei Proben des Bohrkerns BT 1 wurde am Institut für angewandte Physik der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Abteilung TU Bergakademie Freiberg, der Versuch einer Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung an Kalifeldspäten im Feinsandbereich (≈ 90 - $160 \mu\text{m}$) unternommen (Degering and Krbetschek, 2007). Hierzu wurde eine Probe (BT 1 IR-RF 1) aus den unmittelbar die Kieselgur überlagernden Sanden und eine Probe (BT 1 IR-RF 2) aus dem Bereich der lokalen Pollenzone 10 entnommen (Abb. 6.22). Tabelle 6.11 gibt die Messergebnisse wieder. Die Alter beziehen sich auf wassergesättigtes Sediment.

BT 1
(10,00-12,00 m)

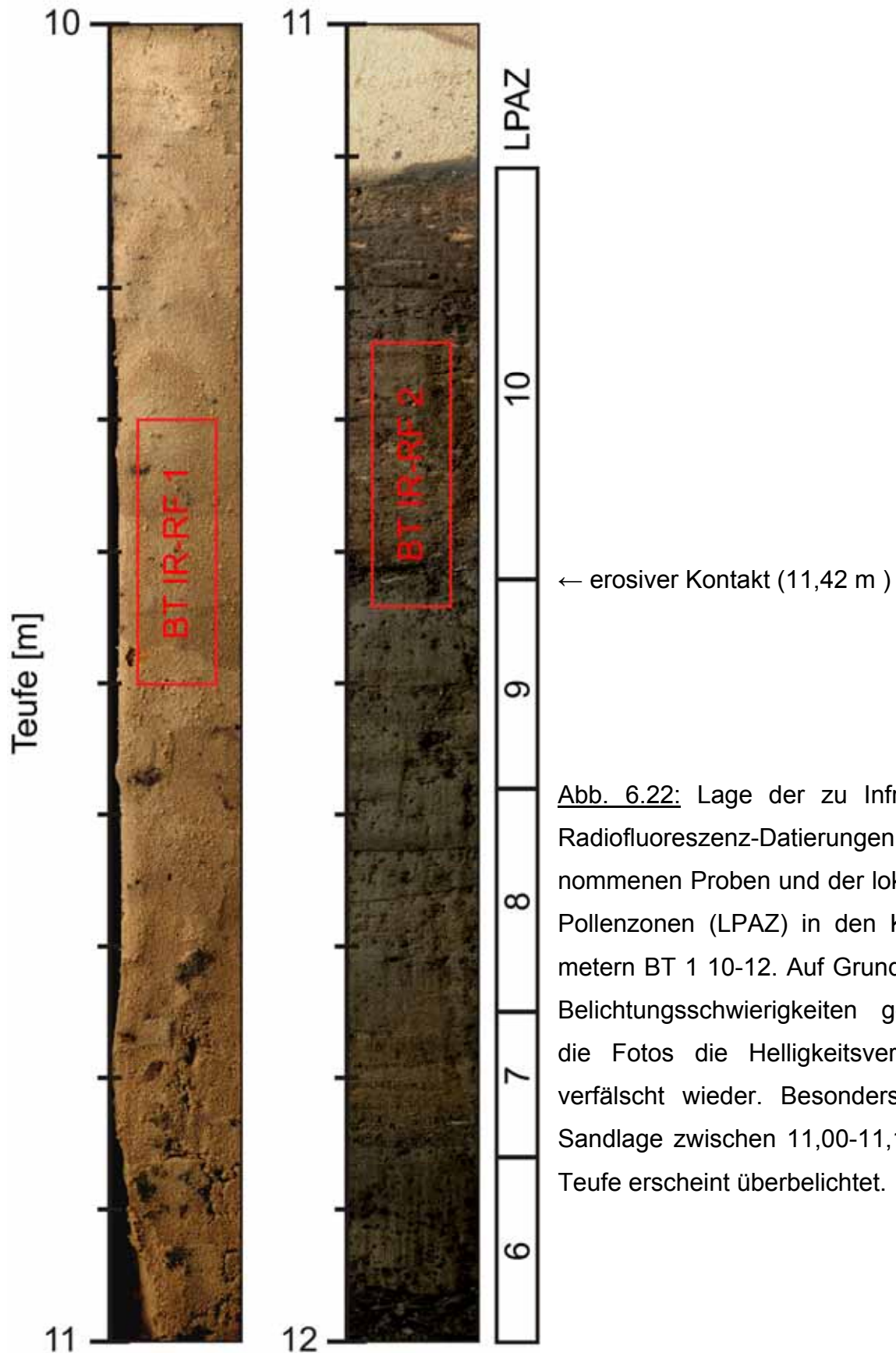


Abb. 6.22: Lage der zu Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen entnommenen Proben und der lokalen Pollenzonen (LPAZ) in den Kernmetern BT 1 10-12. Auf Grund von Belichtungsschwierigkeiten geben die Fotos die Helligkeitsverläufe verfälscht wieder. Besonders die Sandlage zwischen 11,00-11,10 m Teufe erscheint überbelichtet.

Tab. 6.11: Infrarot-Radiofluoreszenzdatierungen an Bohrkern BT 1. Die Alter unterstellen wassergesättigte Bedingungen. Die sich auf den *in situ* Wassergehalt beziehenden Alter (293±18 ka für BT 1 IR-RF 1, beziehungsweise 256±16 ka für BT 1 IR-RF 2) liegen in den Konfidenzintervallen der „gesättigten“ Alter.

Probe	Teufe [m]	Wassergehalt [%]		Kosmische Dosissrate [MGy/a]	spezifische Aktivität [Bq/kg]			Paläodosis [Gy]	Alter [ka]
		<i>in situ</i>	gesättigt		²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K		
BT 1 IR-RF 1	10,30-10,50 (Sand)	21 ±2	25 ±3	62 ±6	3,3 ±0,16	2,91 ±0,19	131,5 ±2,1	341 ±15	297 ±19
BT 1 IR-RF 2	11,25-11,45 (sandige Gytija)	52 ±5	62 ±6	57 ±6	10,62 ±0,41	11,56 ±0,57	197,6 ±4,0	350 ±12	265 ±17

6.2.6. Hetendorf/Bonstorf – Diskussion

Insgesamt bestätigen die palynologischen Auswertungen von Kern BT 1 die Befunde von Meyer (1974) und erhärten, auf Grund der Korrelierbarkeit der Pollenzonen zu Denen aus Munster/Brehloh (Müller, 1974), eine Einstufung des Interglazialvorkommens von Hetendorf/Bonstorf in die Holstein-Warmzeit. Dabei spricht insbesondere auch die im Aufschlussprofil von Meyer(1974) und auch im Kern BT 1 dokumentierte Präsenz von *Pterocarya* für eine holsteinzeitliche Einstufung.

Die lokalen Pollenzonen 1-5 können problemlos mit Meyers Pollenzonen II-VII korreliert werden. Der von Meyer (1974) als Pollenzone VIII ausgewiesene Abschnitt ist im Kern BT 1 nicht (wie in Meyers Kernen KS 403/71 und KS 430/72) sandig, sondern als detritusreiche Mudde (LPAZ 6-9) ausgebildet. Diese Beobachtung bekräftigt die schon in 6.2.1. angestellte Überlegung, dass die hangende Kieselgur (beziehungsweise die hangenden Gytjen) erosiv überprägt wurden, dass also die Grenze Kieselgur(Gyttja)/Sand einen Hiatus beinhaltet.

Die palynologisch Meyers Pollenzoneengrenze VII/VIII entsprechende lokale Pollenzoneengrenze 5/6 wird von einem Bohrkernverlust begleitet. Im Kernverlust gefundene Sandreste legen die Vermutung nahe, dass der Kernverlust einer Sandlage oder zumindest sandigen Lage entspricht. Die auf den Kernverlust folgenden LPAZ 6-9 lassen sich den in Munster/Brehloh von Müller (1974) aufgestellten Pollenzonen IX-XII, zuordnen. Sie weisen eine prinzipiell ähnliche Pollenvergesellschaftungsabfolge auf wie sie nach PAZ VIII in Munster/Brehloh (dem so genannten ersten Birken-Kiefern-Vorstoß) folgt. Ihre, gegenüber LPAZ 3-5 auffallend geringmächtige

und sandige Ausbildung legt jedoch die Vermutung nahe, dass die entsprechenden Sedimente oberhalb 12 m Teufe nicht in ungestörter Lagerung überliefert sind. So weist die durch das *Carpinus*-Maximum in Kern BT 1 bestimmte LPAZ 7 eine Mächtigkeit von lediglich 11 cm auf. Die Dauer der entsprechenden Pollenzone X von Munster/Brehloh wurde von Müller (1974) durch Warvenzählungen mit etwa 1600 Jahren bestimmt (→ 6.3.1.) und durch eigene Warvenzählungen an den Kernen MU 1 und MU 2 bestätigt (→ 6.3.5.). Aus diesen Daten ergäbe sich für LPAZ 7 in Kern BT 1 eine mittlere Sedimentationsrate von cirka 0,07 mm/a. In Anbetracht der Sedimentausbildung in diesem Teufenbereich ein nicht haltbarer Wert, der als weitere Hinweis auf Umlagerungen gewertet werden muss.

Der Sandreste aufweisende Kernverlust zwischen 12,20-12,00 m Teufe selbst repräsentiert die Zeit um Pollenzone VIII nach Müller (1974). Müller (1974) berichtet von 10 cm Mittel- bis Grobsand respektive von mindestens 1,5 m Sand, im Liegenden von PAZ VIII in den Kernen KS 416/71, beziehungsweise KS 407/71 aus Munster/Brehloh. Wie in Abbildung 6.17 gezeigt unterlagen die Kieselgurvorkommen von Hetendorf/Bonstorf als auch die von Munster/Brehloh glazialer Überprägung. Dabei kann es zu Erosion und insbesondere im Vorfeld der Gletscherstirn zu Störungen (Auf-, Ab-, Überschiebungen) und Faltungen kommen. Die Beobachtung, dass ausgerechnet an dem palynologisch markanten Übergang zu Müllers PAZ VIII (1. Birken-Kiefern-Vorstoß) die Kieselgurüberlieferung in den Kernen von Meyer abreist und im Kern BT 1 unterbrochen ist (sandiger Kernverlust mit Sedimentwechsel von Kieselgur im Liegenden zu detritusreicher Diatomeengyttja im Hangenden) verblüfft zunächst. Die in Munster/Brehloh dokumentierte Sandeinschaltung im Liegenden dieser Pollenzone (die im Übrigen auch in dem später noch behandelten Kern Munster 2 anzutreffen ist) liefert in Verbindung mit der glazialen Überprägung der Lagerstätten jedoch einen Erklärungsansatz. Offenbar fungieren synsedimentär in die Kieselgur eingeschaltete Sandlagen als Abscherflächen an denen die kompetenteren Kieselgurblöcke aneinander vorbei gleiten können. In diesem Zusammenhang erscheint auch verständlicher weshalb die Pollenführung in den Sanden in etwa der entspricht wie sie oberhalb Pollenzone VII (nach Müller, 1974) zu erwarten wäre. Bei einer rein erosiven Grenze wäre dies kaum der Fall, fungieren die Sande aber als Scherzone ist eine Einarbeitung von Material in die

Sande zu erwarten. Auch die an der LPAZ Grenze 9/10 (11,42 m) gefundene Diskordanz repräsentiert wahrscheinlich eine so angelegte Störungsfläche.

Die Ergebnisse der Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung (→ Tab. 6.11) erscheinen aus verschiedenen Gründen problematisch und stellen mehrere Möglichkeiten zur Diskussion, zwischen denen aber letztendlich nicht endgültig entschieden werden kann. Zum ersten fällt auf, dass die Datierungen die hangenden Sande älter ausweisen als die liegenden sandig-siltigen, der lokalen Pollenzone 10 zugehörigen, Gytjien. Zum anderen passt das Alter der zum ausklingenden Interglazial zählenden Probe BT 1 IR-RF 1 nicht mit den gängigen Vorstellungen zusammen, die das Holstein den marinen Isotopenstadien (7), 9 oder 11 zuordnen. Während die Sande Alter im Übergangsbereich MIS 8/9 ergeben, liegen die Alter der zu LPAZ 10 gehörigen Sedimente in der jüngeren Hälfte von MIS 8 (→ Abb. 4.1) wo keine Interglazialphase zu erwarten ist. Somit kann die Altersdatierung von Probe BT 1 IR-RF 1 sicher nicht dem Bildungsalter der organogenen Ablagerungen entsprechen. Hierbei muss in Betracht gezogen werden, dass nicht die organogenen Bestandteile selbst, sondern die in LPAZ 10 befindlichen klastischen Anteile (Feldspäte) zur Datierung kommen. Es stellt sich die Frage nach deren Herkunft und Ablagerungsgeschichte. Dabei bleibt offen ob es sich um äolische oder fluviatile Einträge handelt, ob mehrere Sedimentationsprozesse ineinander greifen oder ob die klastischen Anteile innerhalb LPAZ 10 auf Aufarbeitung deren und anderer Sedimente zurückgehen. Bei Annahme nicht rein äolischer Sedimentation (also keine vollständige Bleichung) wären die ermittelten Alter als zu hoch anzusehen, bei Annahme einer zumindest teilweise Wiederaufarbeitung der Sedimente von LPAZ 10 wären die Alter, auf Grund zu erwartender Bleichungseffekte, als zu gering einzuschätzen. Sie würden nicht die Erstablagerung repräsentieren. Als Indiz für letzteres Szenario könnte die als Störungshorizont interpretierte Liegendgrenze von LPAZ 10 gewertet werden (welche in der Probe BT IR-RF 1 mit erfasst wurde). In diesem Zusammenhang ergibt sich zusätzlich die Problematik, dass die bei den Altersbestimmungen zu Grunde gelegte Wassersättigung gegebenenfalls nicht konstant gegeben war.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die interglazialen Kieselgurvorkommen von Bonstorf mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Holstein zuzuschreiben sind, die absolute Altersstellung aber offen bleibt.

6.3. Munster/Breloh, Niedersachsen, Lüneburger Heide

6.3.1. Munster/Breloh – Lokalität, Stand der Forschung

Die Kieselgurlagerstätte von Munster-Breloh erstreckt sich nach Benda und Brandes (1974) etwa 6 km in nordwest-südöstlicher Richtung unter der Ortschaft Munster in der Lüneburger Heide (Niedersachsen) (Abb. 6.23) (TK 25, Munster, 3026 und TK 25, Munster Nord, 2926). Müller (1974) veröffentlichte je drei Pollenprofile aus Kernbohrungen (KS 407/71, KS 408/71, KS 416/71) innerhalb des Vorkommens, beziehungsweise aus Aufschlussprofilen der Kieselgur-Grube Else II, sowie ein Profil einer Peilstangenbohrung (PS 385/71) „aus einem kleinen Kieselgurvorkommen zwischen Breloh und Bispingen“. Die Lage der von Müller (1974) bearbeiteten Kernbohrungen, sowie die Positionen der in dieser Arbeit vorgestellten DEKLIM-Kernbohrungen Munster 1 (MU 1) und Munster 2 (MU 2) sind in Abbildung 6.23 gekennzeichnet. Kern MU 1 wurde auf dem Gelände der ehemaligen Kieselgurgrube „Else“, MU 2 etwa 100 m südöstlich des Bahnhofs Munster erbohrt.

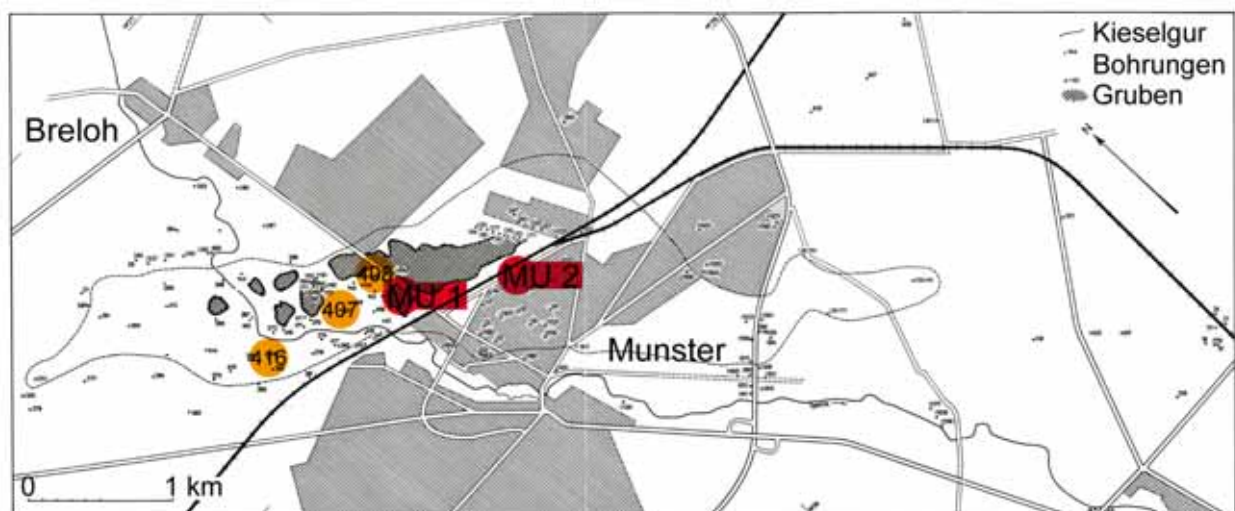


Abb. 6.23: Begrenzung der Kieselgurlagerstätte Munster/Breloh (nach Benda und Brandes, 1974) mit Lage der von Müller (1974) pollenanalytisch bearbeiteten Kernbohrungen (orange) und Lage der neuen DEKLIM-Bohrungen MU 1 und MU 2 (rot).

In Abbildung 6.24 sind die von Müller 1974 veröffentlichten Pollenprofile der Kernbohrungen wiedergegeben. Die Pollenkurven der Kernprofile beziehen sich auf die Baumpollensumme ausschließlich *Corylus* (im Gegensatz zum schon in 4.2.1.2. vorgestellten, schematisierten Gesamtprofil, welches sich auf die Summe aller terrestrischen Pollen bezog).

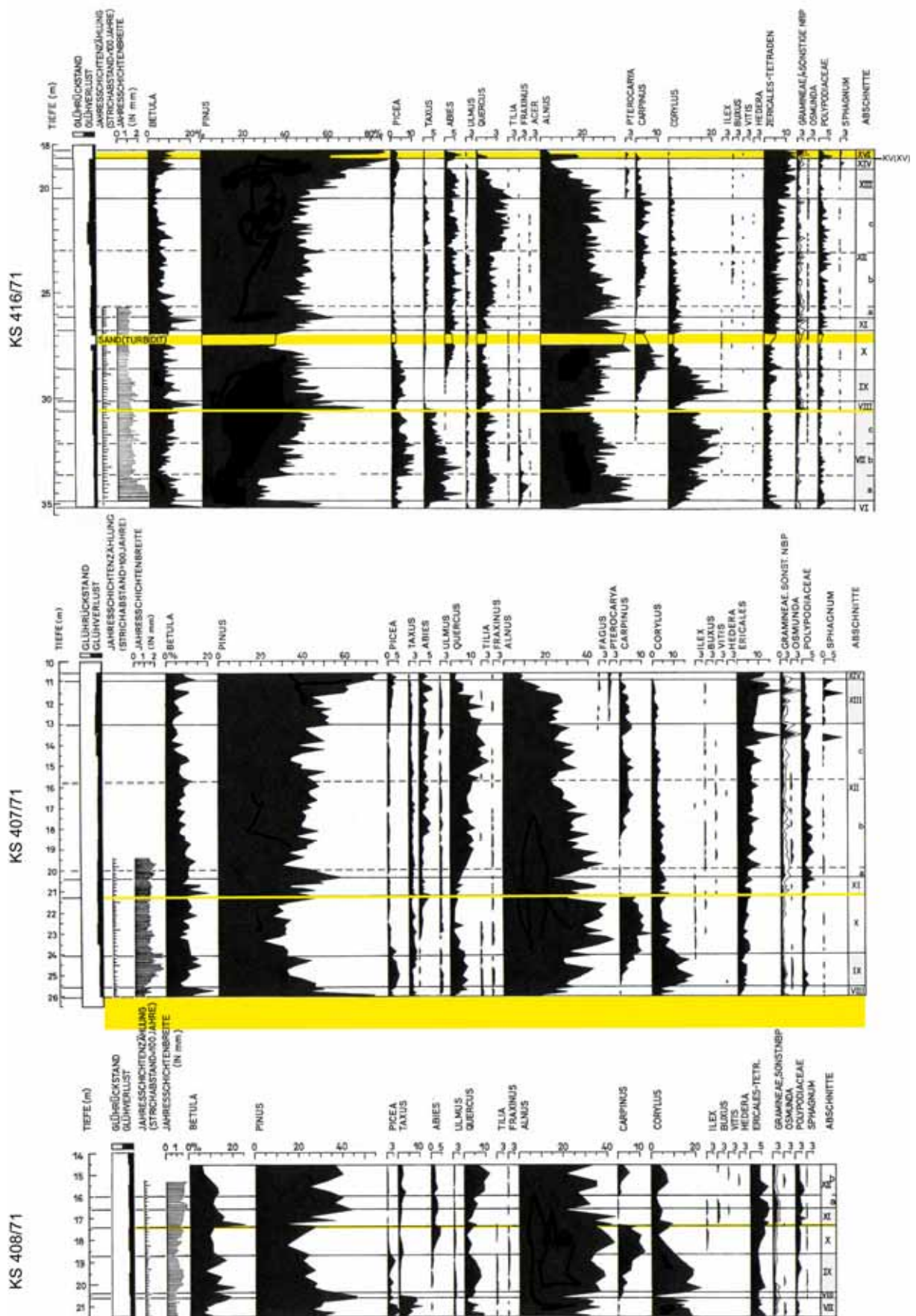


Abb. 6.24: Pollenprofile KS 416/71, KS 407/71 und KS 408/71 (Werte in % Baumpollen ohne *Corylus*) aus der Kieselgurlagerstätte Munster/Breloh (Müller, 1974). Gelb: Sand-, oder sandige Lagen; KV: Kernverlust.

Im Pollendiagramm der Kernbohrung KS 416/71 ist ein etwa 50 cm mächtiger „Sandturbidit“ gegen Ende von Pollenzone X ausgehalten. Des Weiteren werden in Müller (1974) im selben Kern 10 cm weißer Mittel- bis Grobsand an der Basis von Pollenzone VIII erwähnt. Für die Bohrung KS 407/71 werden mindestens 1,5 m Sand im Liegenden von Zone VIII angegeben. Erhöhten Sandgehalt beziehungsweise Sandstreifigkeit in den Bohrungen gibt Müller des Weiteren für den Bereich des zweiten, jüngeren Birken-Kiefern Vorstoßes, an der Pollenzonengrenze X/XI an. Die Pollenzonen VIII und XI/XIIa, welche von Müller (1974) mit klimatischen Rückschlägen in Verbindung gebracht werden zeigen bezüglich der in Abbildung 6.24 dokumentierten Warvenmächtigkeiten keinerlei Auffälligkeiten.

Tabelle 6.12 fasst die Pollenzonenmächtigkeiten der in Abbildung 6.24 dargestellten Profile zusammen.

Tab. 6.12: PAZ-Mächtigkeiten in den Kernen KS 416/71, KS 407/71 und KS 408/71 aus der Kieselgurlagerstätte Munster/Breloh. Schwarz: nach Angaben im Text von Müller, 1974, blau: aus den Pollendiagrammen nach Abb. 6.24 entnommene, auf 25 cm gerundete Werte, rot: zum Pollendiagramm widersprüchliche Textangaben (PAZ-Grenze XII/XIII ist für Kern KS 407/71 im zugehörigen Pollendiagramm bei 13 m gezogen, im Text aber mit 12,20 m angegeben). PAZ: *pollen assemblage zone*.

PAZ		PAZ-Mächtigkeit [cm]				
		KS 416/71		KS 407/71		KS 408/71
XIII		130		110 (~200)		-
XII	c	578	~250	820 (~750)	~275	>180
	b		~250		~425	
	a		~50		~50	
XI		60		80		70
X		167 (Inklusive ~50 cm Sand“turbidit“) 117 (Exklusive ~50 cm Sand“turbidit“)		270		115
IX		143		170		140
VIII		44		~50		10
VII	c	423	~150	-	-	>75
	b		~150		-	
	a		~125		-	
VI		>20		-		-

Während manche Pollenzonen in den Kernen ähnlich oder fast gleich mächtig ausgebildet sind (PAZ VIII, IX, XI, XIIa, XIIc) weichen andere stark, oder sogar extrem (PAZ X, XIIb) in ihren Mächtigkeiten voneinander ab. Die abwechselnd ähnlichen und dann wieder verschiedenen Mächtigkeiten der PAZ sprechen für Umlagerungen in den betreffenden Kernen. Von „zum Teil erheblichen Lagerungsstörungen vor allem

in den Randgebieten und höheren Teilen des Beckens, deutlichen Verfaltungen und Verwerfungen von mehreren Metern, sowie von sehr schnellem, randlichem Auskeilen der Gur, welches zum Teil überaus steile Beckenränder dokumentiert“ wird schon in Benda und Brandes (1974) berichtet. Außerdem werden von letzteren Autoren „Sandrücken, das heißt morphologische Aufragungen des Untergrundes“ erwähnt.

Zur Dokumentation der in den Bohrkernen nicht enthaltenen Profilabschnitte zieht Müller (1974) die Peilstangenbohrung PS 385/71 (Abb. 6.25), beziehungsweise die Pollenprofile von Meyer (1974) aus Hetendorf/Bonstorf (→ 6.2.) heran.

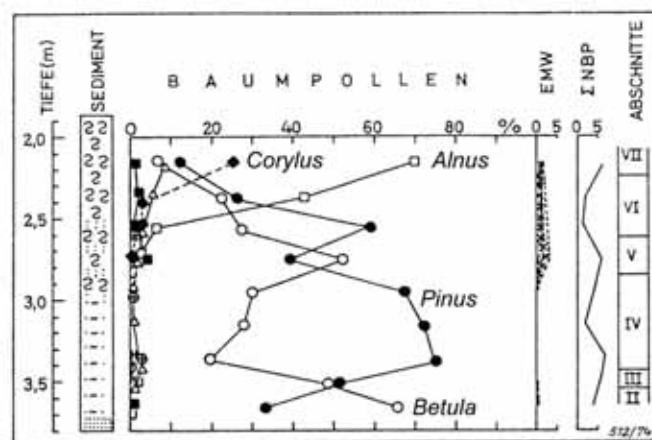


Abb. 6.25: Peilstangenbohrung (PS 385/71) „aus einem kleinen Kieselgurvorkommen zwischen Breloh und Bispingen“ (ergänzt nach Müller, 1974).

Müller (1974) postuliert zwei, postholsteinzeitliche, durch Heidephasen (PAZ XV und XVII) voneinander getrennte, interstadiale „Nachschwankungen“ (PAZ XVI und XVIII). Die zugehörigen Pollenprofile (Abb. 6.26) basieren auf Aufschlussprofilen aus der Kiesgurgrube Else II. In den Bohrkernen soll ein sandiger Kernverlust in KS 416/71 der 1. Heidephase entsprechen. PAZ XVI ist im selben Kern, den Beschreibungen Müllers zu Folge sandig ausgebildet.

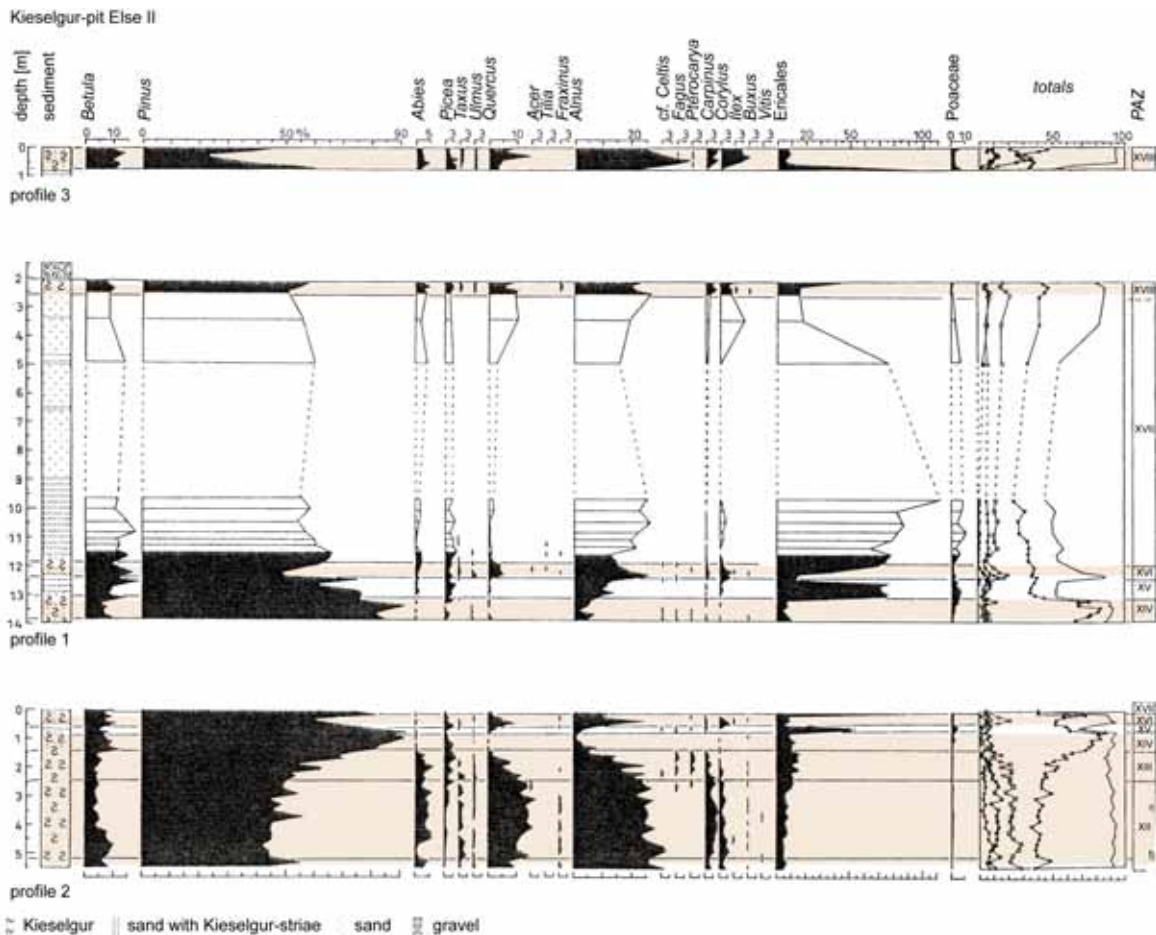


Abb. 6.26: Pollendiagramme aus der Kieselgurgrube Else II. Die in Kieselgur ausgebildeten Pollenzonen (Holstein: XII, XIII, XIV, 1. & 2. „Nachschwankung“: XVI, XVIII) sind farblich unterlegt. Müllers, so genannte Heidephasen (PAZ XV und XVII) sind in Sanden ausgebildet. Pollenwerte in % des Baumpollens ohne *Corylus*, im Totaldiagramm in % des Gesamtpollens ohne Wasserpflanzenpollen.

Die Ausbildung, der von Müller (1974) als 1. und 2. Nachschwankung bezeichneten Pollenzonen XVI und XVII als geringmächtige Kieselgurlagen zwischen teils „humosen“ Sanden (oder in Profil 1 unter kiesigem Sand) deuten auf potentielle Umlagerungen. Die Interpretation der Pollenzonen XV bis XVIII als kontinuierliches, unverfälschtes Abbild der Vegetationsentwicklung erscheint daher eher zweifelhaft. Nach einer mündlichen Mitteilung von schließt auch Herr Dr. Helmut Müller selbst eine Verfälschung der stratigraphischen Abfolge durch Umlagerungen nicht aus.

In den laminierten Kieselgurabschnitten vorkommende Hell-Dunkel-Doppellagen wurden von Müller anhand ihrer Pollenführung eindeutig als Jahreslagen (Warven)

klassifiziert. Dabei entspricht die helle Lage, mit verstärkter Diatomeenakkumulation, der Algenblüte des Vor- bis Vollfrühling, die dunkle Lage dem Rest eines Jahres. Dieser Befund wird durch diatomeenkundliche Untersuchungen gestützt (Benda, 1974) und entspricht den von Meyer (1974) an den Kieselgurablagerungen bei Hetendorf/Bonstorf gemachten Untersuchungen (→ 6.2.1.). Die Pollenbeprobung erfolgte bei Müller (1974) in Form „möglichst gleichmäßig breiter, in der Vertikalen 5 cm langer Streifen, was bei einer überwiegenden Mächtigkeit der Warven von 1-2,5 mm Sedimentationsdauern zwischen 20 und 50 Jahren entspräche“. Müller führte an den Kernen Warvenzählungen mittels 10-25fach vergrößernder Lupen durch. Zählbar waren die Kernabschnitte 25,7-35,5 m KS 416/71, 19,35-26,10 m KS 407/71 und 15,25-21,40 m KS 408/71. Für die Dauer der Pollenzonen kam er zu den in Tabelle 6.13 dargestellten Ergebnissen.

Tab. 6.13: Dauer der Pollenzonendauer nach Müller (1974). Schwarz: Warvenzählungen, kursiv und rot: Schätzungen. PAZ: *pollen assemblage zone*, ≥ : etwas über, ≈ : etwa.

PAZ	Dauer [a]		
XIV			
XIII	1000-1500		
XII	≈ 900 (4000-5000)	11000	
XI	300-500	-	15000
X	≈ 1600	12000	-
IX	≥ 1000		16000
VIII	200-400		
VII	≥ 2500		
VI			
V			
IV			
III			
II			
I			

Von der geschätzten Gesamtdauer von 15-16 ka sind lediglich 6,5-6,9 ka durch Warvenzählungen verifiziert.

Müllers untere Grenze für die Gesamtdauer der PAZ VII-XIII fällt um 400 Jahre höher aus als es der Aufsummierung seiner Angaben zu den einzelnen Pollenzonen entspräche, während seine Obergrenze diesbezüglich um 500 Jahre zu niedrig ist.

Aus den Angaben zu den einzelnen PAZ ergäbe sich konsequenter Weise eine um 900 Jahre größere Zeitspanne zwischen 10600 bis 12500 Jahren, wovon 6500-6900 Jahre warvengezählt sind (52-65% der Gesamtdauer entsprechend). Auch die Schätzung der die Pollenzonen I-XIV umfassenden Zeitspanne, welche die von Meyer (1974) vermuteten 3000-4000 Jahre für die Pollenzonen I-VI mit einbezieht bleibt nicht konsequent. Aus den von Müller postulierten 11-12 tausend Jahren für PAZ VII-XIII resultierten unter Einbezug der Ergebnisse von Meyer (1974) schon 14000-16000 Jahre ohne Pollenzone XIV, eine Zeitspanne, deren obere Abschätzung keinen Freiraum mehr für PAZ XIV zuließe. Nach Meyer (1974) soll Müller diese aber auf einen Zeitraum von etwa 500 Jahren taxiert haben (in Müllers Text ist diesbezüglich jedoch nichts erwähnt). Die Spannweite der Schätzung für die Gesamtdauer der PAZ I-XIII (oder gar XIV) erscheint daher eher zu gering.

Verwendet man streng die für die einzelnen Pollenzonen gemachten Angaben beider Autoren so ergibt sich rechnerisch, für die Pollenzonen VII-XIII ein Zeitfenster von 10600-12500 Jahren und für PAZ I-XIII dann ein Zeitintervall zwischen 13600-16500 Jahren (3-4 tausend Jahre für PAZ I-VI), also statt lediglich 1000 Jahre „Spielraum“ für PAZ I-XIII, wie von Müller beschrieben, schon knapp 3000 Jahre Ungenauigkeit ohne Einbezug von Pollenzone XIV. Bedenkt man weiter, dass die Summe tatsächlich gezählter Warven (6500-6900 bei Müller und 2206 bei Meyer) mit etwa 8700-9100 nur ungefähr 52-67% der neuerlichen Schätzung für die Dauer von PAZ I-XIII beträgt, so ergibt sich gegebenenfalls noch mehr Freiraum.

Tabelle 6.14 gibt eine Zusammenstellung der, von Meyer (1974) und Müller (1974) gemachten Warvenzählungen und Abschätzungen und ergänzt diese durch die, nach obiger Diskussion „korrigierten“ Abschätzungen.

Tab. 6.14: Zusammenstellung der Pollenzonen und ihre Dauer nach Meyer (1974) und Müller (1974) mit „korrigierten“ Abschätzungen. Schwarz: Warvenzählungen, kursiv und rot: Schätzungen. Die Abschätzung für PAZ I resultiert rechnerisch aus den übrigen Abschätzungen von Meyer (1974). PAZ: *pollen assemblage zone*, \geq : etwas über, \leq : kleiner gleich, \approx : etwa.

PAZ		Dauer [a]												
Meyer, Müller (1974)		Meyer (1974)		Müller (1974)				„korrigierte“ Abschätzungen						
Munster/Breloh	XIV	500												
	XIII				1000-1500									
	XII				\approx 900 (4000-5000)									
	XI				300-500			11000				10600		
	X				\approx 1600	\approx 5600				15000		-		
	IX				\geq 1000	-						12500		
	VIII				200-400	6000				16000			13600	
	VII				\geq 2500							-		17000
Hetendorf/Bonstorf	VI	\geq 100 (1000)												
	V	\approx 1000												
	IV	\approx 600	\approx 2100	3000								3000		
	III	\approx 500		-								-		
	II	\approx 300		4000								4000		
	I	\leq 600												

Insgesamt kann sicher festgestellt werden, dass die von Müller (1974) prognostizierten 15000-16000 Jahre ein zu eng gesetztes und damit eine nicht vorhandene Sicherheit bezüglich der Interglazialdauer suggerierendes Zeitfenster für die Dauer des Holstein darstellen.

Mit den ermittelten/geschätzten Pollenzonendauern und den Pollenzonenmächtigkeiten gemäß Tabelle 6.14 können mittlere Sedimentationsraten für die Pollenzonen ermittelt werden (Tab. 6.15).

Tab. 6.15: Mittlere Sedimentationsraten gemäß den Pollenzonenmächtigkeiten nach Tabelle 6.12 und den Pollenzonendauern nach Tabellen 6.13/14 für die Pollenzonen in den Kernen KS 416/71, KS 407/71 und KS 408/71 aus der Kieselgurlagerstätte Munster/Breloh. Schwarz: basierend auf Mächtigkeitsangaben im Text von Müller, 1974, blau: basierend auf, aus den Pollendiagrammen nach Abb. 6.24 entnommenen Mächtigkeitsangaben, rot: zum Pollendiagramm widersprüchliche Textangaben (in Müller, 1974), kursiv: überwiegend oder gänzlich auf Schätzungen der PAZ-Dauer beruhend, nicht kursiv: überwiegend oder gänzlich auf Warvenzählungen beruhend. PAZ: *pollen assemblage zone*.

PAZ		mittlere Sedimentationsrate [mm/a]					
		KS 416/71		KS 407/71		KS 408/71	
XIII		0,9-1,3		0,7-1,1 (1,3-2)		-	
XII	C	1,2-1,5	-	1,6-2,1 (1,5-1,9)	-	-	-
	B		-		-		
	A		-		-		
XI		1,2-2		1,6-2,7		1,4-2,3	
X		1,0 (Inklusive Sand“turbidit“) 0,7 (Exklusive Sand“turbidit“)		1,7		0,7	
IX		1,4		1,7		1,4	
VIII		1,1-2,2		1,25-2,5		0,25-0,5	
VII	C	1,7	-	-	-	-	-
	B		-		-		
	A		-		-		
VI		-		-		-	

6.3.2. Munster/Breloh – Material

Zur Klärung der offenen Fragen zu Dauer und Alter des Holstein-Interglazials wurden im Kieselgurbecken von Munster/Breloh zwei neue DEKLIM-Kerne gebohrt. Die abgeteufte Kerne MU 1 (→ Abb. 10.20) und MU 2 (→ Abb. 10.21) erreichten Tiefen von 25 m, respektive 50 m. Kern MU 1 besteht in den hangenden, etwa 9,5 Metern aus, stellenweise kiesigen oder tonstreifigen, in ihrem Liegenden, teils mit Kieselgur vermengten Sanden. Unterhalb 9,47 m Teufe folgt abrupt Kieselgur mit einigen Sandlagen, wobei die Kieselgur in den obersten, 6-7 Metern dunkler gefärbt ist als im Liegenden. Zwischen 20,00-24,80 m Teufe ist die Kieselgur laminiert. Die Lamination fällt meist leicht schräg ein. Verschieden einfallende Sandlagen, in der unlaminiert, massig ausgeprägten Kieselgur oberhalb etwa 20 m Teufe, deuten an, dass innerhalb Dieser mit Umlagerungen zu rechnen ist (→ Abb. 6.28). Der Kern endet mit einem 20 cm mächtigen, sandigen Kernverlust. Abbildung 6.27 zeigt den Teufenbereich 9-25 m, Kern MU 1. Die palynologische Stratigraphie (→ 6.3.4.) ist bereits mit vermerkt.

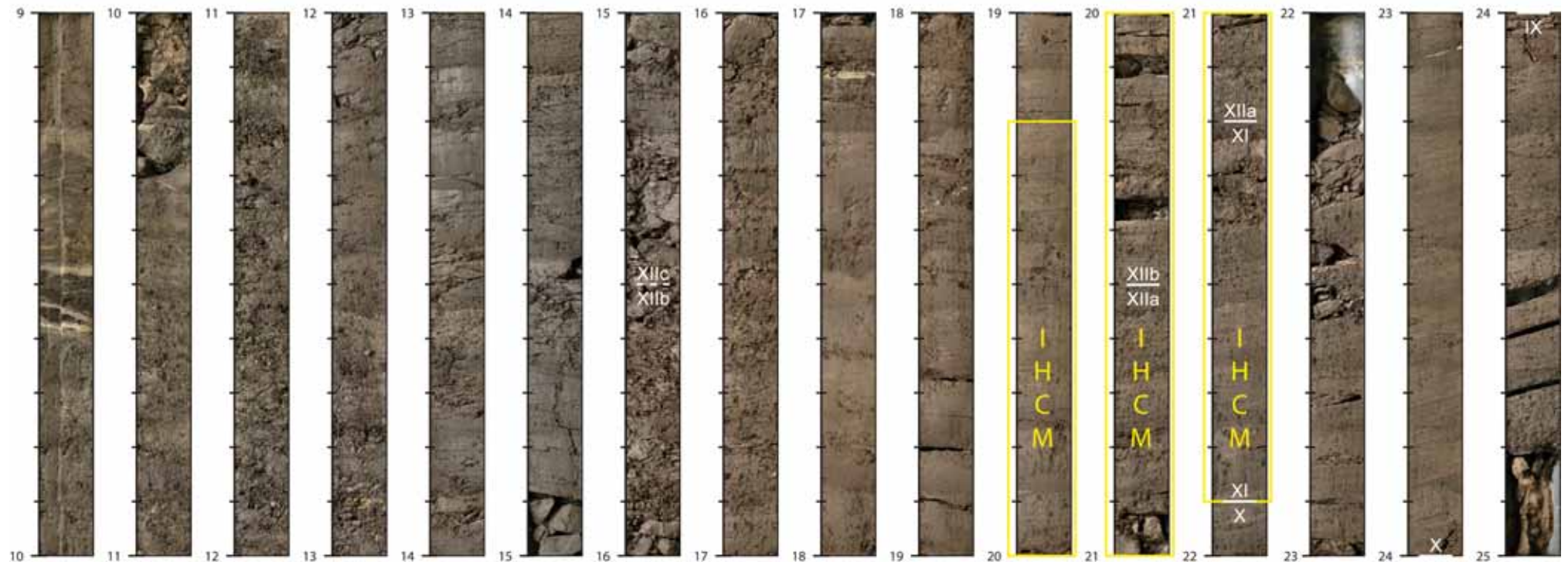


Abb.6.27: Kieselgurhöffiger Tiefenbereich des Kern MU 1. Teufenskala: [m], IHCM: Intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum, IX-XIIc: Pollenzonengrenzen.

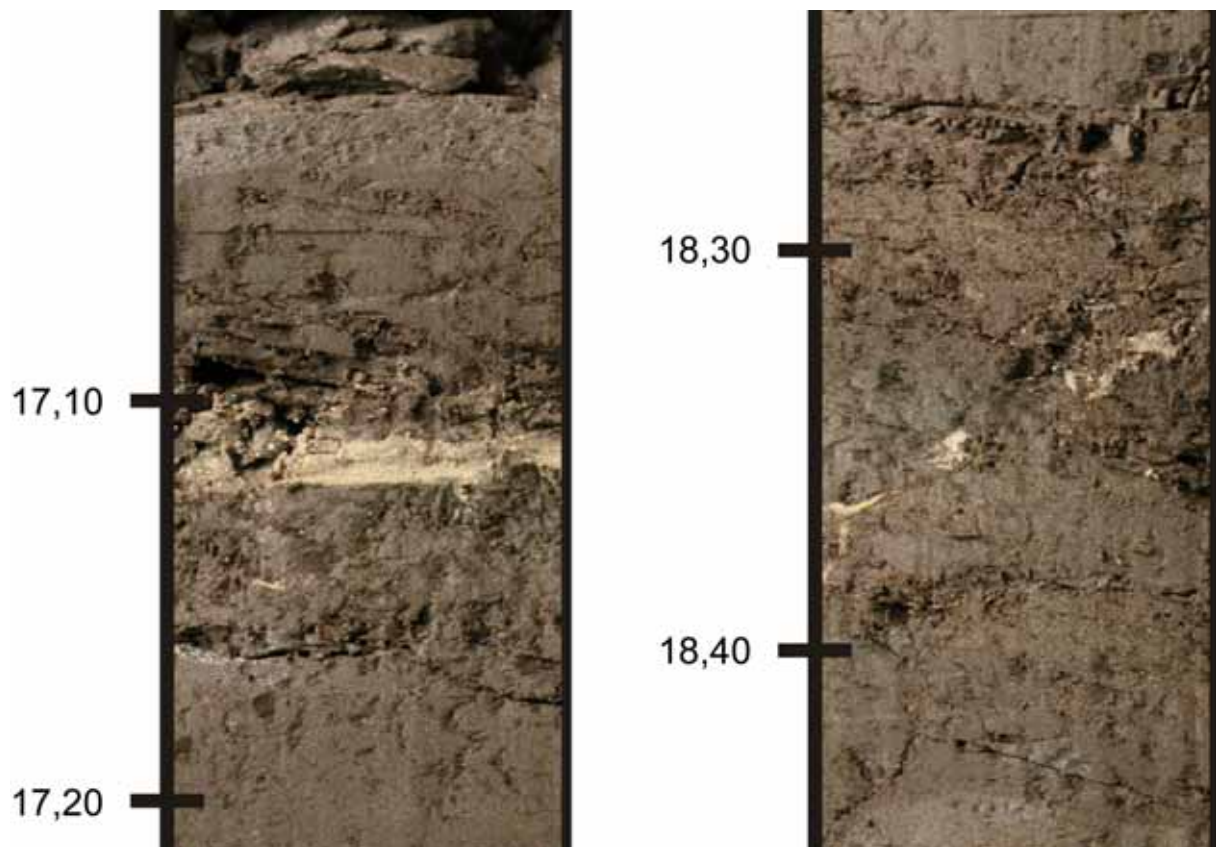


Abb.6.28: Horizontal und schräg einfallende Sandhorizonte innerhalb der unlamierten Kieselgur von Kern MU 1, Teufenskala: [m].

Tabelle 6.16 gibt eine detaillierte Kernbeschreibung von Kern MU 1.

Tab. 6.16: Kernbeschreibung MU 1 (KG: Kieselgur).

		MU 1		
Teufe [m]		Sediment		
0,00	1,07	Kolluvium (Sand, Kies, Steine)		
1,07	9,47	Sand, teils kiesig, teils fein mit Kieselgur vermengt	Ton	5,86-5,87 m
			Ton	5,93-5,97 m
			Ton	6,52-6,58 m
			Kernverlust (Sandreste)	7,81-8,00 m
9,47	25,00	Kieselgur unterhalb ~20 m laminiert	KG dunkelbraun, massig	
			Sand	9,525-9,54 m
			KG dunkelbraun, massig	
			Sand	9,55-9,57 m
			KG dunkelbraun, massig	

	Kernverlust (Sandreste)	10,00-10,32 m
	KG dunkelbraun, massig	
	Kernverlust	17,00-17,03 m
	KG hellbraun, massig	
	Sand	17,095-17,115 m
	KG hellbraun, bis ~20,00 m massig, darunter laminiert schräger (~30°). Sandhorizont bei 18,31-18,38 m	
	Kernverlust (Sandreste)	20,34-20,38 m
	KG hellbraun, laminiert	
	Sand (Kieselgur, Kernverlust)	20,91-21,00 m
	Kernverlust	21,00-21,02 m
	KG hellbraun, laminiert	
	Kernverlust	22,00-22,26 m
	KG hellbraun, laminiert bis 22,72 m verkippt und mit Sandfenstern	
	Kernverlust (Sandreste)	24,65-24,69 m
	KG hellbraun, laminiert	
	Kernverlust mit Sand	24,80-25,00 m

In Kern MU 2 liegt die Grenze der hangenden Sande zur Kieselgur im Teufenbereich 17,50-21,55 m. Dieser Abschnitt besteht aus einer Wechsellagerung von Sand, kieselgurhaltigen Bändern/Streifen oder Linsen, sandiger Kieselgur, beziehungsweise kieselgurhaltigem Sand. In den überlagernden Sanden treten noch bis etwa 12,50 m Streifungen mit Kieselgur auf. Unterhalb 21,55 m, bis 48,57 m Teufe, lagert Kieselgur, in welcher immer wieder, bis einige Dezimeter Mächtigkeit erreichende Sande eingeschaltet sind. Darunter folgt (von Kernverlust begleitet) etwa 1 m Sand. Im Teufenbereich 30,80-48,50 m ist die Kieselgur größtenteils laminiert, unterhalb 43,23 m jedoch meist extrem gestört und teils als sandiges, inhomogen massiges Kieselgurgemenge, stellenweise mit laminierten Kieselgur“fetzen“, teils als Verbund chaotisch vermengter Kieselgurstücke mit oft verwürgter/verfalteter Lamination, ausgebildet (→ Abb. 6.30). Dazwischen finden sich Bereiche mit horizontal laminierten, ungestörter Kieselgur. Oberhalb etwa 26,25 m Teufe (bis 21,55 m) ist die Braunfärbung der Kieselgur dunkler und graustichig. Abbildung 6.29 zeigt den Teufenbereich 17-50 m, Kern MU 2. Die palynologische Stratigraphie (→ 6.3.4.) ist bereits mit vermerkt.

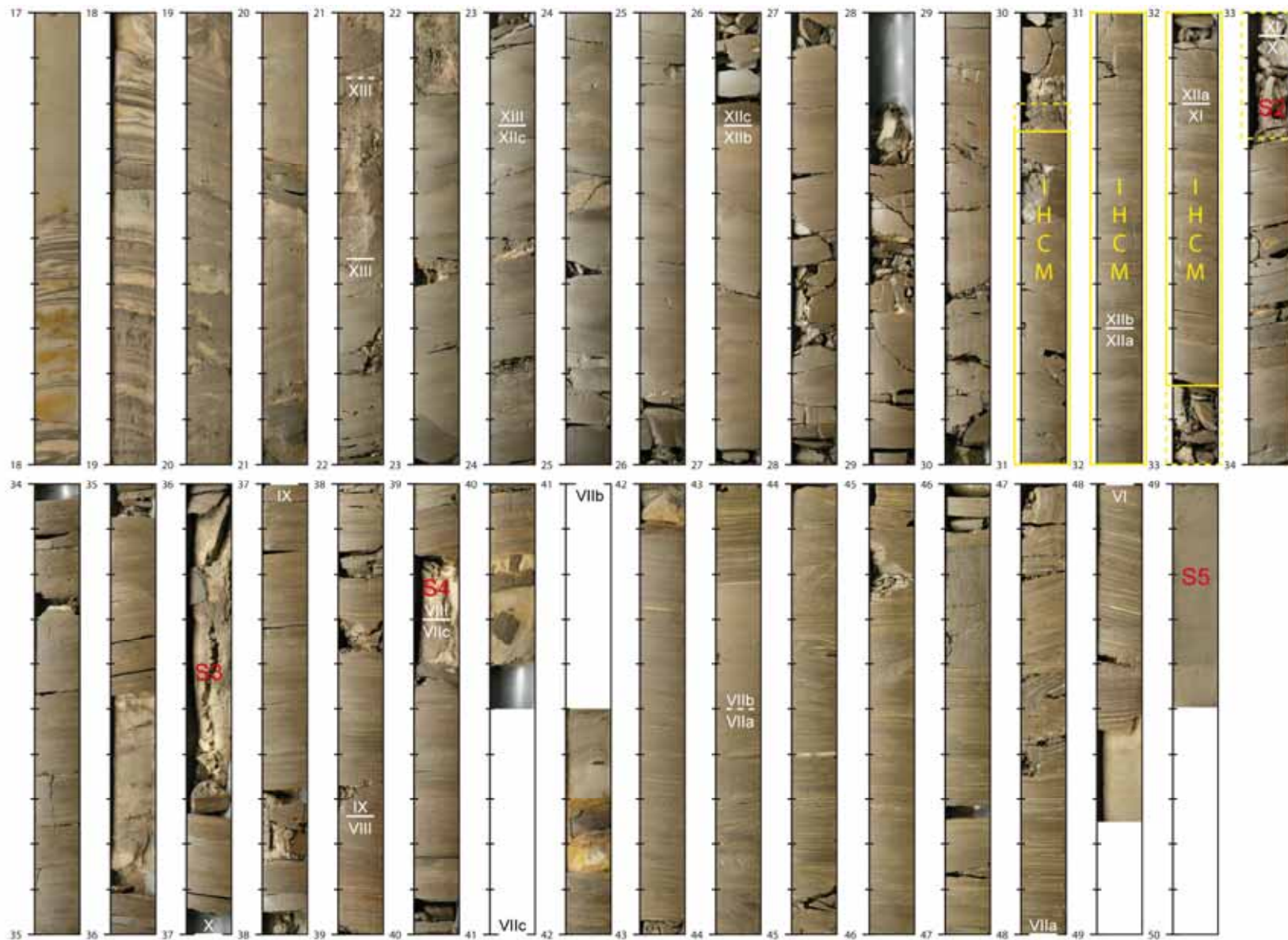


Abb.6.29: Kieselgurhöffiger Tiefenbereich des Kern MU 2. Teufenskala: [m], IHCM: Intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum, VI-XIII: Pollenzonen, S2-5: Siebproben (siehe folgenden Text).

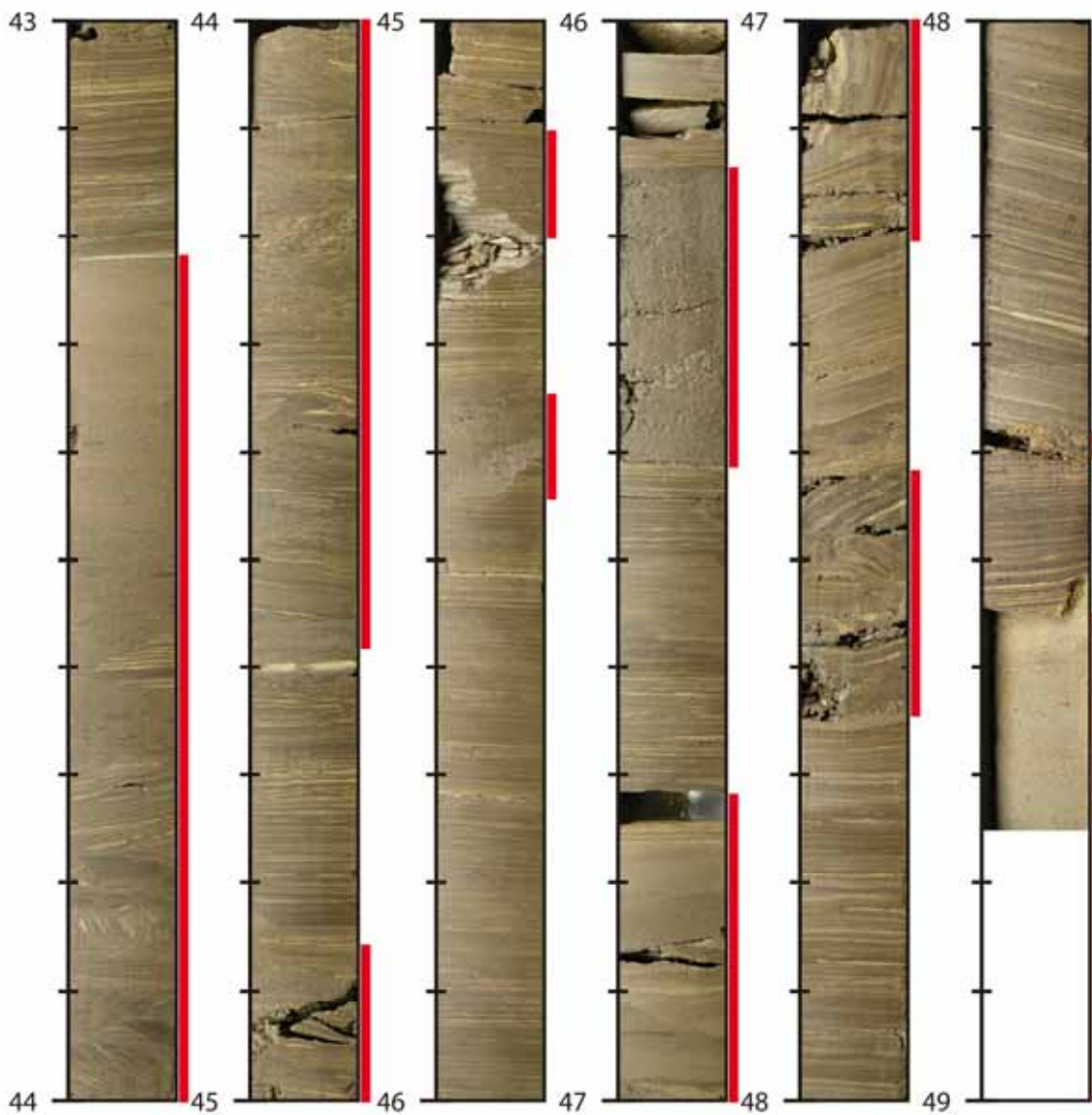


Abb. 6.30: Stark gestörter, beziehungsweise von Umlagerungen betroffener (rote Markierungen) Teufenbereich 43-49 m in Kern MU 2.

Neben den eindeutig erkennbaren Umlagerungen innerhalb der laminierten Kieselgur gibt es auch im hangenden unlaminierten Kieselgurabschnitt Hinweise auf Umlagerungen. Dies sind inselhaft, wurzellos innerhalb der Kieselgur liegende Sandnester, oder die in Abbildung 6.31 wiedergegebene, mit „Kieselgurschlieren“ durchsetzte Sandlage um 24,40 m Teufe.

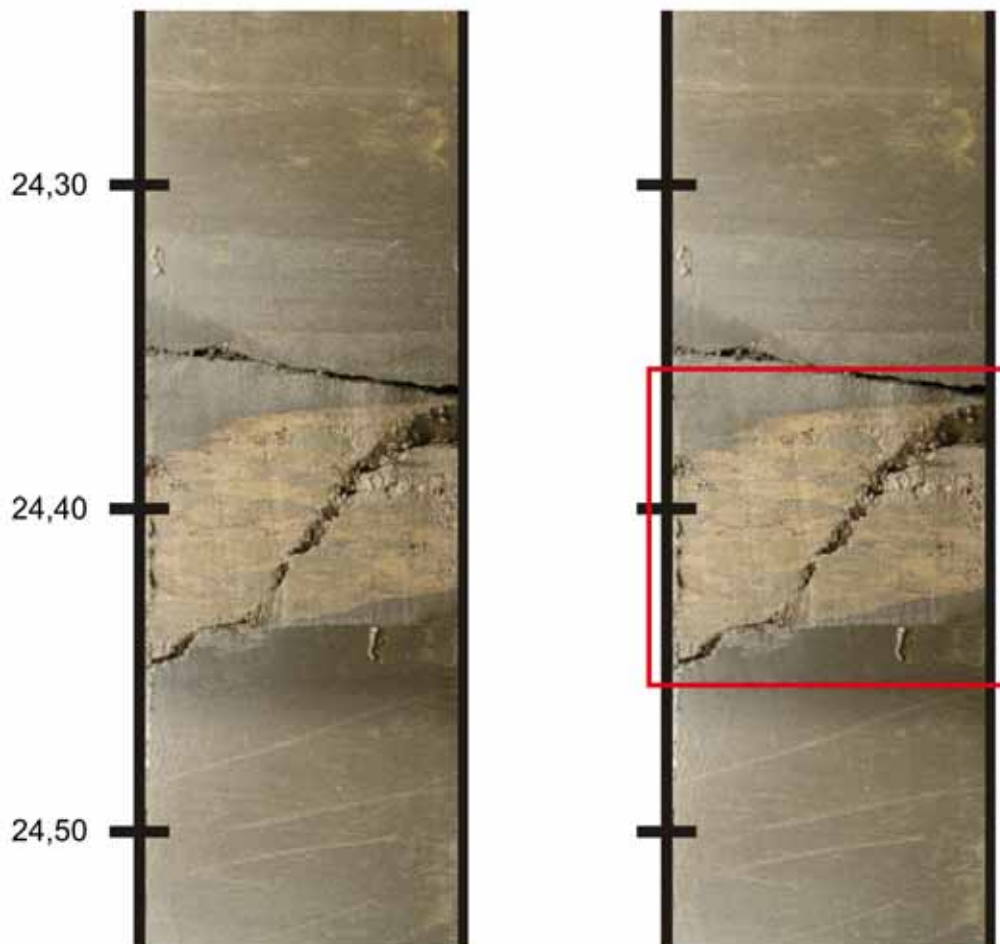


Abb. 6.31: Sandlage mit aufgearbeiteter Kieselgur bei 24,40 m Teufe innerhalb der unlaminierten Gur im oberen Bereich von Kern MU 2.

Die sandige Lage nach Abbildung 6.31 besteht aus etwa horizontal gestreckten, linsenförmigen Bereichen mit abwechselnd mehr oder weniger Kieselguranteil. Damit scheidet eine Deutung als Trübestromablagerung aus, die entweder als homogenes Sand/Kieselgur-Gemisch und/oder als schichtig, gradierte Sedimenteinheit ausgebildet sein sollte. Die Ausprägung der sandigen Lage zeugt von orientierter Kräfteeinwirkung und legt eine Interpretation als Störungshorizont nahe.

Bei 38,66-38,73 m Teufe weist in Kern MU 2 ein unstabiler Wechsel im Einfallen der Lamination um ein auskeilendes Sandfenster auf eine mit einem Hiatus behaftete Störung (Abb. 6.32). Abbildung 6.33 illustriert duktile Bewegung anzeigende Verfaltungen/Verwürgungen an der Basis der, der Sandlage in 39,18-39,425 m Teufe aufsitzenden, Kieselgur.

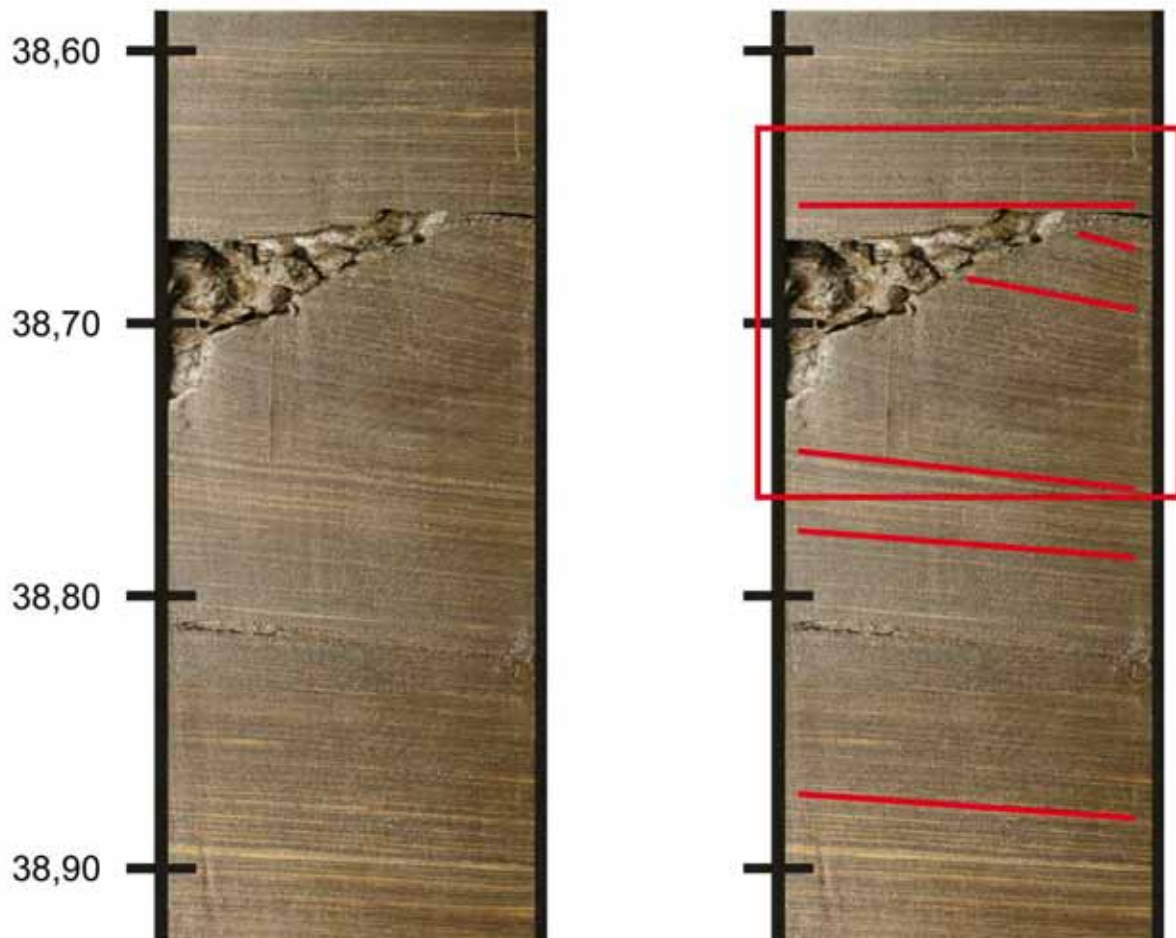


Abb. 6.32: Teufenbereich 38,60-38,90 m, Kern MU 2. Die Lamination der Kieselgur im Liegenden der auskeilenden Sandlage verkippt in deren Umfeld. Die hangende Kieselgur ist horizontal laminiert. Im Grenzbereich ist mit einem Hiatus zu rechnen.

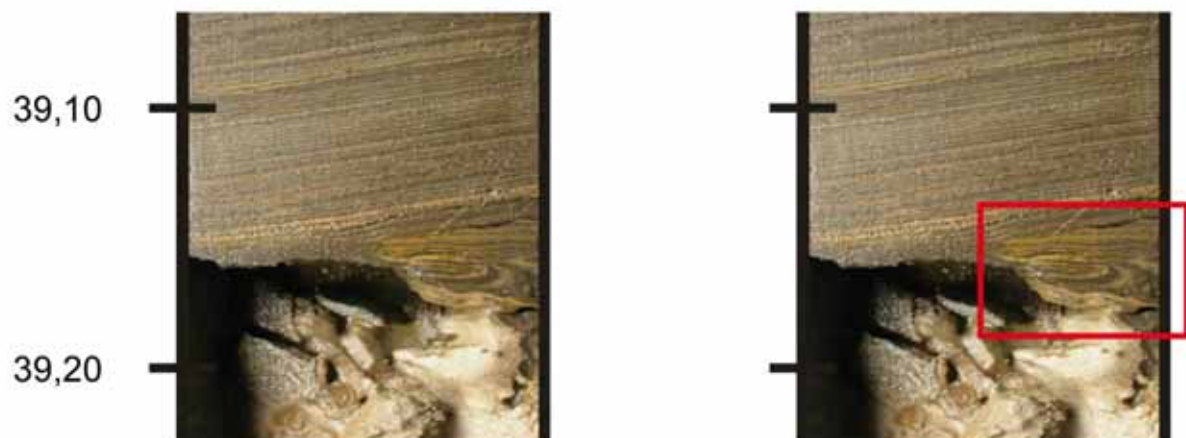


Abb. 6.33: Duktile Bewegung anzeigende Verfaltungen/Verwürgungen innerhalb der Kieselgur im Grenzbereich Sand/Gur (Teufenbereich 39,10-39,20 m, Kern MU 2).

Tabelle 6.17 gibt eine detaillierte Kernbeschreibung von Kern MU 2.

Tab. 6.17: Kernbeschreibung MU 2. KG: Kieselgur, Sandfenster: inselhaft, wurzellos innerhalb der Kieselgur liegende Sandnester.

Teufe [m]		Sediment	
0,00	0,43	Boden, kieshaltig	
0,43	11,67	weißer Sand	
11,67	17,45	Sand, stellenweise rostrot, unterhalb 12,50 m unregelmäßige Kieselgurstreifung	
17,45	21,55	Wechselagerung von Sand, kieselgurhaltigen Bändern/Schlieren, oder - Linsen, sandiger Kieselgur, beziehungsweise kieselgurhaltigem Sand, stellenweise ineinander verwürgt wirkend. Bei 20,33-20,42 m und 20,81-20,94 m dunkelbraune, massige Kieselgurstücke	
21,55	48,57	<p>Kieselgur</p> <p>unterhalb ~30,80 m laminiert</p> <p>unterhalb ~43,23 m teils extrem gestört: teils als sandiges, inhomogen massiges Kieselgurgemenge, stellenweise mit laminierten Kieselgur“fetzen“, teils als Verbund chaotisch vermengter Kieselgurstücke mit, oft verwürgter, verfalteter Lamination, dazwischen Bereiche mit horizontal laminiertes, ungestörter Kieselgur</p>	21,55-22,00 m: KG, dunkelbraun, massig, Sandfenster
			Sand-Kieselgur Gemisch 22,00-22,18 m
			KG dunkelbraun, massig
			Sand mit Kieselgur 22,55-22,60 m
			KG dunkelbraun, massig
			Kernverlust 22,99-23,00 m
			KG dunkelbraun, massig
			Sand (schräg) 23,515-23,545 m
			23,545-23,76 m: KG dunkelbraun, massig
			23,76-23,81 m: KG, dunkelbraun, blättrig, mit Sand
			23,81-24,38 m: KG dunkelbraun, massig
			sandig (mit KG) 24,38-24,44 m
			24,44-25,955 m: KG, dunkelbraun, massig
			25,955-26,00 m: KG, dunkelbraun, massig, sandig
			26,00-26,16 m: KG, dunkelbraun, massig, Kernverlust
			26,16-26,98 m: KG, dunkelbraun, massig
			Kernverlust 26,98-27,00 m
			27,00-27,095 m: KG dunkelbraun, massig, Kernverlust
			27,095-27,56 m: KG, dunkelbraun, massig
			27,56-27,75 m: KG dunkelbraun, massig, Sandfenster
			27,75-27,80 m: KG dunkelbraun, massig, Kernverlust
			27,80-28,00 m: KG, dunkelbraun, massig
			Kernverlust (Sandreste) 28,00-28,34 m
			KG dunkelbraun, massig, ± Sandfenster
			Sand (Kieselgurreste) 30,14-30,26 m
			30,26-30,85 m: KG, dunkelbraun, einsetzende Lamination
			30,85-32,82 m: KG, dunkelbraun, laminiert
Kieselgurstücke (Lamination verfaltet), Sandreste im Liegenden, Kernverlust 32,82-33,28 m			
33,28-33,47 m: KG, dunkelbraun, laminiert			
33,47-33,545 m: KG, dunkelbraun, verbogene Laminae, Sandfenster			
33,545-33,625 m: KG, dunkelbraun, laminiert			
Sand 33,625-33,65 m			
KG dunkelbraun, laminiert			
Kernverlust (Sandreste) 34,00-34,045 m			
KG dunkelbraun, laminiert			
Sand 34,285-34,29 m			

KG dunkelbraun, laminiert	
Sand	35,495-35,905 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Sand (mit unlaminierten! KG-Stück)	36,085-36,75 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Kernverlust	36,99-37,00 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Sand, Kieselgurstücke (Laminae teils verformt, -bogen)	37,70-37,85 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Kernverlust	37,96-38,00 m
38,00-39,18 m: KG, dunkelbraun, laminiert Sandfenster um 38,16-38,21 m, 38,30-38,38 m, 38,66-38,73 m. Letzteres mit einem un stetigem Wechsel im Einfallen der Lamination verbunden (Störung!)	
Sand (Laminae der umgebenden KG an Sandbasis und -top verbogen, -faltet)	39,18-39,425 m
KG dunkelbraun, laminiert bei 39,93-39,955 m: ± sandig, ± Kernverlust	
Sand (mit laminiertem Kieselgurstück)	40,17-40,20 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Sand (mit laminiertem Kieselgurstück)	40,23-40,40 m
Kernverlust (Sandreste)	40,40-41,45 m
Sand	41,45-41,675 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Sand	41,725-41,84 m
KG dunkelbraun, laminiert	
Sand (im Hangenden KG-Reste)	42,00-42,10 m
42,10-42,96 m: KG dunkelbraun, laminiert 42,96-43,03 m: KG dunkelbraun, Laminae verformt und verstellt, sandig 43,03-43,23 m: KG dunkelbraun, laminiert 43,23-43,68 m: KG-Gemenge, zum Liegenden hin mit größeren Partikeln (positiv gradiert) (mit laminiertem KG-Stück bei 43,60 m), sandig 43,68-44,56 m: chaotisch vermengte Kieselgurstücke mit, oft verwürgter/verfalteter (teils horizontal, teils schräg, teils senkrecht stehender) Lamination, dazwischen Bereiche mit horizontal laminiertes Kieselgur	
Sand-Kieselgur Gemisch	44,56-44,58 m
44,58-44,85 m: KG dunkelbraun, laminiert 44,85-45,00 m: KG dunkelbraun, gestörte Lamination bei 44,90-44,94 m: sandig 45,00-45,10 m: KG dunkelbraun, laminiert 45,10-45,20 m: KG dunkelbraun, gestörte Lamination 45,20-45,35 m: KG dunkelbraun, laminiert 45,35-45,45 m: KG dunkelbraun, massig (Warvenfetzen) 45,45-46,00 m: KG dunkelbraun, laminiert bei 45,71 m: 2 mm Sandlage	
Kernverlust	46,00-46,03 m

			KG dunkelbraun, laminiert	
			Sand-Kieselgur Gemisch	46,145-46,40 m
			46,40-46,72 m: KG dunkelbraun, laminiert bei 46,63-64,64 m verformte Laminae	
			46,72-46,82 m: KG, dunkelbraun, massig	
			Sand	46,82-46,85 m
			46,85-47,00 m: schlierig massige Kieselgur	
			47,00-47,22 m: chaotisch vermengte Kieselgurstücke mit, oft verwürgter/verfalteter (teils horizontal, teils schräg, teils senkrecht stehender) Lamination	
			47,22-47,44 m: KG, dunkelbraun, schräg laminiert	
			47,44-47,65 m: chaotisch vermengte Kieselgurstücke mit, oft verwürgter/verfalteter (teils horizontal, teils schräg, teils senkrecht stehender) Lamination	
			47,65-48,00 m: KG, dunkelbraun, laminiert (horizontal)	
			48,00-48,395 m: KG, dunkelbraun, schräg laminiert, an der Basis (zum Sand hin) verbogene Laminae	
			Sand	48,395-48,405 m
			KG dunkelbraun, laminiert (horizontal)	
48,57	50,00	Sand	Kernverlust	48,79-49,00 m
			Kernverlust	49,50-50,00 m

6.3.3. Sedimentologische Untersuchungen an den Kernen MU 1, MU 2

Äquivalent zu den schon vorgestellten Kernen BT 1 und DOE 3 wurde wiederum der Trockendichteverlauf ermittelt. Die angefertigten Dünnschliffe dienten, unter anderem, der Korngrößenbestimmung (RADIUS) von in der Kieselgur befindlichen Quarzkörnern. Zusätzlich wurden an 5 Sandlagen (8,65-8,80 m, 33,15-33,30m, 36,35-36,50 m, 39,20-39,40 m, 49,10-49,30 m) des Kerns MU 2 konventionelle Siebanalysen durchgeführt (→ Tab. 10.4). In den Abbildungen 6.34, 6.35 und 6.36 sind die Ergebnisse wiedergegeben.

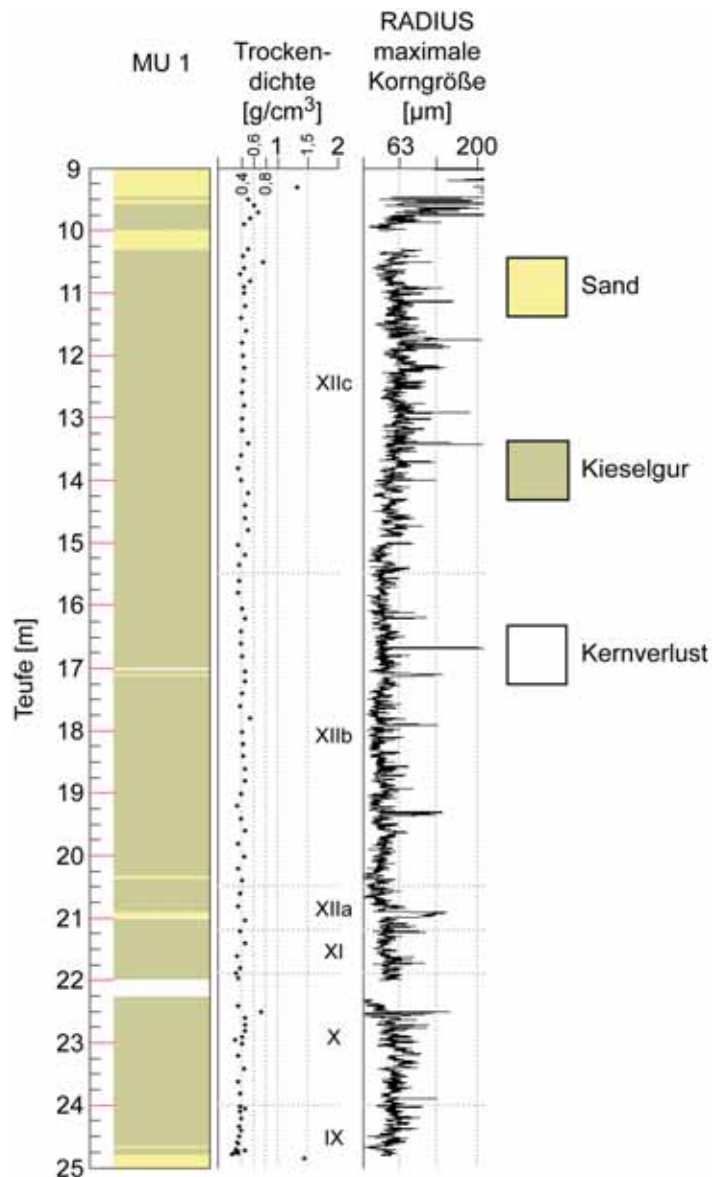


Abb. 6.34: Sedimentologie, Trockendichteverlauf und maximaler Korndurchmesser der Quarzfraktion in Kern MU 1 (RADIUS-Schrittweite: 0,5 mm, laufendes Mittel über 1 cm). Zusätzlich sind die gefundenen Pollenzonen (Nomenklatur nach Müller, 1974) eingetragen. Bei den Teufen sind die Bohrkerngrenzen rot markiert.

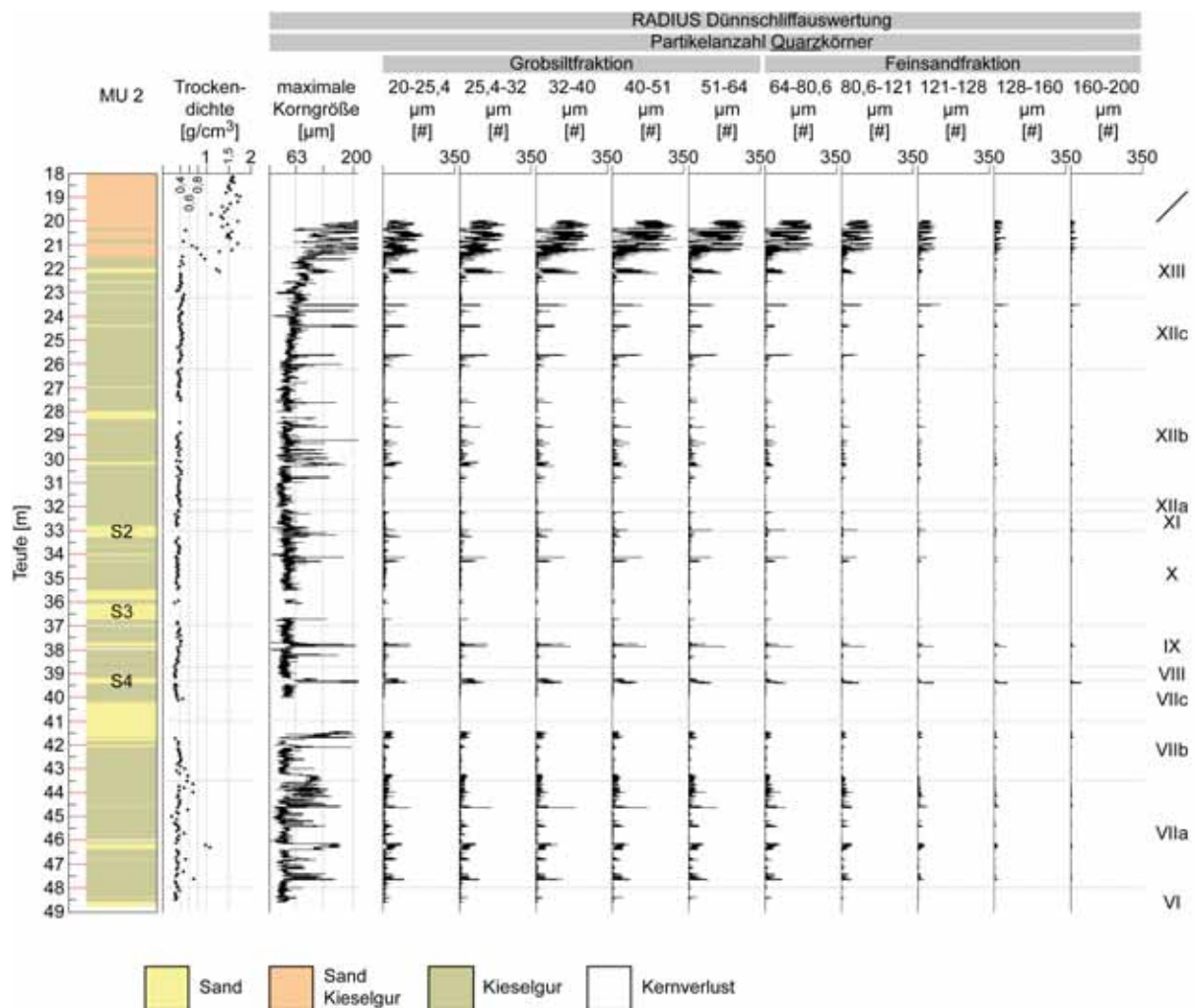


Abb. 6.35: Sedimentologie, Kern MU 2. (RADIUS-Schrittweite: 0,5 mm, maximaler Korndurchmesser als laufendes Mittel über 1 cm, Partikelanzahl Quarzkörner als Rohdaten). IX-XIIb: Pollenzonenomenklatur nach Müller, 1974. Die Positionen der nachfolgend dargestellten Siebanalysen sind mit S2-4 gekennzeichnet. Bei den Teufen sind die Bohrkerngrenzen rot markiert.

Die Trockendichte der reinen Kieselgur schwankt in beiden Kernen, wie schon im Kern Bonstorf (BT 1), um 0,4 g/cm³. Die innerhalb der Kieselgur verteilten Quarzpartikel überschreiten in der Regel nicht den Siltkorngrößenbereich. In Kern MU 1 geschieht dies jedoch deutlich zwischen etwa 9,50-10 m Teufe, wo Korngrößen bis in den Mittelsandbereich angetroffen werden. Außerdem erscheinen in Kern MU 1 die maximalen Korngrößendurchmesser der Quarze oberhalb etwa 15 m und unterhalb etwa 21 m, in Kern MU 2 oberhalb cirka 25 m leicht erhöht (im Grenzbereich Silt/Sand). In Kern MU 2 spiegeln sich die in Tab. 6.17 erwähnten Sandfenster vor allem bei etwa 29-30 m wieder. Der unstetig aufgebaute Kernabschnitt unterhalb

etwa 43,25 m Teufe (Tab. 6.17, Abb. 6.30) zeichnet sich durch Körnungen im Feinsandbereich aus. Die, die Kieselgur über- beziehungsweise unterlagernden, Sande erreichen Mittel- bis Grobsandkörnungen. Die zwischen/in die Kieselgurpakete eingeschalteten Sandlagen/-fenster bewegen sich (soweit in den Dünnschliffen erfasst) in beiden Kernen überwiegend im Feinsandbereich. Aus verfahrenstechnischen Gründen konnten jedoch, vor allem mächtigere Sandeinschaltungen, nicht als Dünnschliffe präpariert werden. Hier wurden die konventionellen Siebanalysen durchgeführt (Abb. 6.36). Die Siebproben wurden dabei auch unter Berücksichtigung palynologischer Aspekte genommen (→ 6.3.4.). Probe S2 repräsentiert die LPAZ-Grenze X/XI und damit den Beginn des intraholsteinzeitlichen *Carpinus* Minimums, Siebprobe S4 die LPAZ-Grenze VIIc/VIII, also die Liegendgrenze des 1. Birken-Kiefern-Vorstoßes.

Die Siebanalyse S1 (8,65-8,80 m), aus den die Kieselgur überlagernden Sanden, weist diese als quasi reine Mittel- bis Feinsande, ohne nennenswerten Grobsandanteil und mit nur geringer Beteiligung kleinerer Korngrößen aus. Die aus den liegendsten Sandlagen in Kern MU 2 stammende Probe S5 (49,10-49,30 m) und die aus 39,20-39,40 m Teufe stammende Probe S4 sind im Vergleich zu S1 schlechter sortiert und weisen erhöhte Feinsandanteile auf, wobei Probe S4 geringfügig feinsandiger als Probe S5 ist. Beide Proben sind aber insgesamt ähnlich zusammengesetzt. Bei den Proben S3 (36,35-36,50 m) und S2 (33,15-33,30 m) setzt sich der Trend (von S5 zu S2) zu verstärkt feinkörnigeren Anteilen weiter fort. In Probe S2 ist der Mittelsandanteil (250-500 µm) unter 5% gesunken, über 80% der Körner liegen im Bereich 125-250 µm. Insgesamt zeigen die Siebanalysen, dass die, zwischen die Kieselgurpakete eingeschalteten Sande unterschiedliche Korngrößenzusammensetzungen aufweisen.

Leider kann nicht sicher beantwortet werden ob Probe S5 die, die Kieselgurdepositionen autochthon unterlagernden, präholsteinzeitlichen Sedimente repräsentiert, oder ob es sich, wie bei den Proben S2-S4, um in die Kieselgur eingeschaltete Sande handelt. In Benda und Brandes (1974) werden als lithostratigraphische Basis der Kieselgurlager „glazifluviatile Fein- Mittelsande, gelegentlich auch Grobsande“ angeführt. Zumindest die Proben S4 und S5 entsprechen dieser Beschreibung.

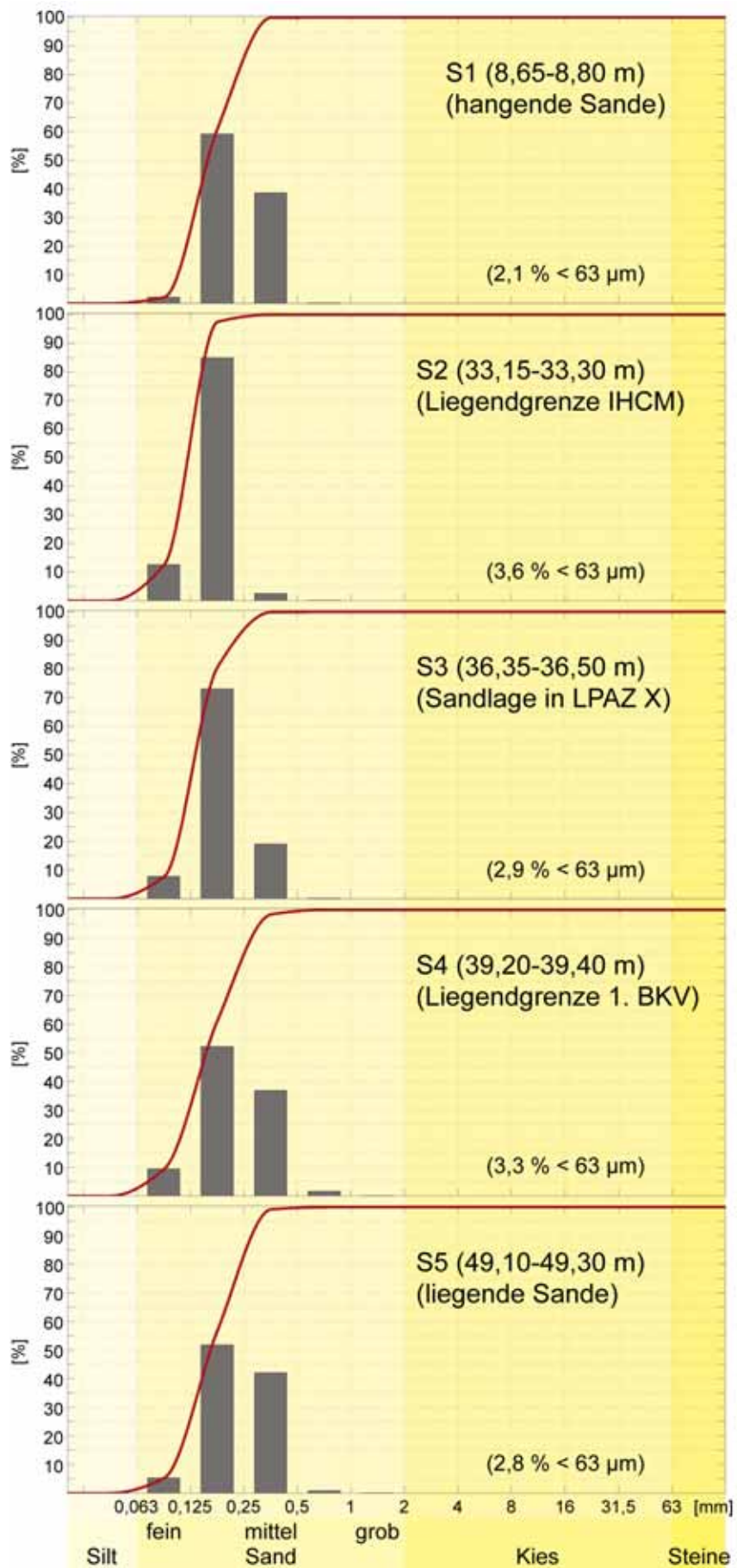


Abb. 6.36: Siebanalysen an Sandproben aus Kern MU 2. Rot: Summenkurven, LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*, BKV: Birken-Kiefern-Vorstoß.

6.3.4. Palynologische Untersuchungen an den Kernen MU 1 und MU 2

Die Ergebnisse der an den Kernen MU 1 und MU 2 durchgeführten Pollenzählungen sind in den maßstabsgleichen Abbildungen 6.37-6.40 als Pollenprozentwert- und Pollendichtediagramme wiedergegeben. Bei der Pollenzonenbenennung wurde die Nomenklatur von Müller (1974) übernommen, wobei jedoch dessen Pollenzonengrenzen etwas „unschärfer“ interpretiert werden. Wo Müller beispielsweise Grenzbeziehungen an Schnittpunkten zweier Prozentwertkurven festlegt (PAZ-Grenzen VI/VII, VIII/IX, IX/X, XIII/XIV, XV/XVI) oder Maxima beziehungsweise Minima innerhalb der Prozentwertverläufe als Grenzen heranzieht (PAZ-Grenzen XI/XII, XII/XIII), also jeweils exakte Grenzpunkte definiert, werden im Folgenden die Pollenzonengrenzen als Bereiche interpretiert innerhalb derer ein palynologischer Wechsel stattfindet. Damit sollen insbesondere ungleiche und schwankende Beprobungsdichten, ungleicher Zeitinhalt von Proben (beruhend auf ungleicher Probenmächtigkeit und/oder verschiedenen Sedimentationsraten), sowie unterschiedliche Berechnungsansätze bei den Prozentwertbestimmungen ausgeglichen werden. Beim Vergleich verschiedener Lokalitäten sollte diese Vorgehensweise auch regional bedingte Unterschiede relativieren.

Außerdem wurde innerhalb Müllers Pollenzone XIIb eine weitere Grenze gezogen ab welcher *Carpinus* nach seinem Abfall an PAZ-Grenze X/XI wieder verstärkt auftritt. Die Pollenzonen XI, XIIa und das Liegende von PAZ XIIb (bis zur neu definierten Grenze) definieren das intraholsteinzeitliche *Carpinus* Minimum (IHCM). Im älteren Abschnitt des IHCM (Pollenzonen XI und XIIa nach Müller, 1974) ist *Carpinus* nur sporadisch und in geringeren Prozentwerten nachweisbar als im jüngeren Abschnitt des IHCM (Liegendes von Pollenzone XIIb nach Müller, 1974), wo die *Carpinus*-Kurve wieder geschlossen ist.

Auf eine detaillierte, palynologische Beschreibung der einzelnen Pollenzonen wird an dieser Stelle verzichtet, sie entspricht, soweit im Folgenden nicht explizit erwähnt, derjenigen von Müller (1974) und kann zusammengefasst auch Tabelle 4.3 entnommen werden.

Tabelle 6.18 vergleicht die Definitionen der Pollenzonengrenzen.

Tab. 6.18: Pollenzonengrenzen innerhalb der Kieselgur von Munster/Breloh nach Müller (1974) und nach Interpretation der Kerne MU 1 und MU 2. Alle Beschreibungen beziehen sich auf Prozentwerte. Rot gedruckt sind die in Müller (1974) nicht explizit definierten Pollenzonengrenzen wie sie sich aus Müllers Pollenzonenbeschreibungen beziehungsweise Pollendiagrammen ergeben. Violett markiert ist die bei Müller nicht definierte Grenze am Wiederanstieg der prozentualen Werte von *Carpinus* am Ende des IHCM, dessen Beginn Müllers Pollenzonengrenze X/XI bildet.

PAZ Grenze	Müller (1974)	Vorliegende Dissertation
Ende Paz XIII	<i>Pinus</i> -Kurve über 70%. Schnittpunkt <i>Betula-Alnus</i> . Schnittpunkt <i>Abies-Picea</i> . <i>Quercus</i> -Werte unter 1%.	Ende der durchgehenden <i>Pterocarya</i> -Präsenz.
XIII/XIIc	Letzter <i>Quercus</i> -Gipfel. Beginn der (fast geschlossenen) <i>Pterocarya</i> -Kurve.	Bereich des absoluten <i>Quercus</i> -Maximum. Erscheinen von <i>Pterocarya</i> .
XIIc/XIIb	<i>Quercus</i> -Anstieg (mäßiger <i>Pinus</i> -Gipfel).	Anstieg der Anteile von <i>Quercus</i> .
Top IHCM	-	Deutlicher Wiederanstieg der Prozentanteile von <i>Carpinus</i> .
XIIb/XIIa	Hangendes (Ende) von <i>Pinus</i> -Spitze/ <i>Alnus</i> -Wiederanstieg.	Hangendes (Ende) von <i>Pinus</i> -Spitze/ <i>Alnus</i> -Wiederanstieg. Beginn der wieder geschlossenen <i>Carpinus</i> -Kurve (auf niedrigem Niveau).
XIIa/XI	<i>Pinus</i> -Kurvengipfel. <i>Alnus</i> -Minimum.	Liegendes (Beginn) des <i>Pinus</i> -Maximum/ <i>Alnus</i> -Minimum.
X/XI (Basis IHCM)	Plötzlicher Rückgang der <i>Carpinus</i> -Pollenwerte.	Steilabfall der Anteile von <i>Carpinus</i> . Steilanstieg der Anteile von <i>Betula</i> .
X/IX	Schnittpunkt <i>Corylus-Carpinus</i> .	Abfallende Werte bei <i>Corylus</i> , gleichzeitig ansteigende Werte bei <i>Carpinus</i> .
IX/VIII	Schnittpunkt <i>Betula-Corylus</i> .	Hangendes (Ende) des <i>Betula-Pinus</i> Maximum/ <i>Quercus-Corylus-Alnus</i> Minimum.
VIII/VIIc	Starker Rückgang des Pollens wärmeliebender Gehölze.	Liegendes (Beginn) des <i>Betula-Pinus</i> Maximum/ <i>Quercus-Corylus-Alnus</i> Minimum.
VIIc/VIIb	Erscheinen von <i>Carpinus</i> und <i>Osmunda</i> .	Erscheinen von <i>Carpinus</i> und <i>Osmunda</i> .
VIIb/VIIa	Schnittpunkt (sinkende) <i>Alnus</i> - (steigende) <i>Pinus</i> . Schnittpunkt (steigende) <i>Picea-Quercus</i> .	In Kern MU 2 nicht klar definierbar. (Lage in etwa um 43,50 m Teufe, bei abfallenden <i>Alnus</i> - und <i>Taxus</i> - und ansteigenden <i>Pinus</i> -Werten.)
VIIa/VI	Anstieg von <i>Corylus</i> und <i>Taxus</i> von <5% auf ~10%. Schnittpunkt <i>Betula-Corylus</i> .	Starke Anstiege bei <i>Corylus</i> und <i>Taxus</i> . Steilabfall von <i>Pinus</i> .

In den folgenden Abbildungen bedeutet: LPAZ: *local pollen assemblage zone*, EMW: Eichenmischwald, IHCM: intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum. Bei den Teufen sind die Bohrkerngrenzen rot markiert. Die den Pollendiagrammen zu Grunde liegende Anzahl gezählter Palynomorphen ist den Tabellen 10.22 und 10.23 im Anhang zu entnehmen.

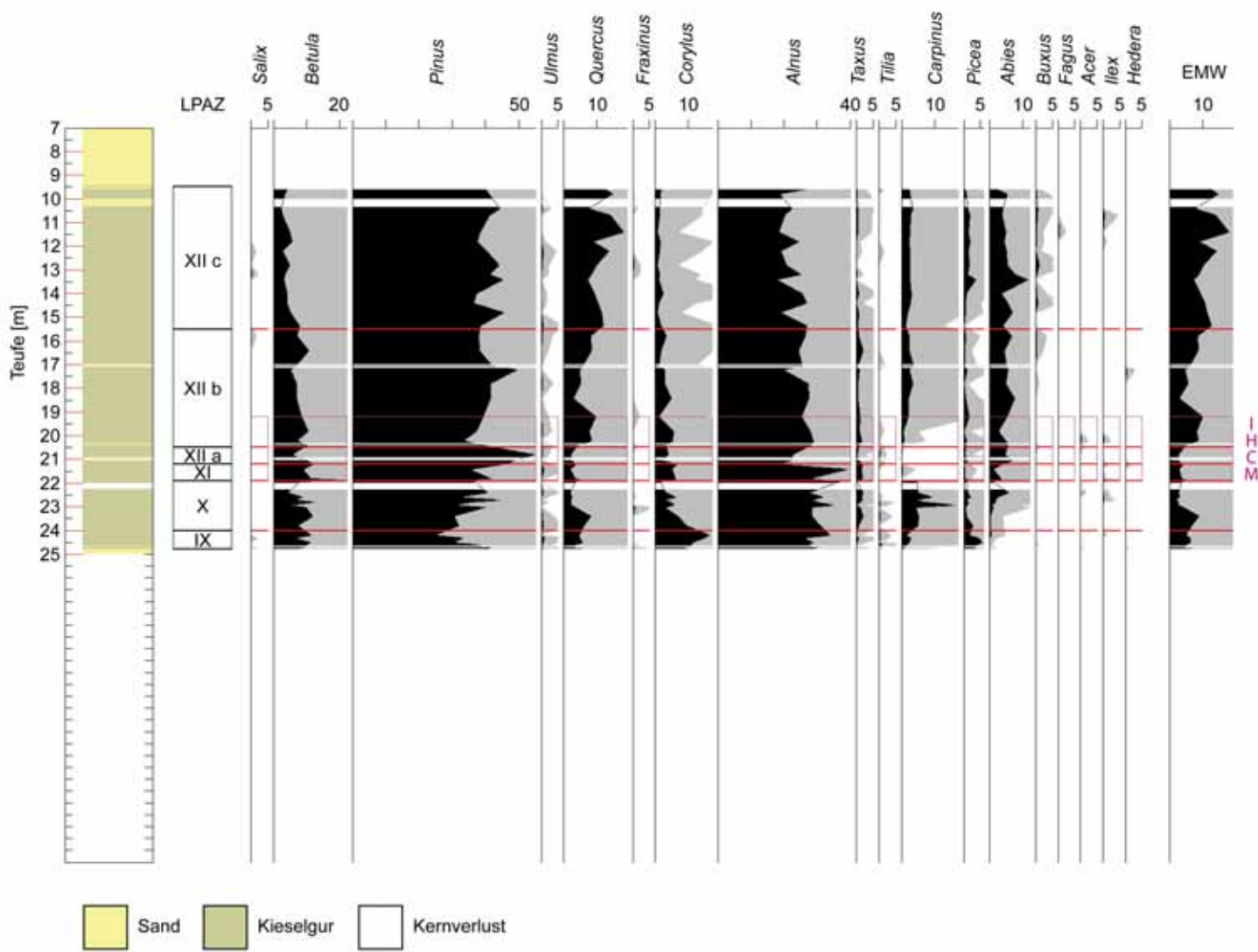


Abb. 6.37 a: Prozentwertdiagramm Baumpollen MU 1. Werte in Prozent terrestrischer Pollen.

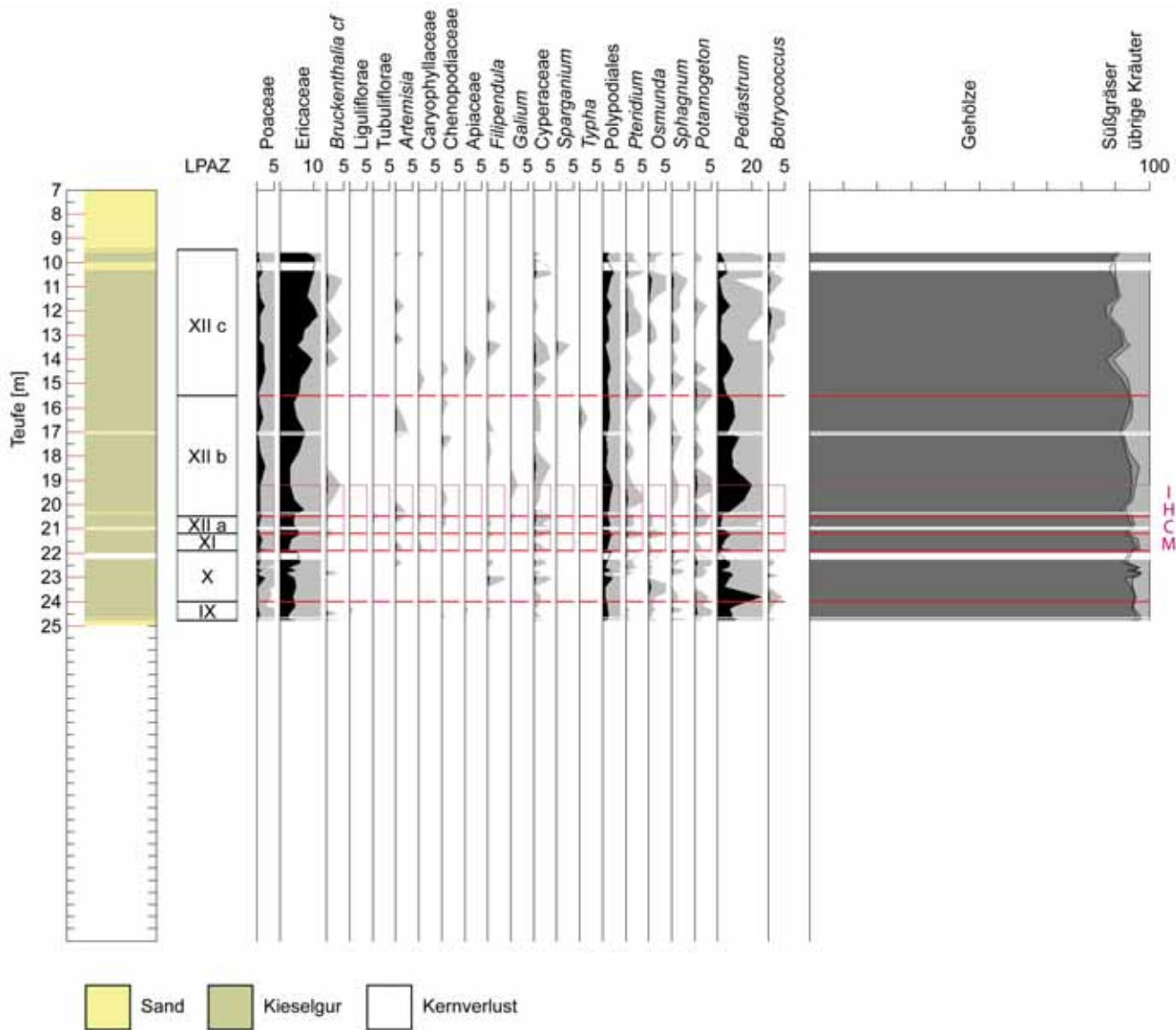


Abb. 6.37 b: Prozentwertdiagramm Nichtbaumpollen und Sporen MU 1. Werte in Prozent terrestrischer Pollen.

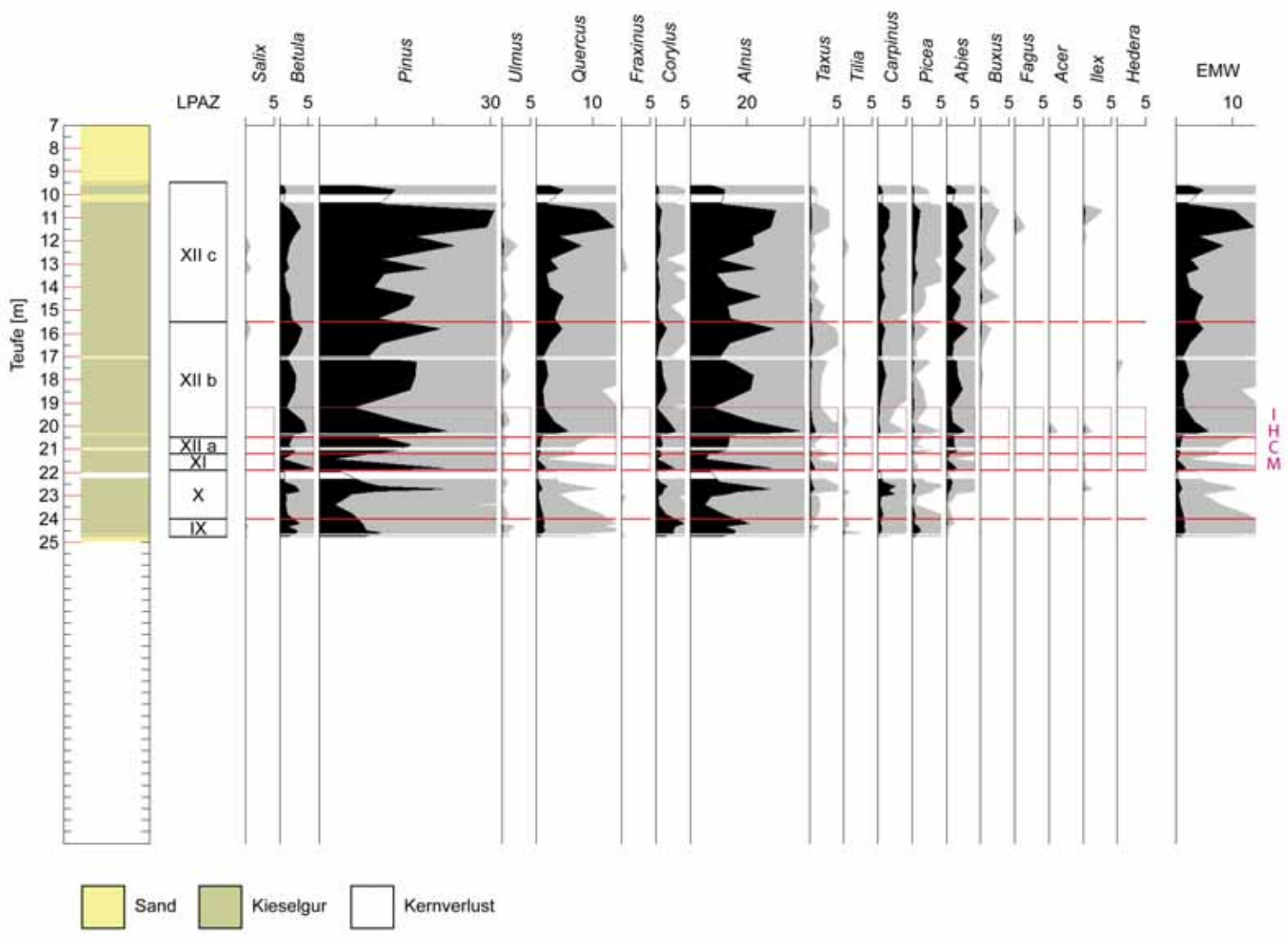


Abb. 6.38 a: Pollendichtediagramm Baumpollendichte MU 1. Werte in 10^4 Pollen/cm³:

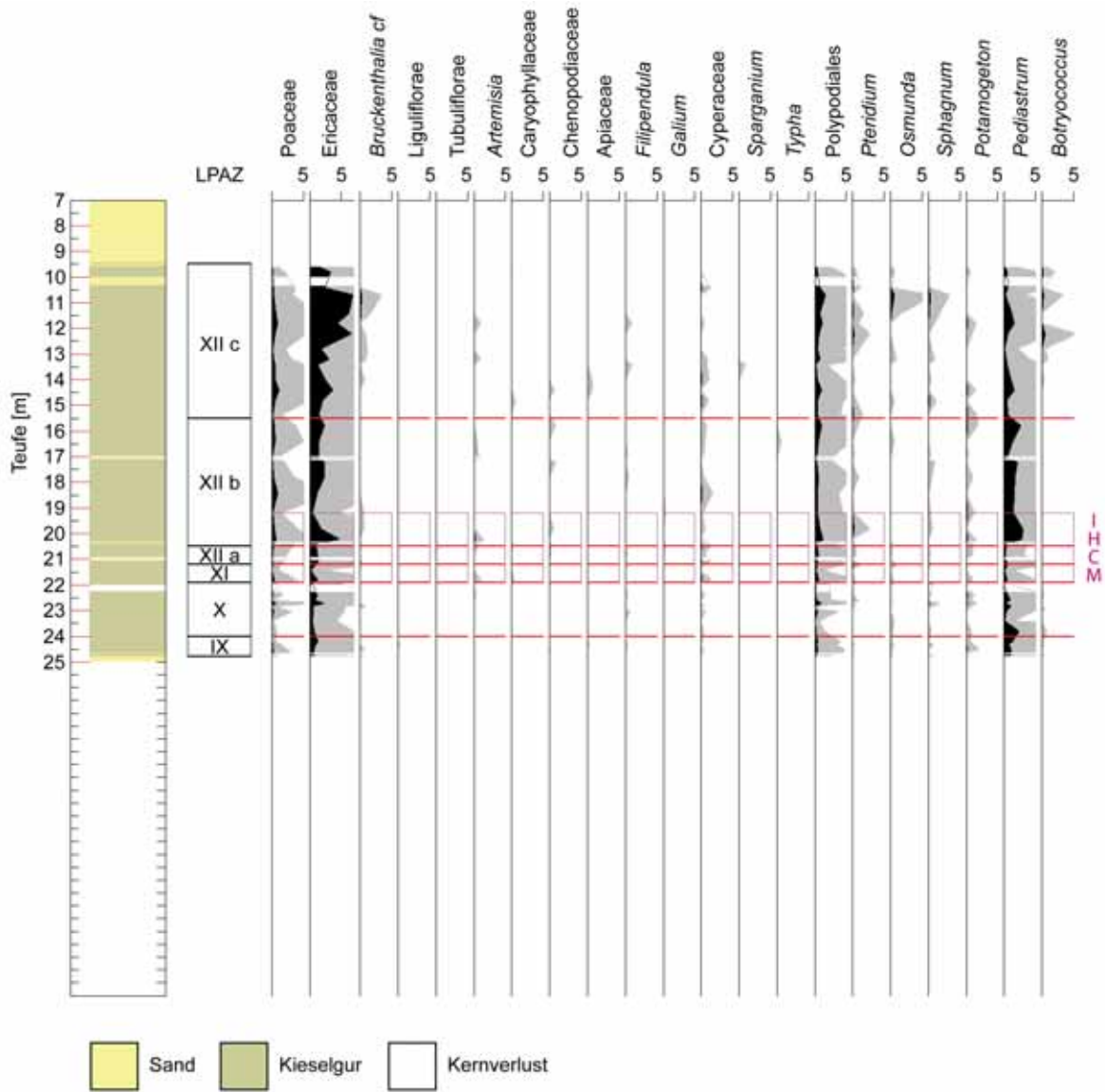


Abb. 6.38 b: Pollendichtediagramm Nichtbaumpollen MU 1. Werte in Werte in 10^4 Pollen/cm³.

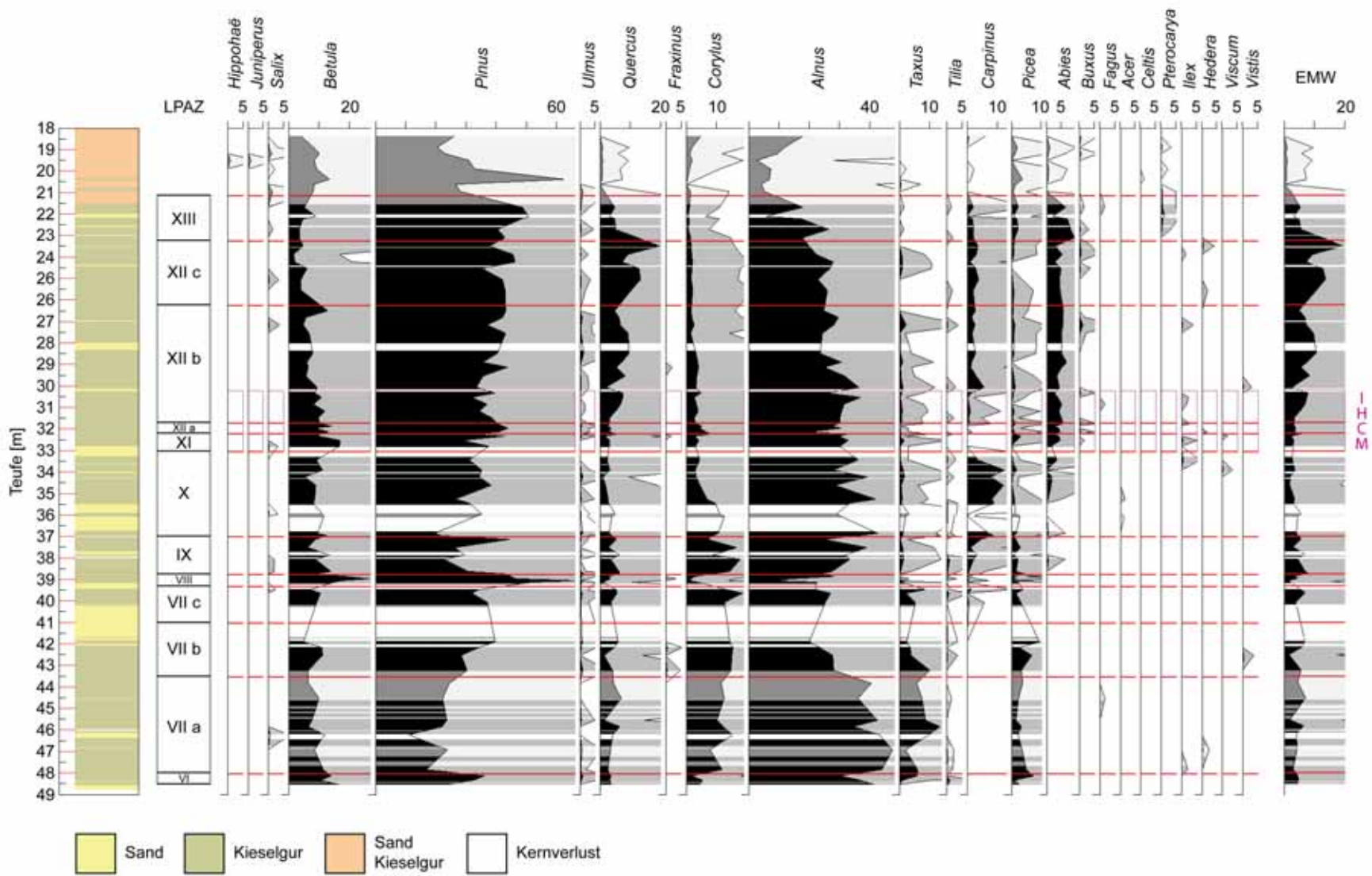


Abb. 6.39 a: Prozentwertdiagramm Baumpollen MU 2. Werte in Prozent terrestrischer Pollen.

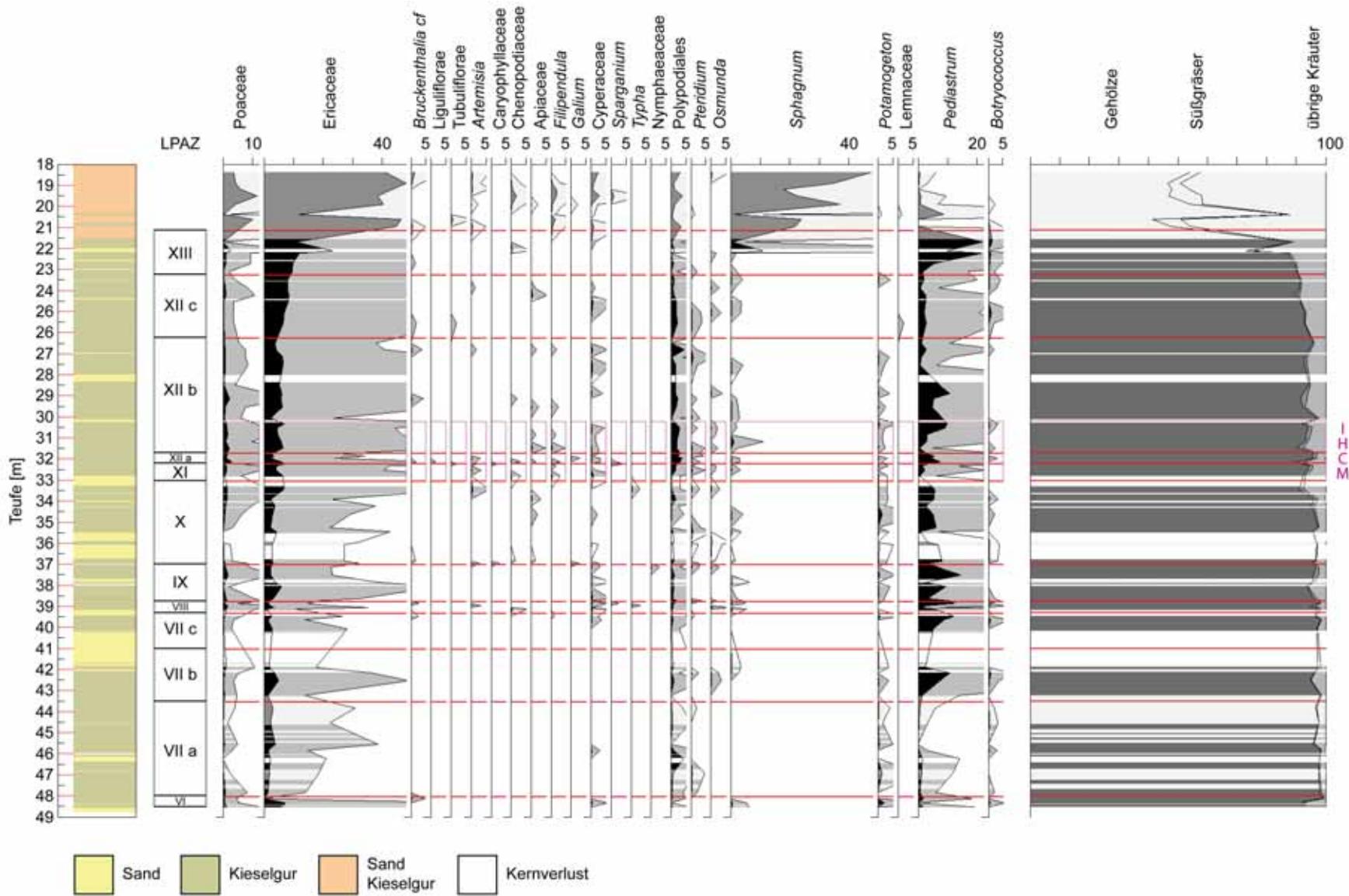


Abb. 6.39 b: Prozentwertdiagramm Nichtbaumpollen MU 2. Werte in Prozent terrestrischer Pollen.

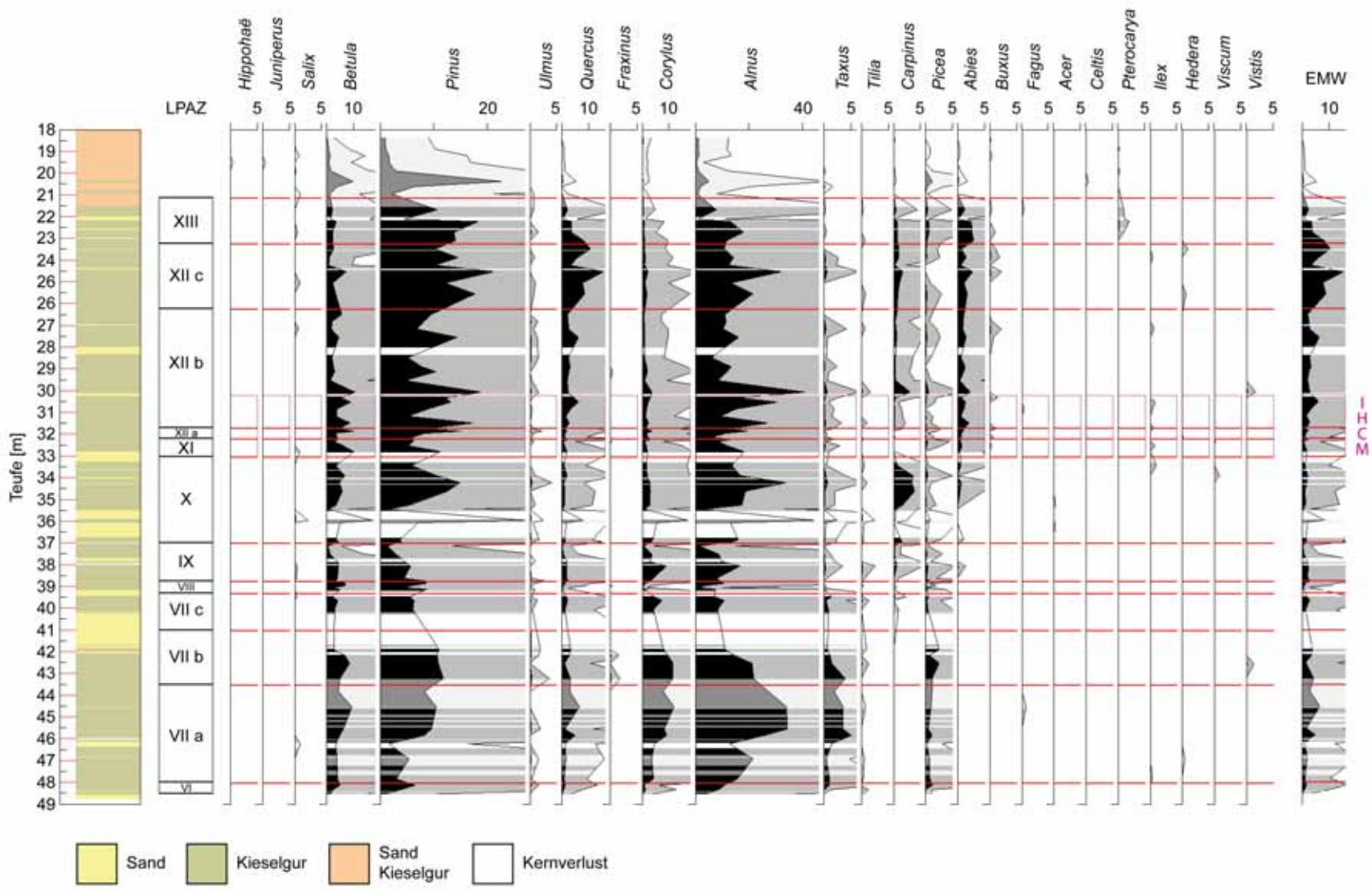


Abb. 6.40 a: Pollendichtediagramm Baumpollen MU 2. Werte in 10^4 Pollen/cm³.

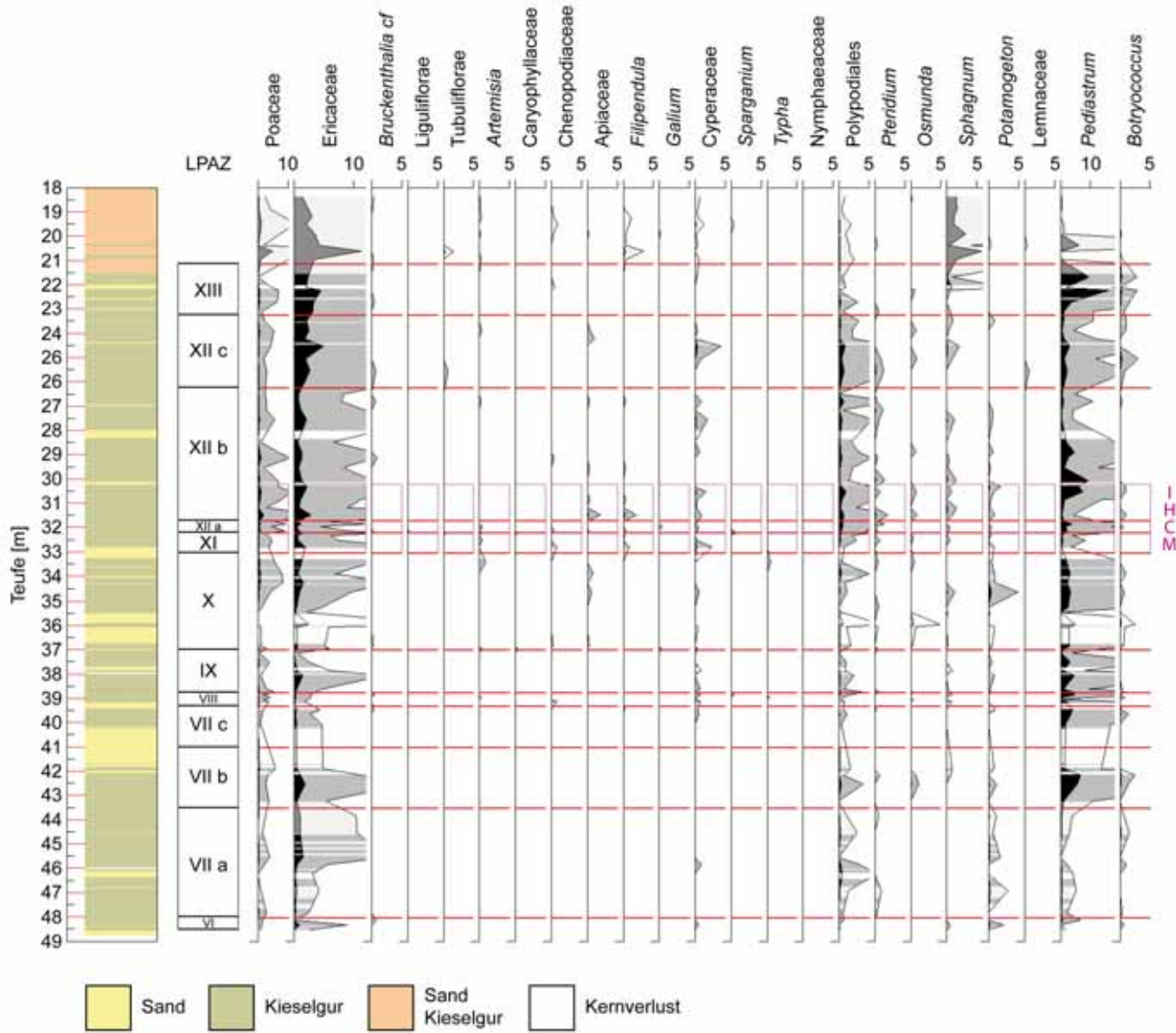


Abb. 6.40 b: Pollendichtediagramm Nichtbaumpollen MU 2. Werte in 10^4 Pollen/cm³.

In den Abbildungen 6.37 bis 6.40 ist das IHCM (MU 1: 19,20-21,90 m, MU 2: 30,20-33,05 m) violett eingerahmt und die von Umlagerungen betroffenen Bereiche in Bohrkern MU 2 (17,45-21,55 m, 35,905-36,085 m, 43,23-44,56 m, 44,85-45,00 m, 45,35-45,45 m, 46,72-46,85 m, 47,44-47,65 m, → Abb. 6.30, → 6.3.5.) hellgrau schattiert.

In den Pollendiagrammen ist bei den Nichtbaumpollen *Bruckenthalia cf* aufgeführt. Hier ist ein in beiden Kernen regelmäßig gefundener, tricolporater Pollentyp (Abb. 6.41 a-d) gemeint. Nach Vergleich mit Rezentmaterial (unter anderem von *Cornus mas*, *Bruckenthalia spiculifolia* und *Solanum nigrum*, die beiden letzteren freundlicher Weise bereitgestellt von Dr. Norbert Köhl, Institut für Paläontologie, Bonn) und nach den Ausführungen in Menke (1976) entspricht er dem *Bruckenthalia*-Habitus und wird daher als *Bruckenthalia cf* angesprochen.

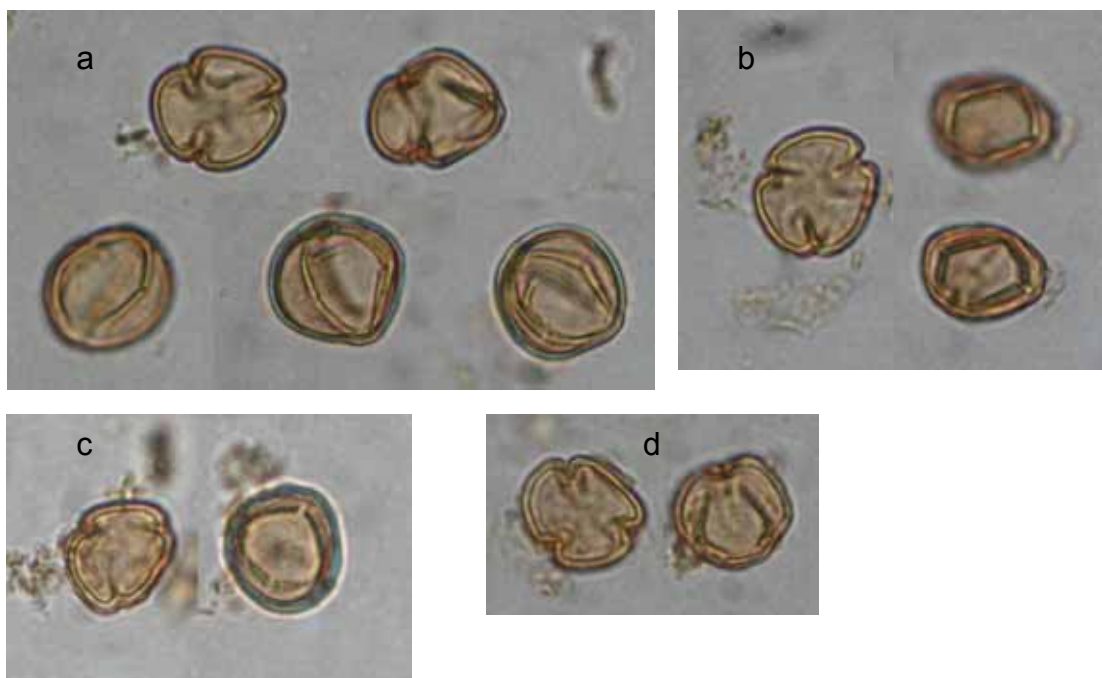


Abb. 6.41 a-d: *Bruckenthalia* Habitus. Die Abbildungen (a-d) zeigen jeweils das gleiche Pollenkorn in unterschiedlichen Ansichten (a: MU 1; 19,205 m, b: MU 1, 21,205 m, c: MU 1, 22,805 m, d: MU 2, 39,455 m).

Neben den in den Diagrammen dargestellten Taxa wurde *Polypodium vulgare* (MU 2, LPAZ XIIc, 23,485 m, 23,875 m), sowie in beiden Kernen *Rhamnus frangula* gefunden. Letztere Art wurde in Kern MU 1 in LPAZ XIIc (11,805 m), in LPAZ XIIb (15,805 m, 16,405 m) und in LPAZ IX (24,615 m), in Kern MU 2 in LPAZ XIII (22,715 m), LPAZ XIIa (31,845 m) und LPAZ XI (32,315 m) nachgewiesen.

Während Kern MU 1 Müllers Pollenzonen IX-XII umfasst und damit in etwa dessen Kern KS 407/71 entspricht, kann Kern MU 2 in die Pollenzonen VI-XIII gegliedert werden. Er entspricht somit in etwa Müllers Kern KS 416/71. In Kern MU 1 kann die, durch einen Anstieg der Prozentwerte von *Quercus* definierte, Pollenzonengrenze XIIb/c nicht klar bestimmt werden. In Kern MU 2 fällt die Pollenzonengrenze VIIb/c in den von Umlagerungen betroffenen Teufenabschnitt 43,23-44,56 m.

Im Hangenden von Pollenzone XIII in Kern MU 2 treten ähnliche prozentuale Schwankungen bei *Pinus*, *Alnus*, *Ericaceae* oder *Sphagnum* auf wie in Müller (1974) beschrieben. Diese lassen sich aber nicht klar mit denen von Müllers Pollenzonen XIV-XVIII korrelieren und liegen insbesondere im sedimentologisch un stetig aufgebauten, mit Sicherheit aufgearbeiteten und daher pollenanalytisch nur bedingt auswertbaren, Teufenbereich 17,45-21,55 m. So liegt die mit „Einbrüchen“ bei den Nichtbaumpollen einhergehende *Pinus*-Spitze (Probe 20,38-20,39 m) innerhalb eines in sandige Partien eingeschalteten, als allochthon lagernd interpretierten, Kieselgurstückes (Abb. 6.42).

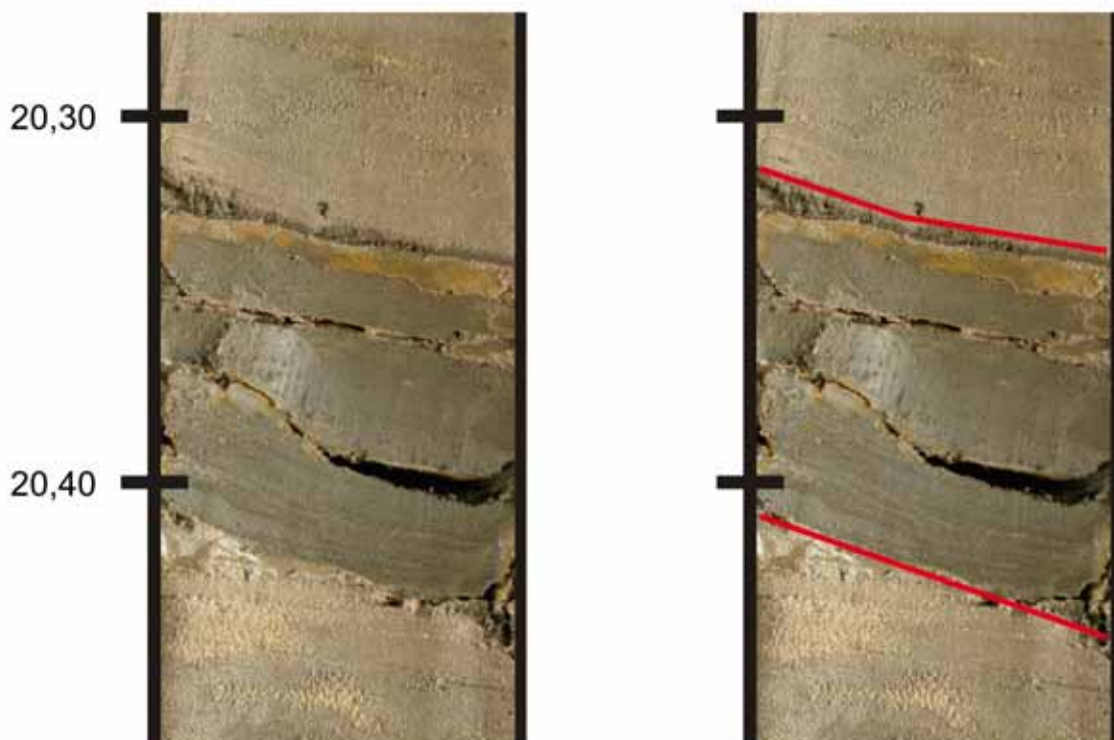


Abb. 6.42: Massiges Kieselgurfragment in Sanden, innerhalb des sedimentologisch un stetigen Teufenbereichs 17,45-21,55 m in Kern MU 2. Teufenskala: [m].

Der Pollengehalt des in Abb. 6.42 wiedergegebenen Kieselgurstückes lässt sich weder im Prozentwert- noch im Absolutwertdiagramm mit einer der gefundenen

LPAZ VI-XIII parallelisieren. Die Kieselgurlage scheint vielmehr einen eigenständigen Vegetationsabschnitt borealer Prägung zu repräsentieren, dessen genaue stratigraphische Positionierung aber unsicher bleibt. Eine Korrelation mit Müllers Pollenzone XIV wäre denkbar, jedoch folgt bei Müller (1974) PAZ XIV direkt und ohne zwischengeschaltete, sandig ausgebildete, „Heidephase“ (wie es unter Annahme ungestörter Überlieferung dann in Kern MU 2 der Fall wäre) auf PAZ XIII. Generell deuten die, im Teufenbereich 17,45-21,55 m überlieferten Palynomorphen, mit hohem Nichtbaumpollen- und *Sphagnum*-Anteil, auf eine postinterglaziale Phase, deren palynologische Präsenz durch allochthon lagernde, interglaziale Elemente sowie durch sedimentologische Um- und Aufarbeitung verfälscht wird. Auf eine palynologische Zonierung, beziehungsweise detailliertere Beprobung dieses Abschnittes wurde daher bewusst verzichtet.

Pollenzone X ist in Kern MU 1 zwischen 22,0-22,26 m Teufe von einem geringfügig mit Sandresten behaftetem Kernverlust betroffen, weshalb die tatsächliche Mächtigkeit dieser Pollenzone in diesem Kern unbestimmt bleibt. In Kern MU 2 befinden sich im Liegenden von LPAZ X zwei zusammen etwa 1 m mächtige und durch eine fast *Carpinus*-pollenfreie laminierte Kieselgurlage (35,905-36,085 m) separierte Sandlagen. Weder in Kern MU 1 noch in einem bei Müller (1972) beschriebenen Kern wurde innerhalb Pollenzone X ein Einbruch bei *Carpinus* gefunden. Das in die Sande eingeschaltete Kieselgurpaket 35,905-36,085 m wird daher als allochthon angesprochen. Ein um 36,25 m Teufe in die untere Sandlage eingebettetes, unlaminiertes Kieselgurfragment belegt zudem, dass in/mit den Sanden Kieselgur umgelagert wurde.

Ähnliches gilt für die zwischen 40,17-42,10 m Teufe lagernden Sande, die den Übergang von Pollenzone VIIb zu VIIc markieren. Auch hier finden sich innerhalb der Sande sicher umgelagerte Kieselgurfragmente neben potentiell autochthon lagernden geringmächtigen Kieselgurlagen (40,20-40,23 m, 41,675-41,725 m, 41,84-42,00 m).

Beide Kerne enthalten die, von Müller als 2. Birken-Kiefern-Vorstoß (BKV) betitelten Pollenzonen IX und XIIa. Diese Betitelung wird hier im Folgenden nicht übernommen, da das Hauptcharakteristikum dieser Pollenzonen das zeitweilige Ausbleiben von *Carpinus*-Pollen ist (→ IHCM). Dies zeigt sich sowohl in den Prozent- als auch insbesondere in den Absolutwertdiagrammen. Die Absolutwertdiagramme

deuten nicht auf ursächlich/hauptsächlich durch absolute Zunahmen von *Betula* und *Pinus* verursachte prozentuale Anstiege dieser Taxa. Im Absolutwertdiagramm MU 1 zeigt sich beispielsweise in LPAZ XIIa, wo im entsprechenden Prozentwertdiagramm das absolute *Pinus*-Maximum im Kern zu finden ist, kein absolutes Maximum. Außerdem erreichen *Betula* und *Pinus* keine höheren Absolutwerte als sie diese nicht auch in anderen Pollenzonen mitunter aufweisen.

Die, durch starke Schwankungen geprägten Pollendichten pro Kubikzentimeter durchlaufen für *Betula*, *Pinus* und *Alnus* (aber auch für *Quercus* und *Corylus*) in beiden Kernen oft phasengleich Minima und Maxima, was darauf deutet, dass die Schwankungen sedimentologisch (wechselnde Sedimentdichten, wechselnde Sedimentationsraten, wechselnder Anteil an organogenem und klastischem Probenanteil) oder durch Ungenauigkeiten/Fehlern bei der Bestimmung der in die Berechnung einfließenden Größen (Probenvolumen, Toleranzbereich der zugegebenen Sporenmenge) und nicht palynologisch begründet sind. Eventuelle sedimentologische Wechsel stellen generell für die palynologische Auswertung ein Problem dar, da sich gegebenenfalls die Ablagerungs- und/oder Überlieferungsbedingungen für die verschiedenen Palynomorphentypen unterschiedlich verändern (→ 5.1.2.).

Müllers 1. BKV (PAZ VIII) konnte auch in Kern MU 2 identifiziert werden. Wie bei Müller markiert er das Ende der von *Taxus* geprägten PAZ VII und wird von zeitweiligen prozentualen Einbrüchen bei *Alnus*, *Quercus* und insbesondere *Corylus* begleitet. Im Absolutwertdiagramm wird deutlich, dass die prozentualen Abfälle von *Alnus*, *Quercus* und *Corylus* mit entsprechenden Minima bei den Pollendichten einhergehen, die prozentualen Extremausschläge bei *Betula* und *Pinus* aber ebenfalls mit rückläufigen Absolutwerten dieser Taxa korrelieren. Die prozentualen Maxima von *Betula* und *Pinus* in PAZ VIII beruhen also nicht auf absoluten Anstiegen dieser Spezies, sondern auf extremen, absoluten Minima der anderen Taxa. Insoweit ist auch hier die Bezeichnung Birken-Kiefern-Vorstoß nur in Bezug auf die Prozentwertdiagramme zutreffend.

Auffälligerweise fallen die Pollenzonengrenzen in Kern MU 2 oft mit Sandeinschaltungen zusammen, nämlich die Grenze LPAZ VIIb/VIIc, welche das erste Auftreten von *Carpinus* markiert, die Grenze LPAZ VIIc/VIII, also die Basis des 1. BKV, die Grenze PAZ X/XI, also der Beginn des intraholsteinzeitlichen *Carpinus* Minimums sowie auch das Ende des IHCM. Von Sandlagen an den PAZ-Grenzen VIIc/VIII und X/XI wurde auch schon bei Müller (1974) berichtet (→ Abb. 6.24).

Tabelle 6.19 stellt Pollenzonengrenzen und -mächtigkeiten der beiden Kerne MU 1 und MU 2 gegenüber. Bei LPAZ-Grenzen, welche mit Sandlagen einhergehen (gelb), wurde jeweils etwa die Mitte der entsprechenden Sandlagen als Grenze herangezogen. LPAZ-Grenzen, die innerhalb umgelagerter Teufenabschnitte gelegt wurden oder mit Störungen einhergehen, sind rot markiert. Die *event*-freien Mächtigkeiten (grün) geben die, um Sandlagen und um eindeutige Umlagerungen (die in den Pollendiagrammen nach Abb. 6.37 bis 6.40 grau unterlegten Bereiche) sowie um Kernverluste reduzierten Pollenzonenmächtigkeiten, also die Mächtigkeit der, in diesem Sinne, ungestörten Kieselgur innerhalb der jeweiligen Pollenzonen an. Die in Klammern stehenden Teufen oder Mächtigkeiten geben die unterste beziehungsweise oberste Teufe an, wo die Kerne noch (ungestört) kieselgurhöffig sind und damit Minimalwerte bei den Mächtigkeitsangaben. Kursiv gedruckte Werte stehen für unsicher bestimmte LPAZ-Grenzen und sich daraus ergebenden Mächtigkeiten.

Tab. 6.19: LPAZ (*local pollen assemblage zone*) der Kerne MU 1 und MU 2. IHCM: Intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum, KV: Kernverlust.

LPAZ	MU 1				MU 2				
	Teufe [m]		Mächtigkeit <i>(event-frei)</i> [cm]		Teufe [m]		Mächtigkeit <i>(event-frei)</i> [cm]		
XIII	-		-		21,15-23,25		210 (≥147)		
XII	c	(9,47)-15,50		(≥603) (≥567,5)		23,25-26,25		300 291	
	b	15,50-20,50	19,20-21,90	500	270	26,25-31,70	30,20-33,05	545	285
		a		20,50-21,20		70		31,70-32,20	
XI	a	21,20-21,90		70		255		32,20-33,05	
			70						
X	21,90-24,00 (KV von 22,00-22,26)		(≥210) (≥184)		33,05-37,00		395 262		
IX	24,00-(24,80)		(>80) (≥76)		37,00-38,75		175 160		
VIII	-		-		38,75-39,30		55 43		
VII	c	-		-		39,30-41,00		170 77,5	
	b	-		-		41,00-43,50		250 134	
	a	-		-		43,50-48,00		450 210,5	
VI	-		-		48,00-(48,57)		(≥57) (≥56)		

6.3.5. Warvenzählungen an den Kernen MU 1 und MU 2

Die Kerne MU 1 und MU 2 weisen bereichsweise eine auf einer Wechsellagerung aus hellen, diatomeenreichen und dunklen, mit organogenem Feindetritus angereicherten Lagen beruhende Lamination auf (→ Abb. 10.24, → Abb. 10.27). Basierend auf den Untersuchungen von Müller (1974) handelt es sich hierbei um Jahreslagen, also Warven. In Kern MU 1 war (jeweils streckenweise) der Tiefenbereich 20,075-24,80 m (Hangendes von LPAZ IX bis Liegendes von LPAZ XIIb), in Kern MU 2 der Tiefenbereich 30,85-48,575 m (Hangendes von LPAZ VI bis Liegendes von LPAZ XIIb) warvenzählbar. Die Zählungen erlauben einen direkten Vergleich mit denen von Müller (1974). Insbesondere konnte in beiden Kernen die Dauer des IHCM abgeschätzt werden. Außerdem erlauben die Warvenzählungen Pollen*influx*werte zu berechnen und die gefundenen palynologischen (und sedimentologischen) Daten zumindest abschnittsweise auf eine relative Zeitachse zu beziehen. Die bei den Warvenzählungen erfassten Daten und die berechneten Alters-Tiefen-Modelle (→ 5.2.) sind in den Abbildungen 6.43 und 6.44 dargestellt. Dabei gibt die erste Kurve den prozentualen Anteil an gewarvtem Sediment je 2,5 cm Zählintervall (→ 5.2.) an, der zweite Graph den durchschnittlichen Einfallswinkel der Lamination je Zählintervall. Danach sind Warvenanzahl und -dicke, kumulative Warvenjahre und resultierendes Alters-Tiefen-Modell dargestellt. In allen Graphen sind die LPAZ-Grenzen nach Tabelle 6.19 markiert.

In den Abbildungen sind für die ungewarvten Abschnitte der Pollenzonen XII beziehungsweise XIII jeweils drei hypothetische Verläufe (A, B, C) der Alters-Tiefen-Modelle dargestellt. Dabei wurde für Verlauf A eine Sedimentationsrate von 1,5 mm/a, für Verlauf B eine Sedimentationsrate von 1,65 mm/a und für Verlauf C eine Sedimentationsrate von 1,8 mm/a angenommen.

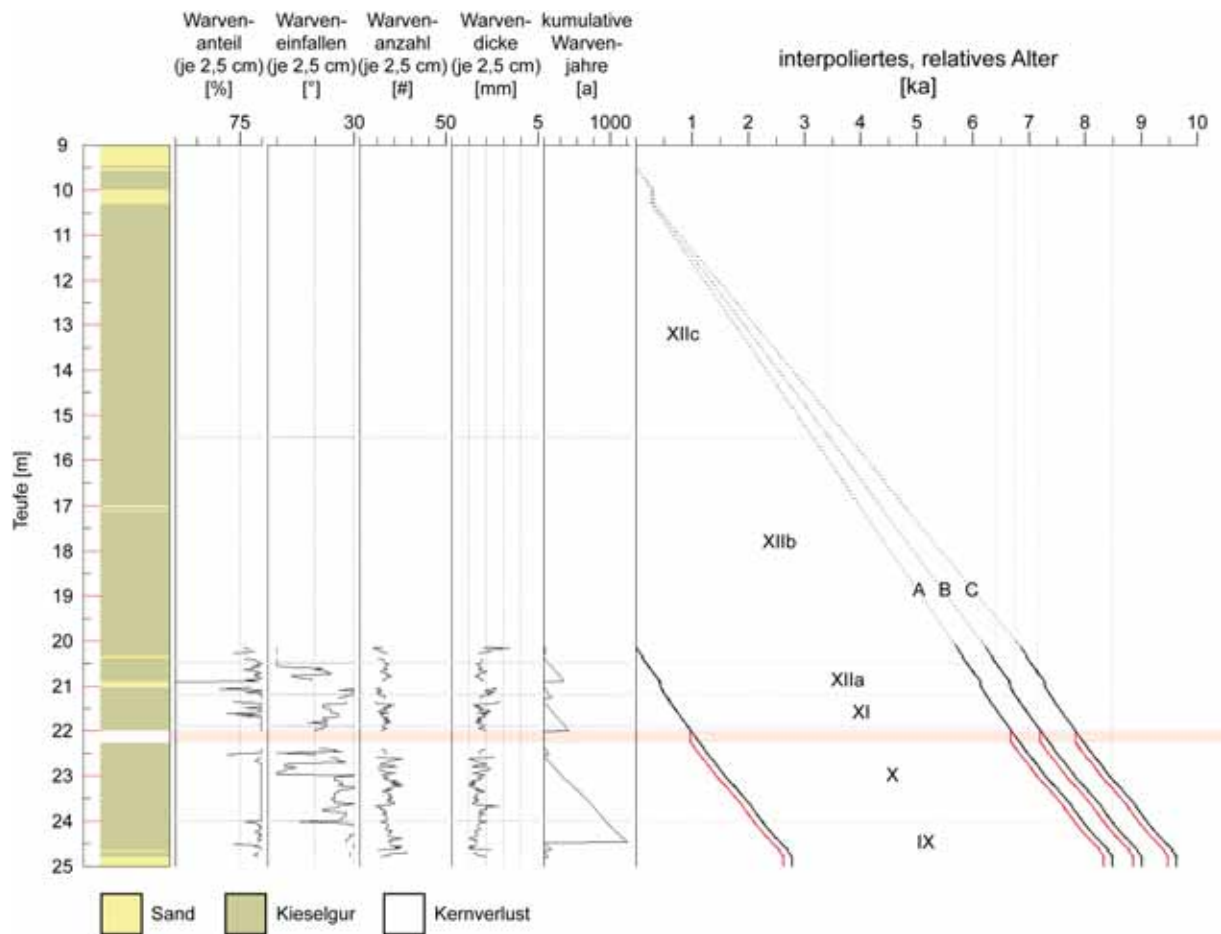


Abb. 6.43: Warvenzählungen und resultierende Alters-Tiefen-Modelle, Kern MU 1. In den rot dargestellten Alters-Tiefen-Modellen ist der Kernverlust bei 22,00-22,26 m Teufe als *event* (Sandlage), in den schwarz dargestellten Alters-Tiefen-Modellen als „normal“ mit Kieselgur sedimentierter Teufenbereich modelliert.

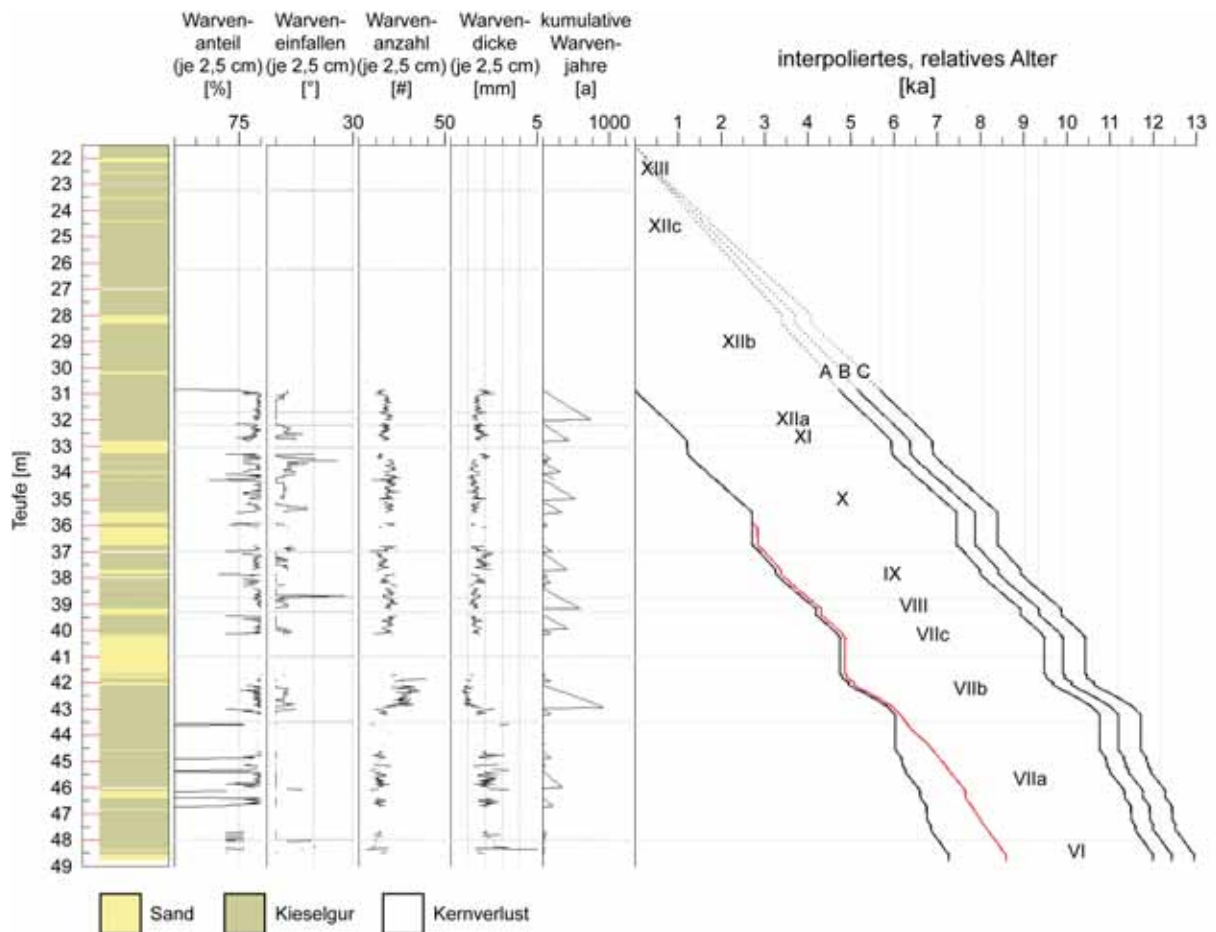


Abb. 6.44: Warvenzählungen und resultierende Alters-Tiefen-Modelle, Kern MU 2. Die rot dargestellte Kurve zeigt ein Alters-Tiefen-Modell, wie es ohne Berücksichtigung der in den Pollenzonen X und VII identifizierten Umlagerungen resultiert hätte.

Die Tabellen 6.20 und 6.21 fassen die, sich aus den Warvenzählungen und den daraus resultierenden Alters-Tiefen-Modellen ergebenden Pollenzonendauern zusammen und vergleichen diese mit denen von Müller (1974). Außerdem sind mittlere Sedimentationsraten je Pollenzone sowie die prozentualen Anteile der gezählten Warven an den aus den Alters-Tiefen-Modellen resultierenden Pollenzonendauern angegeben. In Kern MU 1 wurden insgesamt 2313, in Kern MU 2 (in den nicht als Umlagerungen angesprochenen Teufenabschnitten) 5935 Warven gezählt. Die jahresgenauen Angaben in den folgenden Tabellen ergeben sich rechnerisch.

Tab. 6.20: Pollenzonenmächtigkeiten, -dauern und mittlere Sedimentationsraten in Kern MU 1. LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*, KV: Kernverlust. A, B, C: Alters-Tiefen-Modelle gemäß Abb. 6.43.

MU 1												Müller (1972)			
LPAZ	Mächtigkeit (event-frei) [cm]		gezählte Warven		Alters-Tiefen-Modell						Dauer [a]				
					Dauer [a]			Anteil gezählter Warven [%]				mittlere Sedimentationsrate [mm/a]			
XIII	-		-		-			-			-			1000-1500	
XII	c	≥ 567,5	1123	0	418	A: ≥ 3783 B: ≥ 3439 C: ≥ 3153	A: ≥ 7378 B: ≥ 6754 C: ≥ 6235	0	A: 5,7 B: 6,2 C: 6,7	A: 1,50 B: 1,65 C: 1,80	A: 1,52 B: 1,66 C: 1,80	-	4000-5000		
	b	494		122		A: 3257 B: 2977 C: 2744								A: 3,8 B: 4,1 C: 4,5	A: 1,52 B: 1,66 C: 1,80
	a	61		296		338								87,6	1,75
XI	70		255	347	765	402	A: 1543 B: 1487 C: 1439	86,3	A: 49,6 B: 51,5 C: 53,2	1,74	A: 1,65 B: 1,72 C: 1,77	300-500			
X	≥ 210 (KV als Kieselgur) ≥ 184 (KV als Sand-event)		1062		≥ 1321 (KV als Kieselgur) ≥ 1170 (KV als Sand-event)			80,4 (KV als Kieselgur) 90,7 (KV als Sand-event)			1,59 (KV als Kieselgur) 1,57 (KV als Sand-event)			≈ 1600	
IX	≥ 76		486		≥ 537			90,5			1,42			≥ 1000	
VIII	-		-		-			-			-			200-400	
VII	c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≥ 2500		
	b	-		-		-		-							
	a	-		-		-		-							
VI	-		-		-			-			-				

Tab. 6.21: Pollenzonenmächtigkeiten, -dauern und mittlere Sedimentationsraten in Kern MU 2. LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*. A, B, C: Alters-Tiefen-Modelle gemäß Abb. 6.44.

MU 2													Müller (1972)
PAZ	Mächtigkeit (event-frei) [cm]		Gezählte Warven		Alters-Tiefen-Modell						Dauer [a]		
					Dauer [a]		Anteil gezählter Warven [%]		mittlere Sedimentationsrate [mm/a]				
XIII	≥ 147		0		A: ≥ 980, B: ≥ 891, C: ≥ 817		0		A: 1,50, B: 1,65, C: 1,80		1000-1500		
XII	c	291	840	0	745	A: 1940 B: 1764 C: 1617	A: 5542 B: 5114 C: 4757	0	A: 13,4 B: 14,6 C: 15,7	A: 1,50 B: 1,65 C: 1,80	A: 1,52 B: 1,64 C: 1,77	4000-5000	
	b	499		511		A: 3282 B: 3031 C: 2822		A: 15,6 B: 16,9 C: 18,1		A: 1,52 B: 1,65 C: 1,77			
	a	50		234		A: 320 B, C: 319		A: 73,1 B, C: 73,4		A: 1,56 B, C: 1,57			
XI	62		329		374		88		1,66		300-500		
X	262		1453		1670		87		1,57		≈ 1600		
IX	160		774		994		77,9		1,61		≥ 1000		
VIII	43		307		317		96,7		1,36		200-400		
VII	c	77,5	422	479	2243	566	2822	84,6	79,5	1,37	1,5	≥ 2500	
	b	134		1131		1271		89		1,05			
	a	210,5		633		985		64,3		2,14			
VI	≥ 56		84		≥ 203		41,4		2,76		-		

Tabelle 6.22 Reduziert die in den Tabellen 6.20 und 6.21 enthaltenen Informationen auf den Vergleich der erhaltenen Zeitspannen.

Tab. 6.22: Vergleich der Pollenzonendauern in Kern MU 1, MU 2 und der von Müller (1974) publizierten Ergebnisse. LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*, KV: Kernverlust. A, B, C: Alters-Tiefen-Modelle gemäß den Abbildungen 6.39 und 6.40.

PAZ	Dauer [a]						
	MU 1			MU 2			Müller (1974)
XIII	-			A: ≥ 980 B: ≥ 891 C: ≥ 817			1000-1500
XII	c	A: ≥ 3783 B: ≥ 3439 C: ≥ 3153	A: ≥ 7378 B: ≥ 6754 C: ≥ 6235	A: 1940 B: 1764 C: 1617	A: 5542 B: 5114 C: 4757	A: 1607 B: 1572 C: 1542	4000-5000
	b	A: 3257 B: 2977 C: 2744		A: 3282 B: 3031 C: 2822			
	a	338		A: 320 B, C: 319			
XI	402		374			300-500	
X	≥ 1321 (KV als Kieselgur) ≥ 1170 (KV als Sand-event)			1670		≈ 1600	
IX	≥ 537			994		≥ 1000	
VIII	-			317		200-400	
VII	c	-	-	566	2822	≥ 2500	
	b	-		1271			
	a	-		985			
VI	-			≥ 203		-	

Die sich aus den Warvenzählungen und den Alters-Tiefen-Modellen ergebenden Pollenzonendauern stimmen für die LPAZ VII, VIII, IX, X und XI gut mit denen von Müller (1974) überein. Wie im Kern KS 416/71 (→ Abb. 6.24) sind auch in Kern MU 2 die Warvenmächtigkeiten in Pollenzone VIIa gegenüber den jüngeren Pollenzonen erhöht. Die ermittelten Zeitspannen für LPAZ VIIa und VIIb sind jedoch auf Grund der Umlagerungserscheinungen in VIIa (→ Abb. 6.30) und der unsicheren LPAZ-Grenze VIIa/b gegebenenfalls fehlerhaft.

Die Ergebnisse aus Kern MU 2 implizieren, dass der Kernverlust im Hangenden von Pollenzone X in Kern MU 1 mächtiger ist als das tatsächlich im Bohrkern fehlende

Teilstück von etwa 0,25 m. Dafür spricht auch der Umstand, dass der hangende Bohrmeter (MU 1, 21-22 m) an seiner Basis keinen Kernverlust aufweist, sondern völlig und störungsfrei gefüllt ist. Es wäre unwahrscheinlich die tatsächliche Mächtigkeit eines Kernverlustes beim Bohrvorgang exakt auf den Übergang zweier Bohrmeter zu begrenzen. Aus der in Kern MU 2 (und von Müller, 1974) ermittelten Dauer für Pollenzone X von etwa 1600 Jahren und der in Kern MU 1 (bei Interpretation des Kernverlustes als Kieselgur) erhaltenen Zeitspanne von etwa 1300 Jahren würde der Kernverlust tatsächlich weitere 300 Jahre umfassen. Bei einer gefundenen mittleren Sedimentationsrate von 1,59 mm/a (Tab. 6.20) entspräche dies knapp 50 cm Sediment. Ursache des Kernverlustes ist wahrscheinlich das Zusammenfallen des meterweisen Bohrvortriebes mit einer sandigen oder reinen Sandlage, wo es dann zu Auswaschungen durch das Bohrspülwasser kommen kann. Diese Deutung wird durch Sandreste in Kern MU 1 sowie in Kern MU 2 im Übergangsbereich LPAZ X/XI dokumentierte Sandeinschaltungen bekräftigt.

Die Zeitspanne des IHCM wurde in beiden Kernen (MU 1, MU 2), trotz unterschiedlichen prozentualen Anteils tatsächlich in diesem Abschnitt gezählter Warven und bei unterschiedlichen Ansätzen für die Sedimentationsraten der ungewarnten, hangendsten Teilabschnitte des IHCM (87,5 cm in Kern MU 1, 59 cm in Kern MU 2, jeweils *event*-frei) ähnlich ermittelt. Mit 1439 Jahren als unterste und 1607 Jahren als oberste, durch die Alters-Tiefen-Modelle resultierende, Abschätzung sollte die Dauer des IHCM auf $\approx 1500 \pm 100$ Jahre eingeschränkt werden können.

Die Dauer von Pollenzone XIIb musste in den Alters-Tiefen-Modellen größtenteils, die der Pollenzone XIIc und XIII völlig, anhand gesetzter Sedimentationsraten interpoliert werden. In Kern MU 2 sind hierbei die in diesem Kern vollständig überlieferten Pollenzonen XIIb und XIIc mit einer gemeinsamen (*event*-freien) Mächtigkeit von 7,90 m vertreten. In Kern MU 1, welcher die Pollenzonegrenze XII/XIII nicht enthält und wo die Pollenzonegrenze XIIb/c nur unsicher zu ziehen ist, sind Pollenzone XIIb und der enthaltene Teil von Pollenzone XIIc insgesamt 10,615 m mächtig (ebenfalls *event*-frei). Auf Grund dieser deutlich verschiedenen Mächtigkeiten bleiben die für LPAZ XIIb und XIIc ermittelten Zeitspannen spekulativ, insbesondere auch weil innerhalb dieser Pollenzonen in beiden Kernen Anzeichen für Umlagerungen gefunden wurden (\rightarrow 6.3.2.). Nimmt man an, dass die Umlagerungen überwiegend sedimentären Charakters (statt erosiven) sind, so wäre die geringmächtigere Ausbildung der betreffenden Pollenzonen in Kern MU 2 als die weniger gestörte Über-

lieferung zu verstehen. In diesem Sinne wäre die zeitliche Abschätzung in Kern MU 2 als die realistischere, jedoch als potentiell weiter zu unterschreitende Obergrenze für die Dauer von PAZ XII zu interpretieren. Nimmt man dagegen einen insgesamt erosiven Charakter der Umlagerungsprozesse an, so wären die Pollenzonendauern nach Kern MU 1 zu favorisieren, die dann aber eine potentiell weiter zu überschreitende Dauer der betreffenden Pollenzonen darstellten. Die gegenüber Kern MU 2 unstrukturierteren Pollendiagramme im jüngeren Abschnitt von Pollenzone XII in Kern MU 1 legen die Vermutung nahe, dass Kern MU 1 in diesem Zeitabschnitt stärker von Umlagerungen betroffen ist als Kern MU 2. Somit wäre den Störungen eine eher sedimentäre Natur zuzuschreiben (da die betreffenden Pollenzonen in Kern MU 1 mächtiger ausgebildet sind als in Kern MU 2) und das Altersmodell nach Kern MU 2 zu bevorzugen. Diese Deutung bleibt allerdings, insbesondere auf Grund des in Kern MU 1 nicht dokumentierten Übergangs zu PAZ XIII, hypothetisch.

Auch die ermittelte Dauer von Pollenzone XIII bleibt ungesichert. Die, auf Sedimentationsraten von 1,5 mm/a, 1,65 mm/a und 1,8 mm/a basierenden Interpolationen zwischen 817 und 980 Jahren müssen (bei vorausgesetzter, störungsfreier Überlieferung) zudem als minimale Abschätzungen verstanden werden, da die von 21,15-23,25 m Tiefe definierte Pollenzone bei 21,55 m un stetig von massiv ausgeprägter Kieselgur zu kieselgurhaltigen Sand wechselt (Abb. 6.45), wodurch eine verlässliche obere Tiefengrenze für diese Pollenzone nicht gegeben ist.

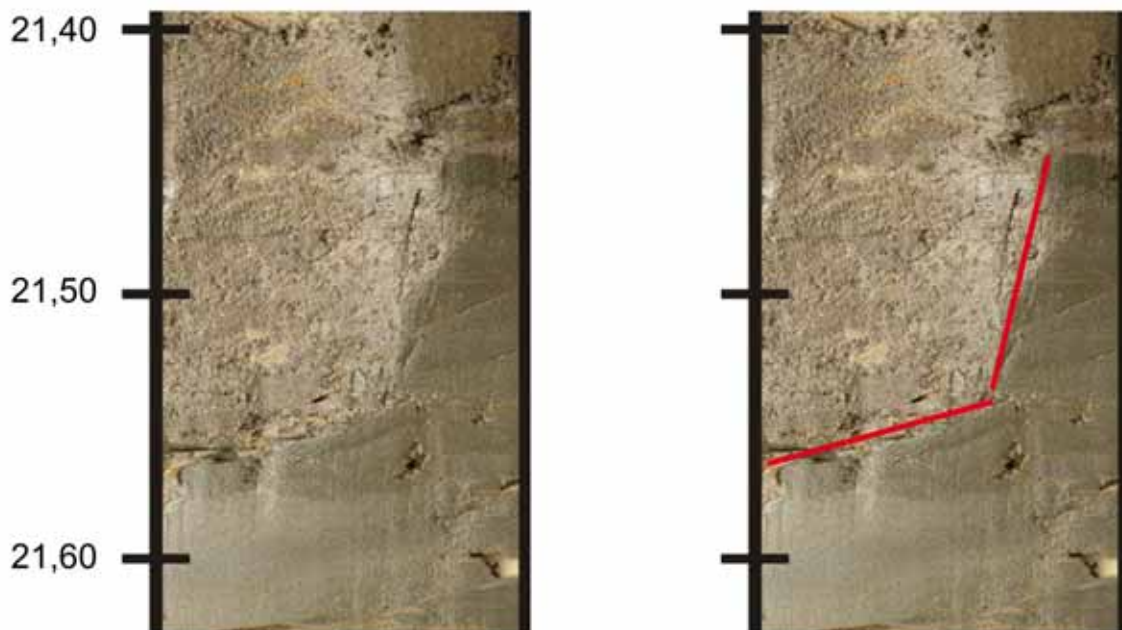


Abb. 6.45: Gestörter Wechsel von massiger Kieselgur zu mit Kieselgur vermengtem Sand in Pollenzone XIII, Kern MU 2, Tiefenskala: [m].

Die Alters-Tiefen-Modelle erlauben eine Darstellung der erhobenen Daten gegen die Zeit und ermöglichen insbesondere den Polleninflux zu berechnen. Die Abbildungen 6.46 a/b und 6.47 a/b zeigen auf eine relative Zeitachse bezogene Pollenprozentwert- und Polleninfluxdiagramme von Kern MU 2. In den Darstellungen wurde Alters-Tiefen-Modell B nach Abbildung 6.44 verwendet, also eine konstante Sedimentationsrate von 1,65 mm/a für den ungewarvten Bereich von Pollenzone XIIb und für die unlaminierten Pollenzonen XIIc und XIII angesetzt. Die Polleninfluxkurven innerhalb dieser Pollenzonen sind also den Pollendichtekurven dieser Abschnitte proportional (→ 5.1.2., Formel 5.4) und liefern daher keine neue Information. In den Diagrammen sind diese ungewarvten Teufenabschnitte, spekulativer Dauer und unsicheren *Influx*, grau aufgehellt. Den Pollendiagrammen sind außerdem die ermittelte Sedimentationsrate sowie die sich daraus ergebenden Zeitspannen, welche von den 1 cm mächtigen Pollenproben repräsentiert werden dargestellt. Die Pollenproben beinhalten demnach den Polleneintrag von 5-10 Jahren. In den Abbildungen bedeutet: LPAZ: *local pollen assemblage zone*, EMW: Eichenmischwald, IHCM: intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum. Bei den Teufen sind die Bohrkerngrenzen rot markiert.

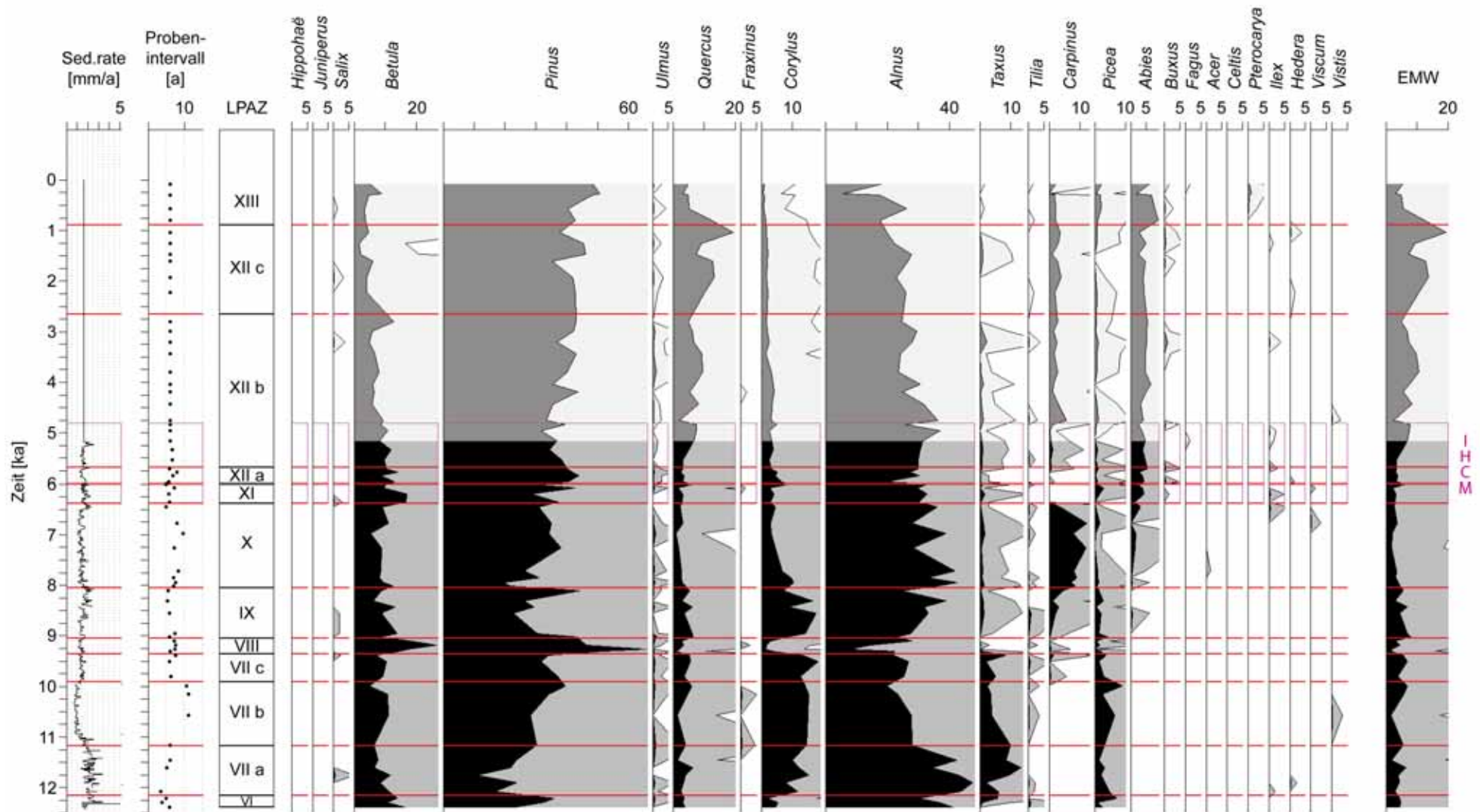


Abb. 6.46 a: Prozentwertdiagramm Baumpollen MU 2. Werte in Prozent terrestrischer Pollen. Alters-Tiefen-Modell B.

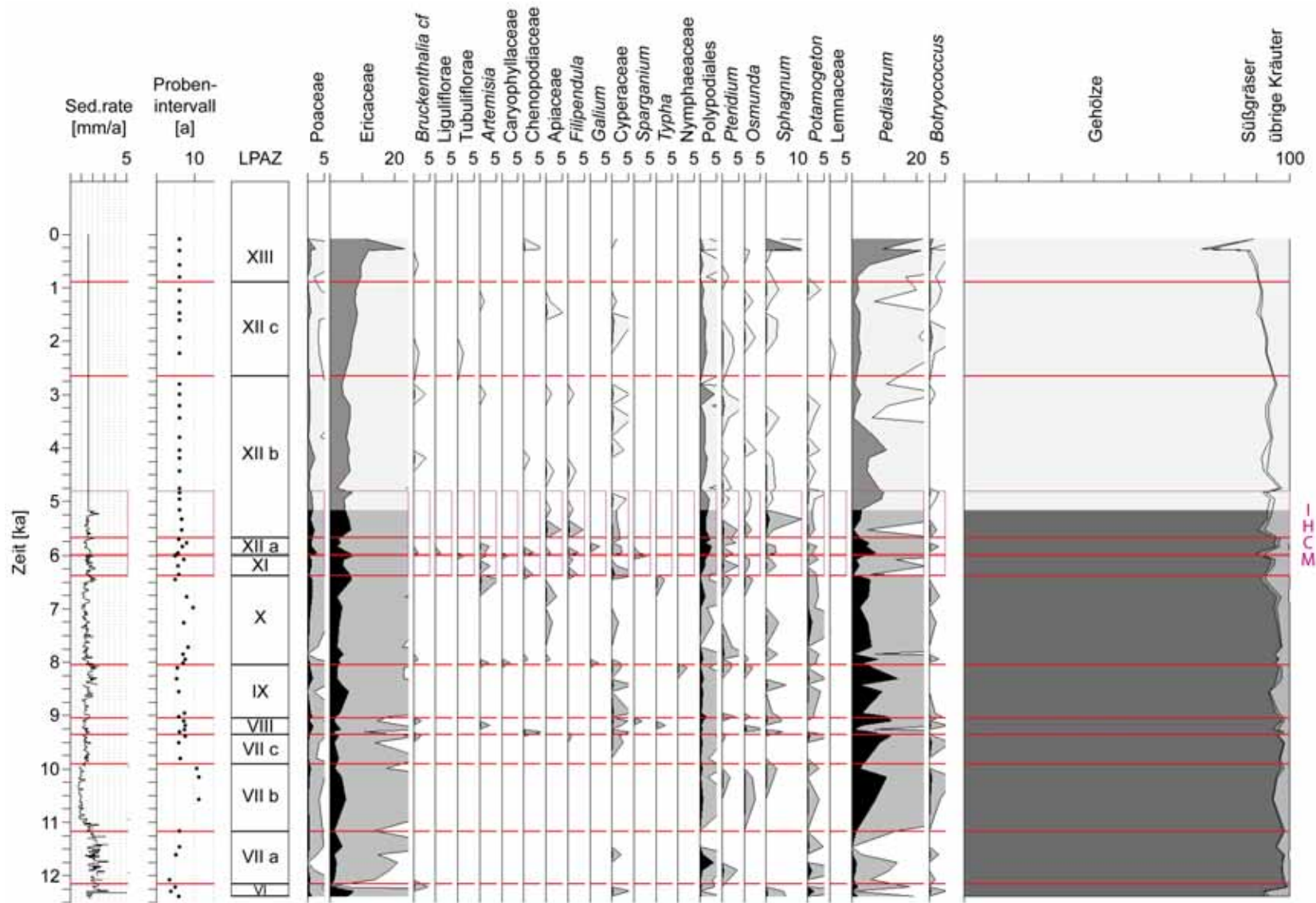


Abb. 6.46 b: Prozentwertdiagramm Nichtbaumpollen MU 2. Werte in Prozent terrestrischer Pollen. Alters-Tiefen-Modell B.

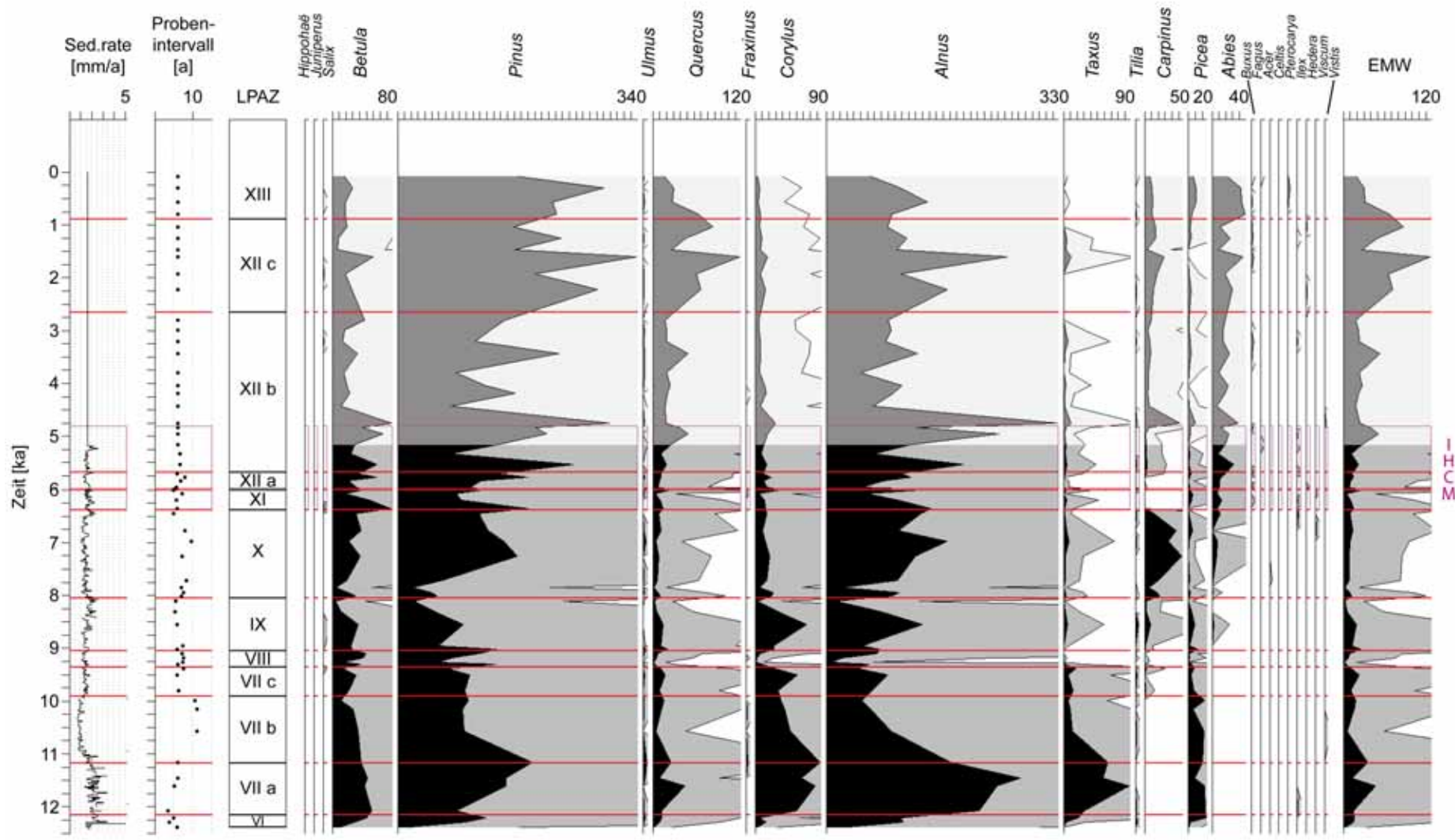


Abb. 6.47 a: Polleninfluxdiagramm Baumpollen MU 2. Werte in 10^2 Pollen/(cm² a). Alters-Tiefen-Modell B.

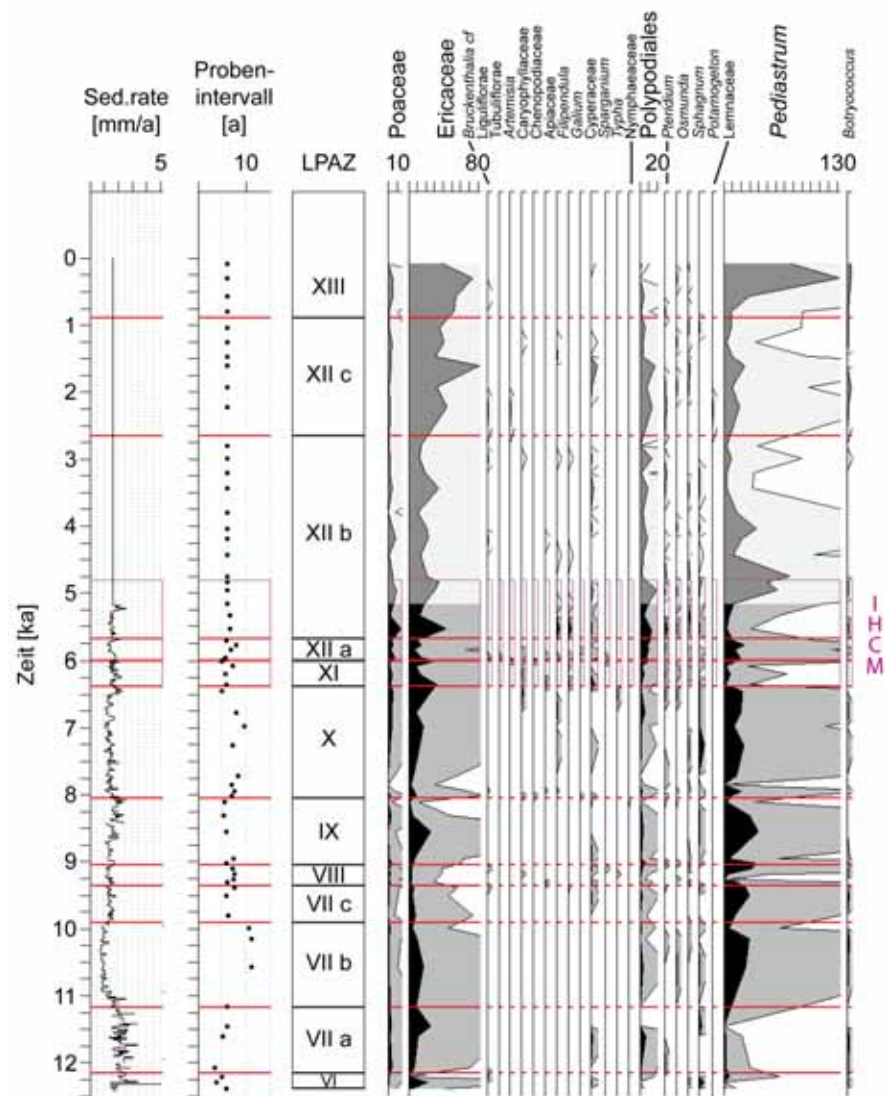


Abb. 6.47 b: Polleninfluxdiagramm Nichtbaumpollen MU 2. Werte in 10^2 Pollen/(cm² a). Alters-Tiefen-Modell B.

Im Polleninfluxdiagramm fällt auf, dass die *Taxus*-Phase in Pollenzone VII zweigeteilt erscheint, in einen frühen Abschnitt mit hohem und einen späteren Abschnitt mit vermindertem absoluten Eintrag an *Taxus* Pollen. Die Verminderung der *Influx*werte von *Taxus* (und *Alnus*) am Übergang LPAZ VIIa zu LPAZ VIIb fällt mit einer Erniedrigung der Sedimentationsrate (Warvendicke) zusammen (→ Abb. 10.24). Dabei kommt der die Abnahme der Warvendicke vom Liegenden zum Hangenden durch im Hangenden vermindert mächtige Diatomeenlagen zu Stande (helle Lagen in Abb. 10.24). Gleichzeitig ändert sich an dieser Grenze die Zusammensetzung der Diatomeengemeinschaft. Letztere Beobachtung deutet auf sich verändernde limnologische Bedingungen zu dieser Zeit.

6.3.6. Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern MU 1

An Kern MU 1 wurden an zwei Proben Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen vorgenommen. Die Proben stammen (ähnlich wie bei Kern BT 1) aus dem Grenzbereich Kieselgur/hangende Sande. Probe MU 1 IR-RF 1 stammt aus den sandigen Partien, nämlich aus 9,00-9,25 m Teufe, Probe MU 1 IR-RF 2 entstammt der Kieselgur bei 9,65-9,95 m Teufe. Tabelle 6.23 gibt die Messergebnisse (Degering and Krbetschek, 2007) wieder.

Tab. 6.23: Infrarot-Radiofluoreszenzdatierungen an Bohrkern MU 1. Die Alter unterstellen wassergesättigte Bedingungen. Die sich auf den *in situ* Wassergehalt beziehenden Alter (422 ± 23 ka für MU 1 IR-RF 1, beziehungsweise 309 ± 20 ka für MU 1 IR-RF 2) liegen in den Konfidenzintervallen der „gesättigten“ Alter. ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$)

Probe	Teufe [m]	Wassergehalt [%]		Kosmische Dosisrate [MGy/a]	spezifische Aktivität [Bq/kg]			Paläodosis [Gy]	Alter [ka]
		<i>in situ</i>	gesättigt		²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K		
MU 1 IR-RF 1	9,00-9,25 Sand	15 ±2	20 ±2	70 ±7	7,39 ±0,34	6,72 ±0,43	190,8 ±3,9	624 ±19	433 ±24
MU 1 IR-RF 2	9,65-9,95 Kieselgur	138 ±14	212 ±21	66 ±7	15,87 ±0,55	14,40 ±0,74	92,4 ±3,0	329,3 ±8,3	334 ±21

6.3.7. Munster/Breloh – Diskussion

Wie schon bei den Datierungen am Kern Bonstorf fällt bei den Datierungen zunächst auf, dass den hangenden Sanden ein höheres Alter als der liegenden Kieselgur zugewiesen wird. Während der für die Kieselgur erhaltene Wert auf eine Korrelation

des Holstein-Interglazials mit dem marinen Isotopenstadium 9 deutet, fällt das für die Sande erhaltene Alter in den Übergangsbereich der marinen Sauerstoffisotopenstadien 11/12 (→ Abb. 4.1). Die Sande hätten demzufolge letztmals dann vollständiger Bleichung unterlegen. Akzeptiert man dieses Alter (oder zumindest ein Alter älter als das der Kieselgur), so böte wiederum die in Abbildung 6.17 dargelegte geologische Situation im Einflussbereich eiszeitlichen Inlandeises der Kieselgurvorkommen eine Erklärungsmöglichkeit für die „Altersinversion“. Bei den Sanden könnte es sich um ursprünglich elsterzeitlich sedimentierte (und gebleichte) glaziale Ablagerungen handeln, die dann saalezeitlich als Einheit, ohne nochmalige Aufarbeitung (ohne Bleichung), über die Kieselgurlager geschoben worden wären. Gleichzeitig eröffnet die nachholsteinzeitliche, glaziale Überprägung der Lokalität Munster/Breloh (wie auch Hetendorf/Bonstorf) eine quasi gegenteilige Interpretation. Die Alter der Sande könnten zu hoch ausgefallen sein, weil diese, eben während des Saale-Glazials eine Aufarbeitung unter Lichteinwirkung aber bei nicht vollständiger Bleichung erfahren haben könnten (glazio-fluviatil).

Die Lage der Fundstätten Munster/Breloh und Hetendorf/Bonstorf (aber auch generell aller vergleichsweise positionierten Lokalitäten), sowohl innerhalb des Einflussbereiches des elster-, als auch des saalezeitlichen Inlandeises, erschwert also prinzipiell die Interpretation von Lumineszenz/Fluoreszenz-Datierungen glazialer Sande. Für eine vertrauenswürdige Deutung fehlt es schlicht an Vergleichswerten aus solchen, mehrfach glazial überprägten, Gebieten. In diesem Zusammenhang zeigt insbesondere der Vergleich mit den um über 130000 Jahre jünger ausfallenden Werten für die Sande aus den nur *circa* 15 km entfernten Kieselgurlagerstätten von Hetendorf/Bonstorf, dass gegebenenfalls auf engstem Raum mit höchst unterschiedlichen Lumineszenzaltern zu rechnen ist.

Auf Grund des sedimentologischen Befundes in Kern MU 2 muss davon ausgegangen werden, dass die oberhalb 21,55 m gezählten Pollenproben die Vegetationsentwicklung im Hangenden von Pollenzone XIII und darüber hinaus nicht ungestört und auf Grund von Umlagerungen (und gegebenenfalls Zersetzungsauslese) verfälscht widerspiegeln. Daher erscheint die, von Müller (1974) beschriebene, Abfolge von zwei, postholsteinzeitlichen, „interstadialen“ Nachschwankungen (Müllers Pollenzonen XVI und XVIII), welche auf eine Kiefern-Zeit (Müllers Pollenzone XIV) folgen und durch Heidephasen (Müllers Pollenzonen XV

und XVII) voneinander separiert sind, zweifelhaft. Kern MU 2 zumindest erlaubt keine solche Aussage. Wahrscheinlicher scheint, dass die, in Sanden ausgebildeten „Heidephasen“ den gleichen Zeitabschnitt, also lediglich eine, postholsteinzeitliche Kaltphase repräsentieren und Müllers „Nachschwankungen“ aus in diese Sande eingearbeiteten, allochthon lagernden Sedimenteinheiten (spätholsteinzeitlichen Alters) resultieren.

In Müller (1974) werden die als erster (älterer) beziehungsweise zweiter (jüngerer) Birken-Kiefern-Vorstoß betitelten Pollenzonen VIII und XI/XIIa als „extreme, die Warmzeit kurz unterbrechende Klimarückschläge“ gedeutet, von denen der jüngere als „nicht ganz so katastrophale klimatische Beeinflussung des Waldes wie zu Beginn des älteren Birken-Kiefer-Vorstoßes“ interpretiert wird. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen diese These(n), vor allem in der Extremität ihrer Aussagen nicht.

Die Zeit des jüngeren (zweiten) Birken-Kiefern-Vorstoßes (LPAZ XI/XIIa) fällt mit der ersten Hälfte des intraholsteinzeitlichen *Carpinus* Minimums zusammen in welcher *Carpinus* Pollen nur sporadisch zu finden sind. Wie bei Müller (1974) folgt zu Beginn des IHCM auf ein relatives prozentuales Maximum bei *Betula* ein ebensolches bei *Pinus*, welches mit einem zeitweiligen Rückgang der *Alnus*-Prozentwerte einhergeht. In den Kernen MU 1 und MU 2 sind (wie in den Kernen KS 416/71, KS 407/71 und KS 408/71) während dieses Abschnittes außer bei *Alnus* keine Rückschläge, -gänge bei anderen thermophilen Gehölzen wie etwa *Quercus*, *Corylus* oder *Abies* feststellbar. Auch konnte keine Zunahme des Nichtbaumpollenanteils beobachtet werden. Vor allem in Kern KS 408/71 (→ Abb. 6.24), aber auch in den Kernen KS 416/71, KS 404/71 und MU 2 spricht außerdem das teilweise erstmalige Auftreten von *Ilex*, *Buxus* und *Vitis* während des 2. Birken-Kiefern-Vorstoßes gegen eine Deutung von LPAZ XI und XIIa als eine kühlere Periode (→ Tab. 10.3). Die berechneten *Influx*-diagramme zeigen während der Pollenzonen XI und XIIa ein phasengleiches, in beiden Kernen (MU 1 und MU 2) gleichsinnig verlaufendes Verhalten von *Betula*, *Pinus* und *Alnus*. Ausgehend von vergleichsweise hohen Absolutwerten zu Beginn von LPAZ XI sinken die absoluten Anteile der drei Spezies in LPAZ XI, um dann zum Ende von LPAZ XIIa wieder anzusteigen. Dabei führen die relativen Verhältnisse dieser gleichartigen Verläufe zu den prozentualen Spitzen bei *Betula* und *Pinus*, beziehungsweise zum Minimum bei *Alnus*. Die absoluten Verläufe sind nicht, wie die

prozentualen Verläufe, gegensätzlich. Letztlich wurde weder in den Kernen von Müller, noch in den hier untersuchten Kernen während dieser Pollenzonen eine Zunahme der Warvenmächtigkeit gefunden.

Der erste, ältere, auch in Kern MU 2 gefundene, Birken-Kiefern-Vorstoß (BKV) am Ende der von *Taxus* geprägten Pollenzone VII, schlägt sich, wie bei Müller (1974), nicht nur durch prozentuale Maxima bei *Betula* und *Pinus* und einem prozentualen Minimum bei *Alnus* nieder, sondern ist auch und vor allem (und im Gegensatz zum zweiten, jüngeren Birken-Kiefern-Vorstoß) durch ein fast völliges Ausbleiben von *Corylus*-Pollen geprägt. Auch *Quercus* durchläuft während LPAZ VIII ein Minimum. Dabei verlaufen die Absolutwertkurven von *Alnus*, *Corylus* und *Quercus* phasengleich zu deren Prozentwertkurven. Ähnlich wie beim 2. BKV werden die prozentualen Maxima von *Betula* und *Pinus* nicht durch ebensolche bei den Absolutwerten beider Taxa begleitet, sondern resultieren aus dem relativen Vergleich aller involvierten Taxa, beruhen also maßgeblich auf den Einbrüchen in den Absolutwerten der anderen Taxa. Bei einem Klimarückschlag wäre eine deutliche *Influxzunahme* von *Betula* oder *Pinus* oder der Nichtbaumpollen zu erwarten, wenn sich dann kälteresistentere Baumarten (wie *Betula* und *Pinus*) oder kälteresistente, heliophytische Nichtbaumpollen (wie *Artemisia* oder *Poaceae*) auf ehemals von thermophilen Florenelementen (wie *Corylus* und *Quercus*) besiedelten, nun frei werdenden Habitaten ausbreiteten. Auch die Lamination/Warvung zeigt während dieses pollenfloristischen Abschnittes in Kern MU 2 (wie auch in Kern KS 416/71) keinen auf einen gegebenenfalls vermehrten klastischen Eintrag während einer stadial getönten Phase zurückzuführenden Mächtigkeitsanstieg.

Im Umfeld von LPAZ VIII treten in Kern MU 2 einige sedimentologische Auffälligkeiten auf. Abbildung 6.48 stellt daher den Teufenbereich 38,00-40,00 m um LPAZ VIII samt Kernfotos, Pollenprozent- und *Influx*diagrammen der diesen Bereich prägenden Taxa dar.

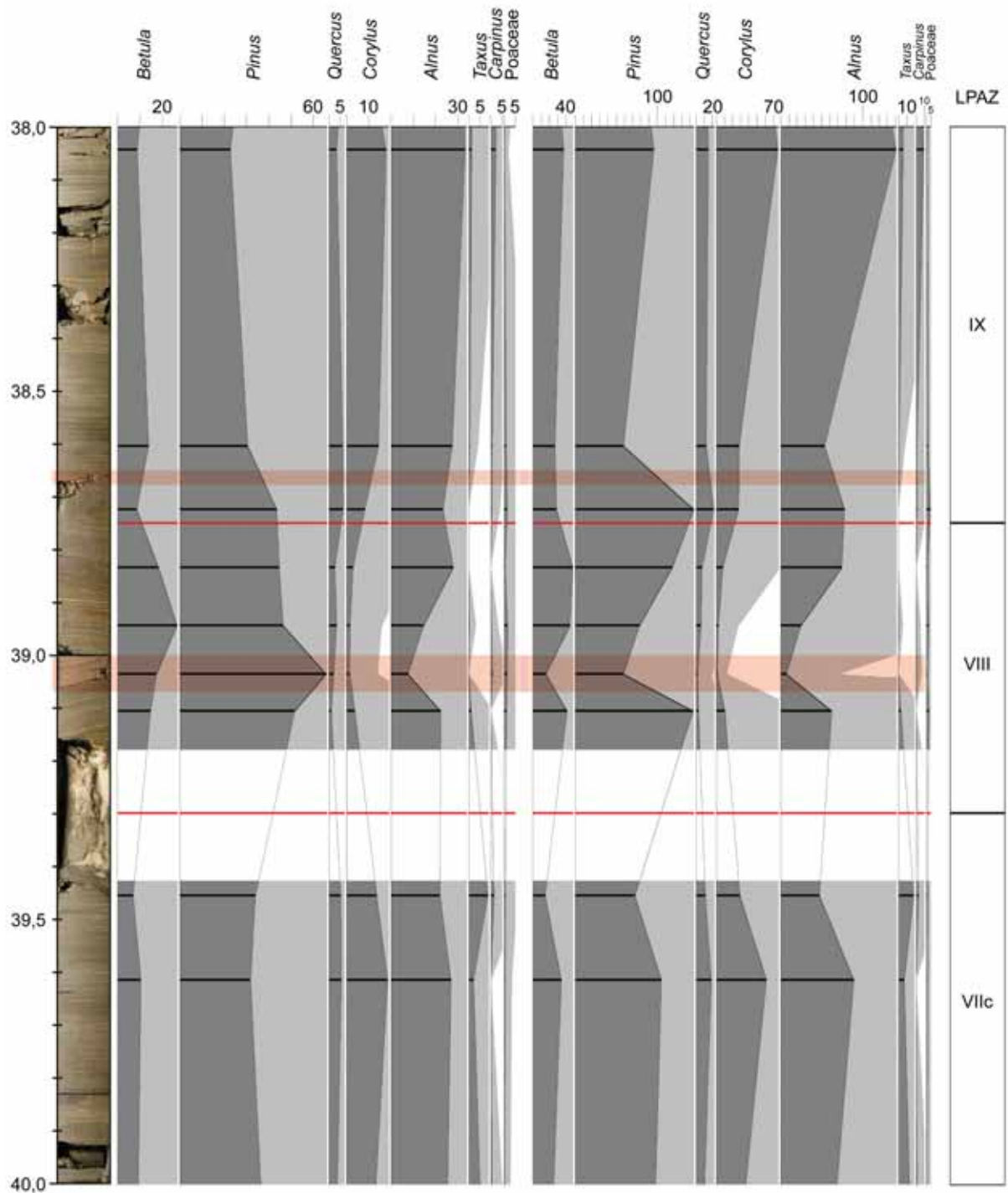


Abb. 6.48: Umfeld von Pollenzone VIII (1. Birken-Kiefern-Vorstoß) im Teufenbereich 38-40 m, Kern MU 2. Links: Pollenprozentdiagramme in % terrestrischer Pollen, rechts: Polleninfluxdiagramme in 10^2 Pollen/(cm^2 a). Rot überlegt ist die in der Kernbeschreibung erwähnte Störung bei 38,66 m (Abb. 6.32) sowie der Bereich des prozentualen Kiefernmaximums, welches einhergeht mit einem Abfallen der Influxkurven zwischen 40,0-40,10 m Tiefe. LPAZ: local pollen assemblage zone, Teufenskala: [m].

Die Abgrenzungen von Pollenzone VIII orientieren sich (neben dem Abfall von *Taxus* an der unteren Grenze) an Beginn und Ende des *Corylus*-Minimums, welches (sedimentologisch) deutlich mächtiger (und damit zeitlich länger) ausfällt als das Minimum bei *Alnus*. Unterhalb der Sandeinschaltung zwischen 39,16-39,425 m Teufe ist *Corylus* noch stark vertreten, oberhalb der Sandlage verweilt *Corylus* bis „knapp“ unterhalb der Störung bei 38,66 m Teufe auf niedrigen Niveau. Dabei verlaufen Prozentwert- und *Influx*kurve gleichsinnig. *Quercus* zeigt ein äquivalentes Verhalten. Das absolute prozentuale *Pinus* Maximum, welches einhergeht mit dem absoluten *Alnus* Minimum und den abfallenden *Influx*werten von insbesondere *Betula*, *Pinus* und *Alnus* fällt in den Kernabschnitt 39,00 m bis etwas vor 39,10 m Tiefe. Abbildung 6.49 zeigt diesen Teufenbereich. Die Lamination (Warbung) ist hier teilweise verbogen und/oder auslaufend.



Abb. 6.49: Teufenbereich 39,00-39,10 m, Kern MU 2. Potentielle Störung im Bereich des prozentualen *Pinus* Gipfels von LPAZ VIII (1. Birken-Kiefern-Vorstoß).

In Abbildung 6.33 wurden Verfaltungen in der Lamination der, die LPAZ-Grenze VII/VIII repräsentierenden Sandlage unmittelbar aufsitzenden, Kieselgur dokumentiert. Diese belegen, dass die dem Sand auflagernde Kieselgur nicht ungestört auf den Sand aufsedimentiert wurde, gegebenenfalls sogar mit oder auf Diesem transportiert (gerutscht) ist. Somit ist sowohl an der Basis (Sandlage) als auch am Top von LPAZ VIII (beziehungsweise an der Basis von LPAZ IX), im Umfeld der Störung bei 38,66 m Teufe mit einem Hiatus zu rechnen.

Ob das Zusammenfallen der aufgeführten sedimentologischen Unregelmäßigkeiten um die palynostratigraphisch signifikante Pollenzone VIII (1. Birken-Kiefer-Vorstoß)

Anzeichen stratigraphisch relevanter Störungen sind kann auf Grund der alleinigen Befunde in Munster/Breloh nicht abschließend geklärt werden. Die Korrelierbarkeit des, der Expansion von *Carpinus* (LPAZ IX/X) unmittelbar vorhergehenden, 1. BKV mit einem entsprechenden pollenfloristischen Verlauf im Profil Döttingen (LPAZ 4a) (→ 6.1., → 7.) deutet aber an, dass hier keine stratigraphisch relevanten Störungen vorliegen. Es muss jedoch damit gerechnet werden, dass die auf Warvenzählungen beruhende Abschätzung der Dauer für LPAZ VIII, von etwa 300 Jahren (für das *Corylus*-Minimum) fehlerbehaftet sind.

Das intraholsteinzeitlich *Carpinus* Minimum ist in Beiden Kernen (MU 1 und MU 2) zweigegliedert. Im den Pollenzonen XI und XIIa entsprechenden Abschnitt ist Pollen von *Carpinus* nur sporadisch zu finden. Im zweiten Abschnitt des IHCM ist *Carpinus* regelmäßig, wenn auch in geringen Anteilen vertreten (beidesmal sowohl prozentual als auch absolut). Der (ebenfalls sowohl prozentuale wie absolute) Anteil an *Quercus* steigt im jüngeren IHCM an. Die Dauer des IHCM wurde mit $\approx 1500 \pm 100$ Jahren bestimmt, wobei jeweils etwa die Hälfte dieser Zeitspanne auf die beiden Abschnitte des IHCM entfällt. Diese Zeitspannen liegen deutlich über der Lebenserwartung der Bäume von bis zu 150 Jahren. Zumindest in der ersten Hälfte des IHCM muss daher von einem tatsächlichen Zusammenbruch der Hainbuchenpopulation, also dem Nichtvorhandensein, beziehungsweise nur individuenhaften (nicht bestandsbildenden) Auftreten in der Bewaldung ausgegangen werden und nicht etwa lediglich von einer anhaltenden Phase mit geringer oder keiner Pollenproduktion bei aber noch vorhandenem Bestand.

Die übrigen Pollenzonendauern stimmen gut mit den Ergebnissen von Müller (1974) überein (→ Tab. 6.22), wobei jedoch die Dauer der LPAZ VIIa&b, auf Grund von sedimentologischen Störungen, unsicher bleibt und die Zeitspannen für LPAZ XIIb&c, sowie XIII rein interpolativ sind, sich aber im Rahmen derjenigen von Müller bewegen.

Die durchgeführten Siebanalysen zeigen, dass etwa die Sandlage an der Liegendgrenze des 1. BKV (LPAZ VIII) ein anderes Korngrößenspektrum aufweist als diejenige an der Liegendgrenze von Müllers 2. BKV (Liegendgrenze IHCM). Unterstellt man, dass die Sedimentquelle für die Sandeinschaltungen die gleiche ist, so

bedeutete dies, dass die Sandeinschaltungen durch verschiedene Sedimentationsprozesse zur Ablagerung kamen, oder durch unterschiedlich lange Sedimentationswege unterschiedlicher Sortierung unterlagen.

Dies wäre bei fluviatilen Eintrag erklärbar, wo in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit im mündungsproximalen Bereich gröbere Fraktionen absaigern als im mündungsdistalen Bereich, der Seemitte. Starkregenereignisse oder Schneeschmelzen, welche die Strömungsgeschwindigkeit zeitweilig erhöhen, könnten Auslöser solcher Sedimentationsereignisse sein.

Äolische Einträge (Flugsande) wären auf Grund der Korngrößenspektren nicht auszuschließen, da deren Korngrößenzusammensetzungen von Liefergebiet, Transportweg und Windstärke abhängen, also sehr unterschiedlich sein können. Zumindest die, den Siebproben S3 (intra LPAZ X) und S4 (Basis LPAZ VIII) entsprechenden, Sandlagen erscheinen aber zu mächtig (S3: 66,5 cm – bei Interpretation des Kieselgurstückes 35,905-36,085 m als Umlagerung 125,5 cm, S4: 24,5 cm) als dass sie „Sandstürmen“ zugeschrieben werden könnten. Die S3 zugehörige Sandlage beinhaltet zudem umgelagerte Kieselgurstücke. Da die Proben S2-S4 bei Interpretation als Sandeinwehungen zudem alle intraholsteinzeitlichen, also interglazialen Alters wären, müssten die Sandausblasungen zu einer Zeit stattgefunden haben, in der die Pollendiagramme auf eine Bewaldung ohne großflächigen Offenlandanteil schließen lassen. Potentielle Liefergebiete wären nur schwer vorstellbar. Zudem wäre bei interglazialen Einwehungen im Hangenden der Sandeinschaltungen gegebenenfalls organischer Detritus zu erwarten, wie er aber nicht vorhanden ist.

Die in einigen Sandlagen gefundenen, Kieselgurfragmente (→ 6.3.2.) beziehungsweise fein mit Kieselgur vermengte sandige Lagen (22,00-22,18 m, 44,56-44,58 m, 46,145-46,40 m) (→ Tab. 6.17) oder die, teils als Kieselgurbrekkzie bezeichnbaren, Teufenabschnitte unterhalb 43,23 m (→ 6.3.2.) legen Umlagerungen nahe. Danach könnten die Sande auf Hangrutsche oder Turbidite zurückzuführen sein. Die enthaltenen Sandanteile stammten dann entweder von, die Kieselgur unterlagernden, Sanden also nach Benda und Brandes (1974) von „Fein- bis Mittelsanden, gelegentlich Grobsanden“, oder von synsedimentär (fluviatil) in die Kieselgur zwischengeschalteten Sanden. Bei diesen Szenarios sind sowohl den „Muttersanden“ unverfälschte Korngrößenspektren (Hangrutsch, proximaler Turbidit) als auch gegenüber den Ausgangssanden besser sortierte Korngrößenverteilungen

zu erwarten (distaler Turbidit). Da in Benda und Brandes (1974) auch „Sandrücken“ in den Kieselgurbecken erwähnt sind, könnte mit Hangrutschen und/oder Trübe-strömen nicht nur im Uferbereich, sondern auch in der ehemaligen Seemitte gerechnet werden. Als Auslöser solcher Ereignisse kämen in Frage: Erdbeben, Hanginstabilität durch wachsende (Kieselgur)Auflast oder durch schwankende Wasserspiegel, Wellenschlag im Uferbereich (Sturmereignisse), schwankende Grundwasserfließraten (-druck) oder schwankende Wassersättigung über dem Grundwasserspiegel liegender Sande (Starkregenereignisse).

Die in den Sandlagen gefundenen Kieselgurstücke wären aber auch ohne die Annahme von Hangrutschen oder Turbiditen, nämlich bei fluviatilen Sandeintrag erklärbar. Es könnte sich um erodierte und verfrachtete Kieselgurfragmente handeln. Außerdem kommen fluviatile Sandeinträge selbst als Auslöser für Hangrutsche in Frage.

Ob die beobachtete Abnahme des Grobanteils mit abnehmender Teufe (mit abnehmendem Seespiegelstand) einen tatsächlichen Trend darstellt oder Zufall ist kann nur eine weitere Beprobung der übrigen Sandlagen erweisen. Eine dies-bezügliche Diskussion erscheint daher an dieser Stelle zu hypothetisch.

Ein letztes Szenario wäre eine nicht syn-, sondern postsedimentäre Einarbeitung der Sandlagen in die Kieselgur, etwa durch Überschiebungen im Zuge glazialer Überprägung (→ 6.2.6.). Die in Abbildung 6.33 dokumentierte, und in Tabelle 6.13 erwähnten, mit den Sandlagen einhergehenden, Verfaltungen der Laminae (Basis LPAZ VIII, Basis IHCM) sind jedoch Indiz für eine synsedimentäre Einschaltung der Sande.

6.4. Bilshausen, Niedersachsen, südwestliches Harzvorland

Dieses Kapitel nimmt im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Sonderstellung ein, da entgegen dem Schwerpunkt „Holstein-Interglazial“ hier eine cromerzeitlich eingestufte Warmzeit behandelt wird. Da die interglaziale Abfolge von Bilshausen jedoch ins jüngere Cromer gestellt wird (→ Tab. 4.1) (Müller, 1992), kommt sie als die, dem Holstein unmittelbar vorhergehende Warmzeit in Betracht. Damit sind insbesondere die im Folgenden vorgestellten Warvenzählungen und damit die geschätzten Dauern beider Interglaziale (Holstein und Bilshausen) von Interesse, da sie einen Beitrag zur Diskussion um die Korrelation mit den diskutierten (marinen) Sauerstoffisotopenstadien liefern können. Außerdem enthält das Profil Bilshausen einen „Birken-Kiefern-Vorstoß“, was einen Vergleich mit denen aus Munster-Breloh und Döttingen bekannten Vorstößen von *Betula* und *Pinus* ermöglicht.

6.4.1. Bilshausen – Lokalität, Stand der Forschung

Das Interglazialvorkommen von Bilshausen (Untereichsfeld, Niedersachsen) wurde erstmal von Bismarck (1942) später von Lüttig und Rein (1953), von Chanda (1962) und zuletzt von Müller (1965, 1979, 1992), sowie in Bittmann und Müller (1996) palynologisch beschrieben. Die bearbeiteten Profile stammen aus einer, bei Bilshausen (Kreis Duderstadt, südwestliches Harzvorland) (Abb. 6.50) gelegenen, Ziegeleigrube der Jacobi-Tonwerke GmbH

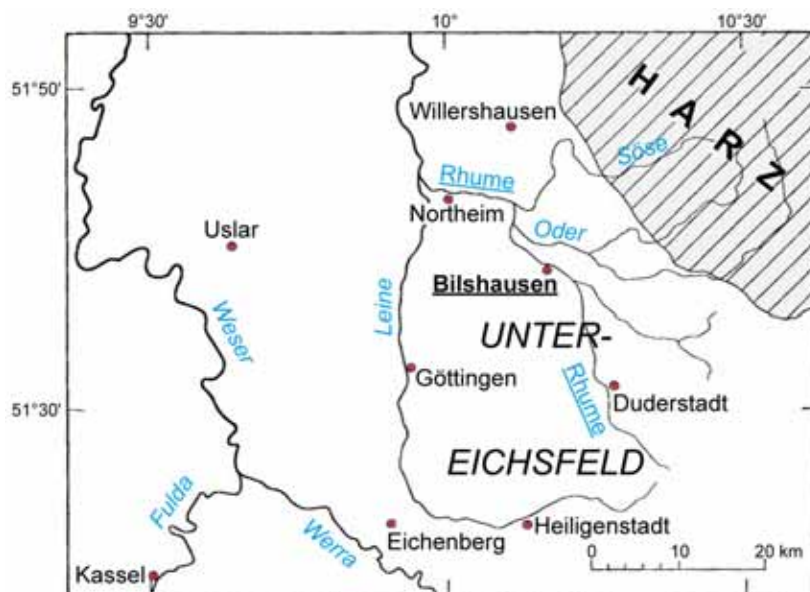


Abb. 6.50: Kartenskizze Unter-Eichsfeld, Bilshausen (verändert nach Chanda, 1962).

Aus dem Gebiet des Unter-Eichfeldes sind zahlreiche Senken mit pleistozäner Tonfüllung bekannt (Sobotha, 1923). Als Entstehungsursache dieser „Einsturz- oder Senkungsbecken“ (Chanda, 1962) werden Auslaugungsvorgänge während Tertiär und Quartär in Zechsteinsalzen diskutiert. Das Becken von Bilshausen grenzt nach Osten mit einer etwa eggisch (NNW-SSE) streichenden Störung an den mittleren Buntsandstein (Lüttig and Rein, 1954). Die sedimentologische Abfolge wird (vom hangenden zum Liegenden) wie folgt beschrieben (Tab. 6.24).

Tab. 6.24: Sedimentologische Abfolge in der Tongrube von Bilshausen, zusammengestellt nach Lüttig und Rein (1954), Chanda (1962), Averdieck und von der Brelie (1963), Müller (1965) und Müller (1992).

Sedimentologie	Referenz
jüngerer Löß 1+2	(Selzer, 1936)
Verlehmungszone	
älterer Löß 1+2	
Gerölllage <i>Bachablagerung</i>	(Selzer, 1936) (Bismarck, 1942)
T ₂ -Ton, grauer Schluff, <i>Gelckenbachtone</i>	(Bismarck, 1942) (Müller, 1992)
oberer roter Ton	
T ₁ -Ton, Kohleton, blaugrauer Ton	
Hellgrauer Ton	(Averdieck and von der Brelie, 1963)
unterer roter Ton	
graurosa Ton (mit humosen Einlagen) <i>rötliche, rötlich-graue und graue, Tone, Schluffe und Sande</i>	(Averdieck and von der Brelie, 1963) (Müller, 1965)
rötlicher und grauer Lehm mit Buntsandsteinstücken	(Müller, 1965)
Buntsandstein	

Die Bezeichnung Kohleton für die interglazialen Ablagerungen beruht auf der durch organische Bestandteile verursachten Dunkelfärbung der betreffenden Tone, nicht auf dem etwaigen Vorhandensein von Kohle. Nach den Beschreibungen in Chanda (1962) fallen die Schichten gegen Südosten ein, im T₂-Ton werden zum Beckenzentrum auskeilende Sandlagen, die dort von rotem, sandigem Ton verdrängt werden, erwähnt. Des Weiteren beschreibt Chanda (1962) in mehreren Profilen zwischen jüngerem Löß und T₂-Ton, jedoch ohne klare Zuweisung zu den in Tabelle 6.24 in diesem Bereich definierten Einheiten gelbe und rote Sande, rötlich-violette Tonbänder sowie mehrere Lehmlagen. Nach den in Chanda (1962) dargestellten Profilen scheinen die Schichten teils ineinander verzahnt. Eine in Averdieck und von

der Breille (1963) gemachte Gegenüberstellung zweier Bohrungen (1/53 und 2/56) lässt sich nur schwer mit einem „simply“ Schichteinfallen gegen Südosten in Einklang bringen und impliziert (nach Meinung des Verfassers der vorliegenden Dissertation), dass die Lagerungsverhältnisse komplexer sind und gegebenenfalls mit Störungen, Schichtlücken, Rutschungen oder wie schon erwähnt mit Verzahnungen und nicht aushaltenden Mächtigkeiten zu rechnen ist.

Die in jüngeren und älteren Löss untergliederten Lössen wurden von Selzer (1936) ins Weichsel/Würm- beziehungsweise Saale/Riß-Glazial gestellt. In Chanda (1962) wird die Verlehmungszone als „frei von strukturierten organischen Substanzen“ beschrieben und einem „niederschlagsreichen Interglazial“ zugeschrieben.

Der T₂-Ton und der obere rote Ton werden in Averdieck und von der Breille (1963) als kaltzeitlich eingestuft, die pollenfloristischen Untersuchungen von Chanda (1962) weisen im T₂-Ton zwei interstadiale Abschnitte aus. In Müller (1992) werden die, die oberen roten Tone überlagernden, (T₂-) Tone als Gelckenbachtone und die beiden von Chanda (1962) gefundenen Interstadiale als Gelckenbach-Interstadiale bezeichnet. Oberer roter Ton und Gelckenbachtone werden von ihm in die Frühelster (älter als das Elster-Pleniglazial) gestellt.

Lüttig und Rein (1954) stellen die gefundene (unvollständige) palynologische Abfolge des Kohletons ins Günz/Mindel- (Cromer-) Interglazial. Neben dem Verlauf der pollenfloristischen Entwicklung an sich verweisen sie insbesondere auf das Vorkommen von *Pinus haploxylon* (welches jedoch später weder von Chanda, 1962, noch von Müller, 1965, bestätigt werden konnte) zur Abgrenzung gegen Mindel/Riß (Holstein) oder jüngere Warmzeiten sowie auf das Fehlen beziehungsweise die unbedeutende Beteiligung von Tertiärelementen wie *Tsuga*, *Carya* oder *Pterocarya* zur Abgrenzung gegen den Tegelen- (und Waal-) Komplex. Chanda (1962) äußert jedoch Bedenken auf Grund seiner paläobotanischen Auswertungen und stellt auch eine Einstufung zu Eem oder Holstein zur Diskussion, räumt aber ein, dass seine, nur den obersten Abschnitt des Kohletons umfassenden Untersuchungen eine endgültige stratigraphische Einstufung nicht zulassen. Für ein altpleistozänes Alter des Kohletons von Bilshausen sollen nach Ausführungen in der zitierten Literatur auch zahlreiche Knochenfunde von Säugern sprechen. In Müller (1965) wird eine mündliche Mitteilung von Herrn Prof. Sickenberg (damals Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover) zitiert, in welcher die Artenzusammen-

setzung der gefundenen Fauna den Kohleton von Bilshausen älter als Holstein und jünger als Tegelen einordnet. Der hellgraue Ton im Liegenden des Kohletons zeigt hohe *Pinus*-Anteile und wird als „Vorwärmezeit“ gedeutet, der untere rote, sowie der graurosa Ton weisen kaltzeitliche Pollenvergesellschaftungen auf (Averdieck and von der Brelie, 1963).

Die erste palynologische Auswertung, welche den Kohleton in seiner gesamten Mächtigkeit, ohne Beprobungslücken erfasst stammt von Müller (1965). Seine Untersuchungen an einer 1962, bis zum anstehenden Buntsandstein bei 70,2 m Tiefe niedergebrachten Kernbohrung (1/62) (→ Abb. 10.25) umfassen neben dem Kohleton, den hellgrauen Ton an dessen Basis sowie das Hangendeste beziehungsweise das Liegendste von unterem, respektive oberem roten Ton. Im Kern 1/62 fällt der obere rote Ton 18°-25°, der Kohleton (bis auf zwei, später als Umlagerungen identifizierte Abschnitte mit 60°-70° Einfallen) um 20° (8°-30°) und der anstehende Buntsandstein etwa 10° ein. In Müller (1965) wird erstmals die von Lüttig und Maarleveld (1962) vorgeschlagene Bezeichnung „Rhume-Interglazial“ (nach dem gleichnamigen Flüsschen, → Abb. 6.50) für die Warmzeit von Bilshausen verwendet. Müller (1965) unterteilt sein Pollendiagramm in 12 Pollenzonen (LPAZ a-l), wobei LPAZ a dem unteren roten Ton, LPAZ b dem hellgrauen Ton, LPAZ c-k dem Kohleton und LPAZ l dem oberen roten Ton zugehören. In Pollenzone i vermutet er auf Grund von stark wechselndem Schichteneinfallen Störungen. In Bittmann und Müller (1996) ist ein diesbezüglich umgezeichnetes Pollendiagramm der Bohrung 1/62 veröffentlicht. In einer 1978 abgeteuften Bohrung (1/78) war Pollenzone i ungestört überliefert (Müller, 1992). Außerdem wird in Bohrkern 1/78 im Bereich des so genannten Lindenfalls (LPAZ Grenze h/i) („just at the level of the sudden decrease of *Tilia pollen*“) eine 4 mm mächtige Tephra und ein „unmittelbar“ hangend zur Tephra lagernder „Turbidit“ beschrieben. Die PAZ-Grenze f/g ist in Müller (1992) etwas anders gezogen (entgegen der ursprünglichen Definition der betreffenden Pollenzonengrenze in Müller, 1965) als in den Veröffentlichungen Müller (1965), beziehungsweise Bittmann und Müller (1996). In Müller (1992) und Müller (1979) wird LPAZ a durch drei (jeweils auf eine Dauer von 2500-3000 Jahren taxierte, durch Stadialphasen von je etwa 1000 Jahren separierte) prähumezeitliche Interstadiale aus Befunden der Bohrung 1/62 ersetzt. Das älteste dieser Interstadiale ist nach Müller (1979) invers magnetisiert. Anhand paläomagnetischer Untersuchungen an

Bohrkern Bilshausen 1/62 folgert Fromm (1994) jedoch: „Der gesamte Bohrkern stammt demnach aus der Brunhes-Epoche und das Rhume-Interglazial repräsentiert daher eines der jüngeren Cromer-Interglaziale“.

Abbildung 6.51 zeigt das, die Pollenzonen c-I umfassende, Pollenprozentwertdiagramm der Kernbohrung 1/78 (Müller, 1992). Dabei ist die PAZ-Grenze f/g, wie sie von Müller (1965) ursprünglich definiert wurde (und so auch in Bittmann, 1996, wiedergegeben ist) rot eingetragen. Tabelle 6.25 gibt die palynologischen Charakteristika von Müllers Pollenzonengliederung (ohne prä-, beziehungsweise postrhumezeitliche Interstadiale) stichpunktartig und in leicht abgewandelter Form (insbesondere die Pollenzonengrenzen betreffend) wieder. Die detaillierten Beschreibungen der Pollenzonen und deren ursprünglich definierten Abgrenzungen untereinander sind im Originaltext (Müller, 1965) nachzulesen.

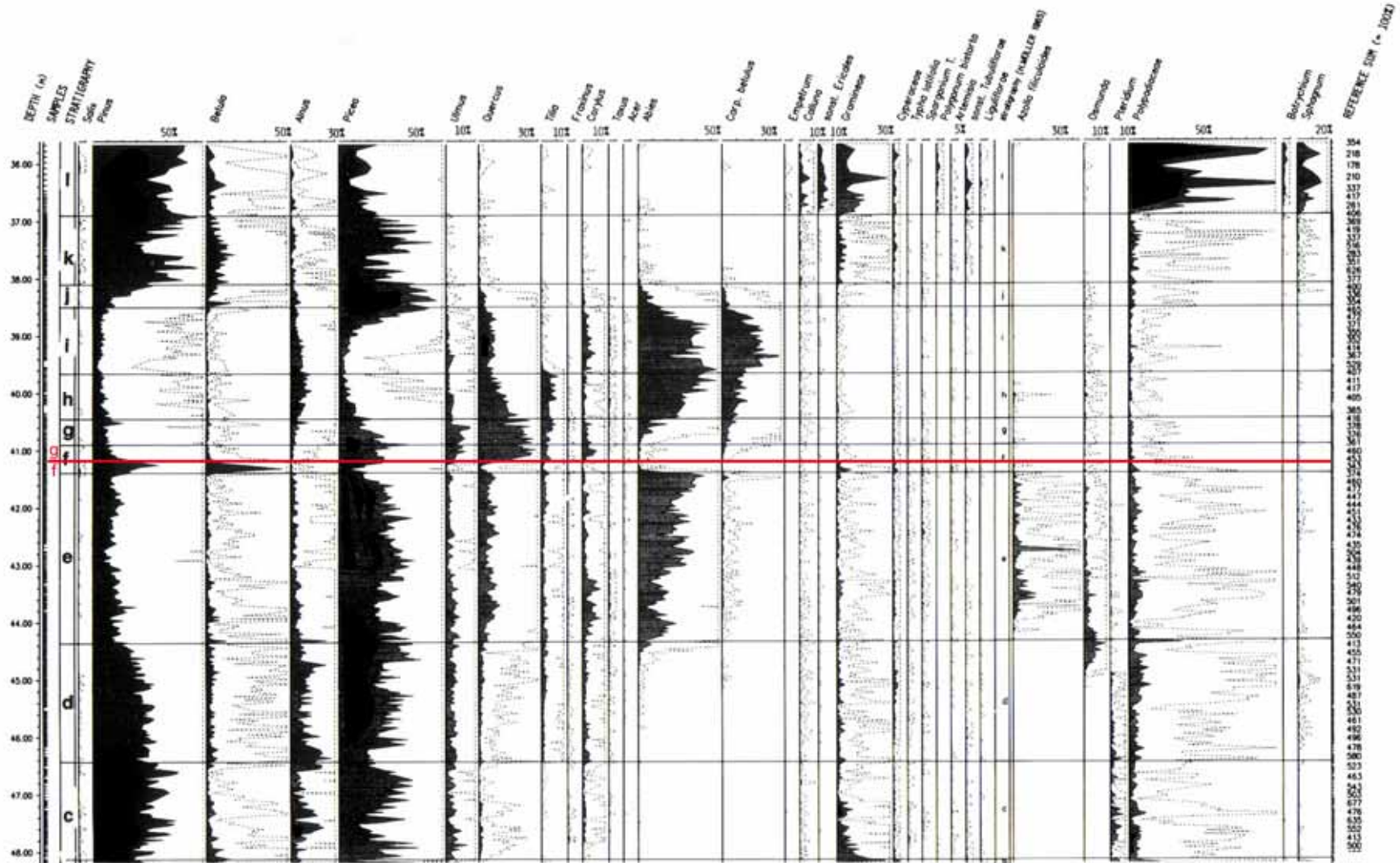


Abb. 6.51: Pollenprozentwertdiagramm der Kernbohrung 1/78 (Müller, 1992). Die Pollenzonegrenze f/g entsprechend ihrer ursprünglichen Definition nach Müller (1965) ist rot eingetragen.

Tab. 6.25: Palynologische Gliederung des Rhume-Intergazials (Kohleton) nach Müller (1965, 1992) (NBP: Nichtbaumpollen, EMW: Eichenmischwald). Sämtliche Deskriptiven beziehen sich auf die Pollenprozentwerte.

		PAZ
oberer roter Ton	l	<u>Tundren-Zeit</u> NBP dominieren, hohe Pteridophyten-Werte, Ericaceae, <i>Sphagnum</i> Grenze PAZ k/j: Anstieg NBP
K O H L E T O N	k	<u>Fichten-Birken-Kiefernzeit</u> <i>Pinus-Betula-Picea</i> -Dominanz Grenze PAZ j/k. Aussetzen der Thermophilen (<i>Quercus</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Abies</i> , <i>Carpinus</i>)
	j	<u>Fichtenzeit</u> <i>Picea</i> -, <i>Pinus</i> -, <i>Betula</i> -Anstiege, Rückgänge bei <i>Quercus</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Azolla</i> fehlt ab einschließlich PAZ j Grenze PAZ i/j: Steilanstieg <i>Picea</i>
	i	<u>Eichen-Tannen-Hainbuchenzeit</u> <i>Carpinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Abies</i> , <i>Alnus</i> , Grenze PAZ h/i: Lindenfall
	h	<u>Tannen-Hainbuchen-Eichenmischwaldzeit</u> steiler Wiederanstieg von <i>Abies</i> , Anstieg von <i>Carpinus</i> , Rückgang von <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i> Grenze PAZ g/h: starker <i>Abies</i> -Anstieg,
	g	<u>Eichenmischwaldzeit</u> beginnender <i>Carpinus</i> –Anstieg Grenze PAZ f/g: Steilanstieg von <i>Quercus</i>
	f	<u>Birken-Kiefern-Vorstoß</u> zeitweilige „Einbrüche“ bei allen thermophilen Gehölzen, „Rückschlag“ bei <i>Abies</i> , oberhalb PAZ f tritt <i>Tilia cordata</i> gegenüber <i>Tilia platyphyllus</i> zurück Grenze PAZ e/f: Steilanstiege von <i>Betula</i> und <i>Pinus</i> starker Rückgang von <i>Abies</i>
	e	<u>Fichten-Tannen-Eichenmischwaldzeit</u> <i>Abies</i> und <i>Quercus</i> Anstiege, geschlossene <i>Carpinus</i> -Kurve, neben <i>Tilia cordata</i> , auch <i>Tilia platyphyllus</i> und evtl. <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Azolla filiculoides</i> Grenze PAZ d/e: Beginn geschlossene <i>Carpinus</i> -Kurve, <i>Quercus</i> und <i>Abies</i> –Anstieg, Erscheinen von <i>Azolla filiculoides</i>
	d	<u>späte Ulmen-Fichten-Kiefernzeit</u> <i>Pinus</i> , <i>Picea</i> , <i>Alnus</i> , <i>Ulmus</i> , geschlossene <i>Tilia</i> -Kurve; <i>Pteridium</i> Erscheinen von <i>Carpinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Osmunda</i> (<i>Osmunda</i> -Maximum) ausschließlich <i>Tilia cordata</i> , Grenze PAZ c/d: Beginn geschlossene <i>Tilia</i> -Kurve
	c	<u>frühe Ulmen-Fichten-Kiefernzeit</u> <i>Pinus</i> , <i>Picea</i> , <i>Alnus</i> , <i>Ulmus</i> ; <i>Pteridium</i> starke Schwankungen der relativ hohen NBP-Anteile Grenze PAZ b/c: Σ <i>Ulmus</i> , <i>Picea</i> , <i>Alnus</i> > NBP
	hellgrauer Ton	b
unterer roter Ton	a	<u>Waldfreie Zeit</u> NBP-Dominanz, daneben <i>Betula cf. nana</i> und <i>Pinus</i> Tertiärelemente und Palynomorphen älterer Formationen

Auf Grund seiner pollenfloristischen Untersuchungen kommt Müller zu der Folgerung, dass die von Chanda (1962) zur Diskussion gestellten eem- oder holsteinzeitlichen Einstufungen auszuschließen sind. Er folgt jedoch der Einschätzung von Lüttig und Rein (1954), dass das warmzeitliche Fehlen von *Carya*, *Eucommia*, *Tsuga*, das vernachlässigbare Auftreten von *Pterocarya*-Pollen und das Fehlen des *Pinus haploxylon*-Typ (im Gegensatz zu den Bestimmungen von Lüttig und Rein, 1954, aber in Übereinstimmung mit den Bestimmungen von Chanda, 1962) eine Korrelation von Rhume mit Waal oder Tegelen ausschließt. Außerdem verweist Müller auf eine vegetationsgeschichtliche Außergewöhnlichkeit der Rhume-Warmzeit. Entgegen der (in der vorliegenden Arbeit in Kapitel 6.1.5. vorgestellten) Interglazialgliederung fehlt eine, das Interglazial einleitende, von *Betula* und *Pinus* dominierte, so genannte *pre-temperate zone* nach Turner und West (1968), wie sie im Holstein, Eem oder Holozän zu finden ist.

Müller (1965) erbringt den palynologischen Nachweis, dass die Lamination des Kohletons auf eine jahreszeitliche Schichtung (Warvung) zurückgeht. Dabei gliedert er die Warven in eine dunkelbraune humose, eine gelblich schluffige und eine hellgrau tonige Lage, wobei letztere nicht immer klar trennbar sind. Die Sedimentation der schluffig(siltig)/tonigen Lagen stellt er in den Vorfrühling, den Wechsel von humosen zu den schluffig(siltig)/tonigen Lagen legt er in den Spätherbst oder Winter. Seine aus Warvenzählungen und Interpolationen resultierenden Schätzungen für die Dauer der einzelnen Pollenzonen sind in Tabelle 6.26 wiedergegebenen. Dabei differieren die in Müller (1965) publizierten und die aus Figur 5 in Müller (1979) zu entnehmenden Werte nur leicht, jedoch beträchtlich von denen in Müller (1992) veröffentlichten (leider nicht ausdrücklich auf die Pollenzonen bezogenen) Angaben. Die Abschätzung der Gesamtdauer des Interglazials wird dabei mit jeder der zitierten Publikationen geringer. Außerdem fällt auf, dass die Mächtigkeiten der Pollenzonen, wie in den Kernen 1/62 und 1/78 ausgewiesen, vor allem in PAZ c und e deutlich verschieden sind.

Tab. 6.26: Pollenzonen des Rhume-Interglazials und ihre Dauer nach Müller (1965, 1979, 1992). Die direkt der Literatur entnommenen PAZ-Dauern sind fett, aus diesen Werten abgeleitete PAZ-Dauern normal gedruckt. Zusätzlich sind die Mächtigkeiten (M), sowie die resultierenden durchschnittlichen Sedimentationsraten aufgeführt. (PAZ: *pollen assemblage zone*, o. r. T.: oberer roter Ton, u. r. T.: unterer roter Ton, hg. T.: hellgrauer Ton,)

o. r. T.	P A Z	Müller (1965)	Müller (1979)	Müller (1992)	1/62		1/78		durchschnittliche Sedimentationsrate [mm/a]					
		Dauer [a]			Teufe [m]	M [cm]	Teufe [m]	M [cm]	1/62			1/78		
		1965	1979	1992	1965	1979	1992	1965	1979	1992				
o. r. T.	l	> 650	-	-	<7,00 - 8,55	> 155	< 36,90 -	-	2,39	-	-	-	-	-
K O H L E T T O N	k	2200	2250	2200	8,55 - 9,50	95	36,90 - 38,15	125	0,43	0,42	-	0,57	0,56	-
	j	1000	1000	3400	9,50 - 9,85	35	38,15 - 38,45	30	0,35		-	0,30		-
	i	6000 - 14000	9000		9,85 - 12,50	gestört	38,45 - 39,65	120	Gestört			-	0,13	-
	h	1200	1500	3000 - 4000	12,5 - 12,90	40	39,65 - 40,45	80	0,33	0,27	-	0,67	0,53	-
	g	1800	2000	4000 - 5000	12,90 - 13,55	~35 65	40,45 - 41,20	45 75	0,36	0,33	-	0,42	0,38	-
	f	400	500	2000 - ~1000	~13,25 13,55 - 13,70	~45 15	40,90 41,20 - 41,40	50 20	0,38	0,30	0,23 0,15	1,25 0,50	1,00 0,40	0,25 0,2
	e	4000	3250	5000 - 6000	13,70 - 15,50	180	41,40 - 44,40	300	0,45	0,55	0,30 - 0,36	0,75	0,92	0,50 - 0,60
	d	6000	6000	9000	15,50 - 17,25	175	44,40 - 46,40	200	0,29		-	0,33		-
	c	4500	4750		17,25 - 21,55	430	46,40 - 48,20	180	0,96	0,91	-	0,4	0,38	-
	hg. T.	b	-	500	-	21,55 - 22,10	55	> 48,2	-	-	-	-	-	1,1
u. r. T.	a	-	-	-	> 22,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Dauer und wahre Mächtigkeit von Pollenzone i in Bohrung 1/62 sind auf Grund der erwähnten Störungen unbestimmt und in obiger Tabelle daher kursiv ausgehalten. Die Pollenzonengrenzen sind für Bohrung 1/78 aus dem entsprechenden Pollendiagramm (Müller, 1992) entnommen. Die zeitlichen Angaben sind in Müller (1992) ohne präzise Zuordnung zu den Pollenzonen und ohne Kommentierung der neuerlichen Werte aufgeführt. Bei Kern 1/78 ist PAZ-Grenze f/g, wie sie in den Abbildungen von Müller (1992) gezogen wurde in kursiv und rot, der von Müller (1965) ursprünglich definierten PAZ f/g Grenze (schwarz) (→ Tab. 6.25) gegenübergestellt.

Basierend auf den Warvenzählungen ist in Müller (1992) ein *Influx*-Diagramm der Rhume-Warmzeit veröffentlicht (Abb. 6.51), sowie jeweils Detailausschnitte aus Pollenprozentwert- und *Influx*diagrammen aus den Bereichen des Birken-Kiefern Vorstoßes und des Lindenfalls (Abb. 6.52 und Abb. 6.53). Wie in Abbildung 6.50, wurde auch hier die ursprünglich definierte PAZ-Grenz f/g rot nachgetragen, sowie die im Diagramm nach Müller (1992) falsch eingezeichnete PAZ-Grenze d/e korrigiert.

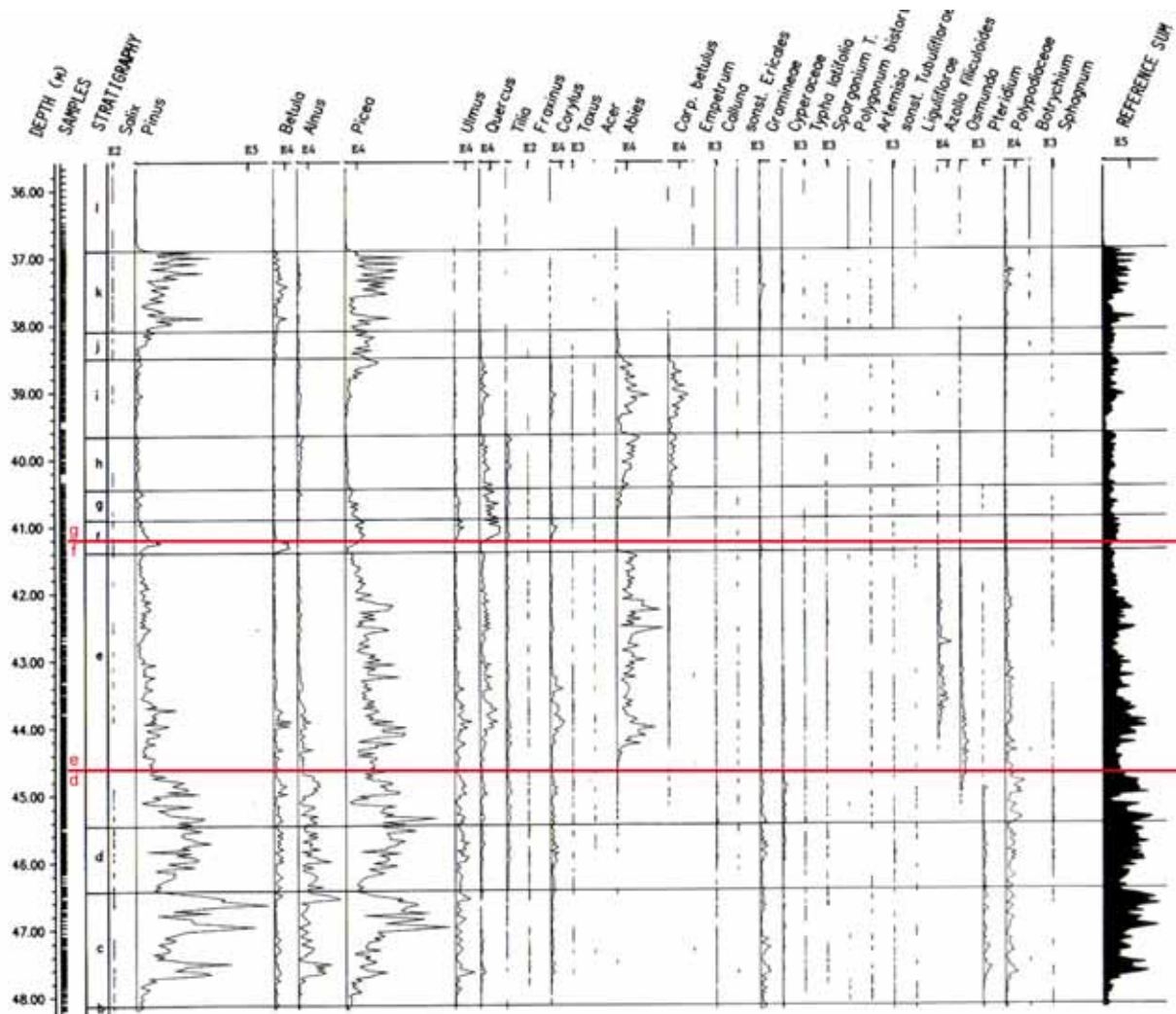


Abb. 6.52: Pollen*influx*diagramm der Bohrung 1/78, Rhume-Interglazial (Müller, 1992). Die Pollenzonengrenze f/g, entsprechend ihrer ursprünglichen Definition nach Müller (1965), und die korrigierte PAZ-Grenze d/e sind rot eingetragen. Die *Influx*-verläufe der einzelnen Taxa entsprechen, bis auf den liegenden Abschnitt von Pollenzone i, den Prozentwertkurven (→ Abb. 6.51).

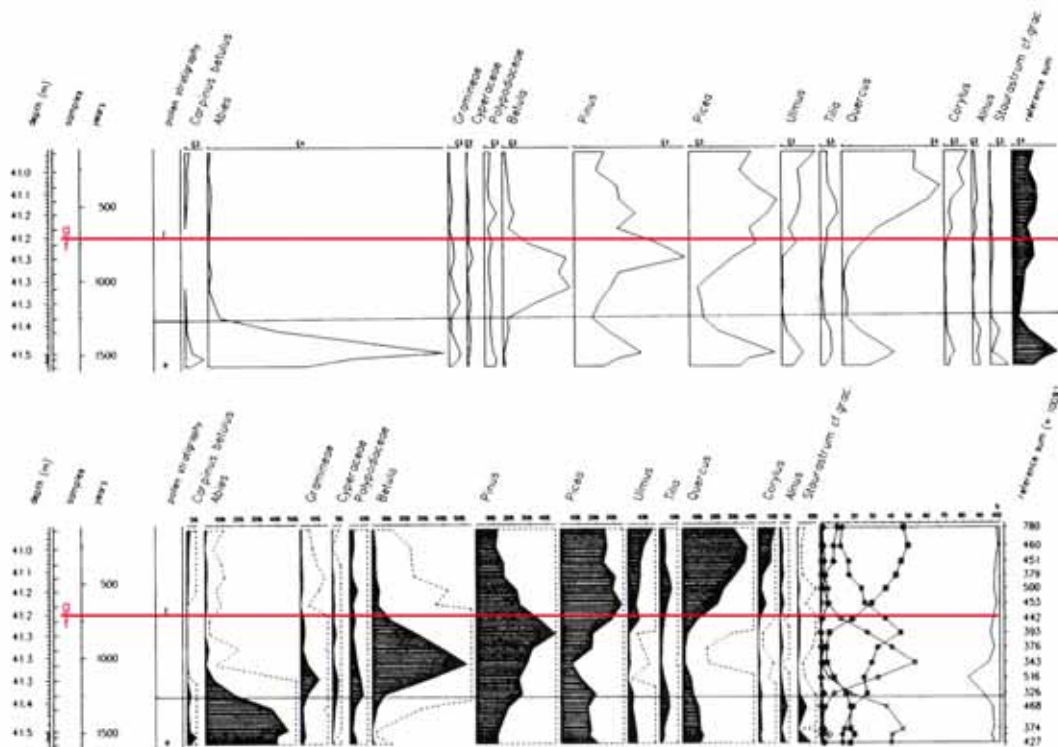


Abb. 6.53: Polleninflux- und Pollenprozentwertdiagramm aus dem Bereich des Birken-Kiefern-Vorstoßes (PAZ f) während des Rhume-Interglazials (Müller, 1992). Die PAZ-Grenze f/g, nach ihrer Definition in Müller (1965), ist rot eingetragen.

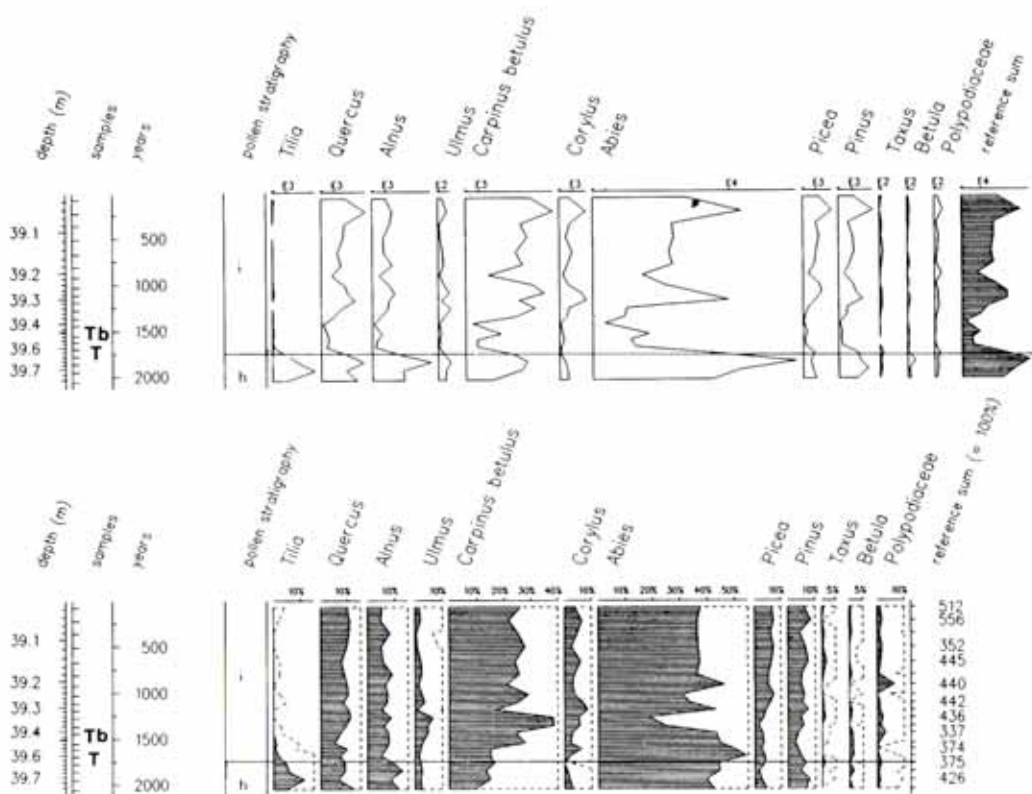


Abb. 6.54: Polleninflux- und Pollenprozentwertdiagramm aus dem Bereich des Lindenfalls (PAZ-Grenze h/i) während des Rhume-Interglazials (Müller, 1992). Tb: Turbidit, T: Tephra.

Während der Zeit des Birken-Kiefern-Vorstoßes steigen die Prozentwertkurven von *Pinus* kontinuierlich an, während die *Influx*werte von *Pinus* ein Minimum durchlaufen und erst gegen Ende von PAZ f ansteigen. Der Anstieg von *Pinus* während PAZ f rührt also vom relativen Miteinander der *Influx*verläufe aller beteiligten Taxa und nicht vom absoluten *Pinus*-Verlauf. Bei *Betula* ist der *Influx*gipfel länger ausgebildet als das Prozentwertmaximum. Die Prozentwert- und *Influx*verläufe der restlichen Taxa außer *Abies* verlaufen etwa phasengleich. Sie zeigen ein Minimum in PAZ f und einen Wiederanstieg gegen Pollenzonegrenze f/g. Von Müller (1965, 1979, 1992) wird ein „Klimarückschlag“ als Ursache angenommen. Allerdings zeigen in Müller (1962) dargestellte Warvendicken, wie auch die nach Tabelle 6.26 ermittelten Sedimentationsraten, keinerlei Auffälligkeiten während dieser Periode.

Zur Zeit des Lindenfalles, im Bereich der Tephrenlage, ergeben sich in den Pollen*influx*diagrammen (maximal etwa 500 Jahre andauernde) Minima bei allen Taxa, die sich danach aber unterschiedlich, im Extremfall bei *Tilia* gar nicht, erholen. Diese Beobachtung deutet auf eine, zumindest nicht primär klimatisch gesteuerte Zäsur zu dieser Zeit. Die gefundene Tephrenlage bietet einen Erklärungsansatz, wenn auch unklar bleibt wie genau ein etwaiges, vulkanisches Ereignis hier auf die Vegetation Einfluss genommen haben könnte. Aus den Pollendiagrammen ergeben sich keinerlei Anhaltspunkte für eine Lichtung des Waldbestandes oder eine, einer Naturkatastrophe folgende, Pioniervegetation. Dies und die Geringmächtigkeit der Tephra sprechen für eine indirekte Einflussnahme der zugehörigen Eruption auf die Vegetation.

6.4.2. Bilshausen – Material

Die DEKLIM-Kernbohrung Bilshausen 1 (BI 1) wurde am nördlichen Westrand der Tongrube bei Bilshausen bis in eine Teufe von 50 m niedergebracht (Abb. 6.55). Vorrangiges Ziel der Bohrung war anhand neuer, mikroskopisch an Dünnschliffen auszuführender Warvenzählungen die Dauer des Interglazials zu verifizieren und dessen absolute Altersstellung zu bestimmen.

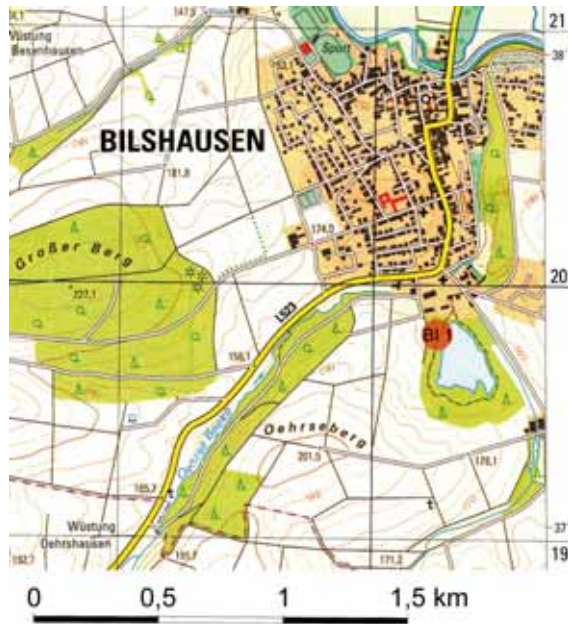


Abb. 6.55:

Ausschnitt aus der TK 4326, Kaltenburg-Lindau, mit Lage der Kernbohrung BI 1 am nördlichen Westrand der ehemaligen Tongrube (155 m NN).

Der Bohrkern BI 1 (→ Abb. 10.26) besteht bis 1,84 m Teufe aus hellbraun-beigen, tonigen Silten. Darunter folgt eine etwa 75 cm mächtige, massige, tonige Mudde mit Holzresten. Zwischen 2,60-4,10 m folgt ein olivgrüner, siltiger Ton mit Einschaltungen von Sand, Kies und Steinen im Liegenden. Bis zu einer Teufe von 34 m lagern dann rote, teils siltige Tone mit Einschaltungen von Sanden, die oft Hellglimmer und Holzflitter führen. Bis etwa 31 m Teufe sind diese Sande rot, darunter beige-braun gefärbt. Im Liegenden des Kernmeters 33-34 m setzt der Übergang von rotem oberem Ton zum Bilshausener Kohleton ein, der bis 44,50 m Teufe reicht. Beginnend ab etwa 42,40 m Teufe ist der Kohleton schwach kalkhaltig (HCI-Test). Abbildung 6.56 zeigt den Teufenbereich 33-46 m. Die im Folgenden beschriebene sedimentologische und palynologische (→ 6.4.3., → 6.4.4.) Kernstratigraphie ist bereits mit vermerkt.

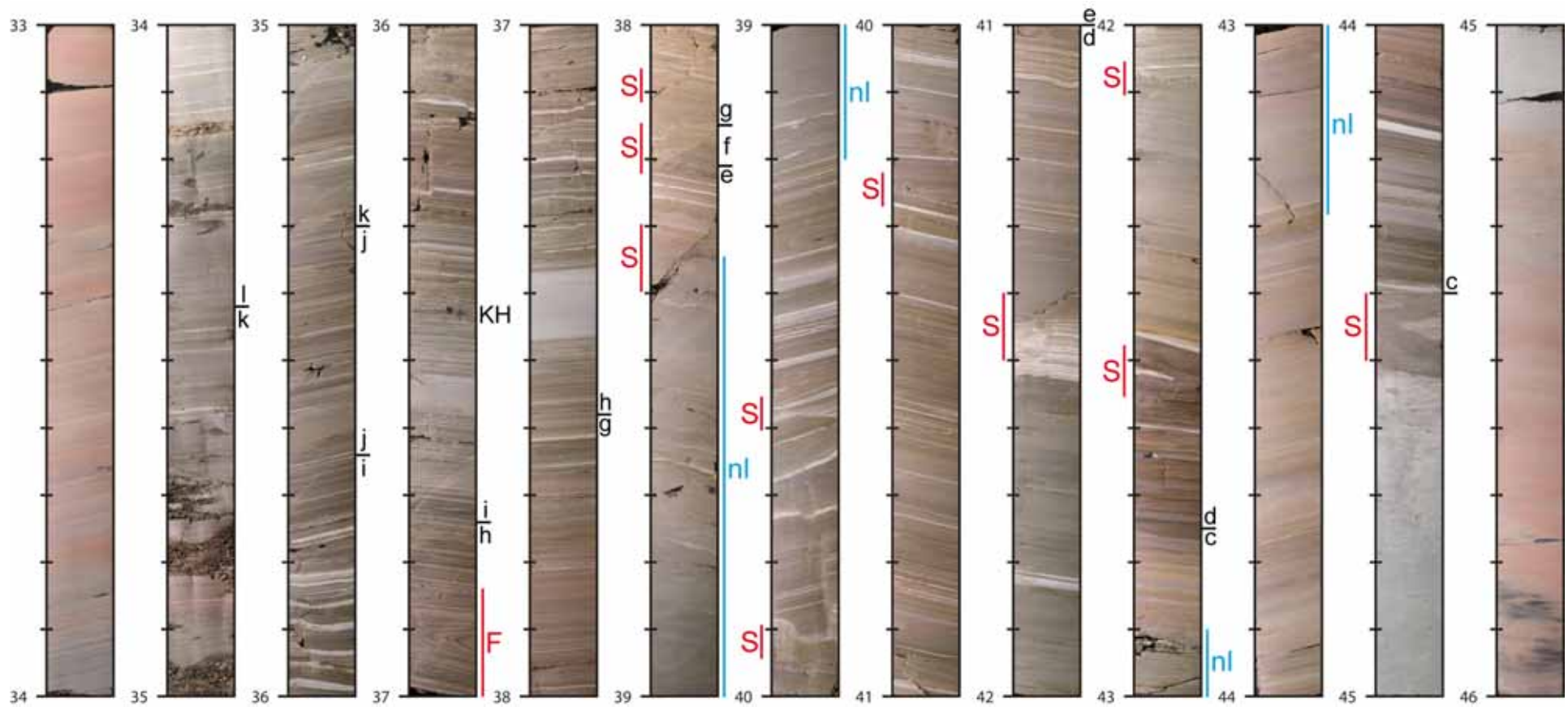


Abb.6.56: Bereich des Kohletons in Kern BI 1. Teufenskala: [m], KH: Konkretionenhorizont, F: Faltung, S: Störung, nl: nicht laminiert, c-l: Pollenzonengrenzen.

Der Kohleton weist, teils auffällig mächtige, graue, tonige Lagen auf (im Folgenden vereinfachend als Tonbänder bezeichnet) und ist, bis auf zwei Abschnitte, zwischen 38,35-39,20 m Teufe und 42,90-43,28 m Teufe, laminiert. Die Lamination fällt meist etwa 5° ein. Bei 36,42-36,45 m Teufe finden sich einzelne, bis grobkiesgroße Verhärtungen. Dieser Lage wird im Folgenden als Konkretionshorizont (KH in Abbildung 6.56) bezeichnet.

Um 36,90 m Teufe zeichnen die Laminae eine spitze Falte nach (→ Abb. 6.66). In den Dünnschliffen sind in diesem Bereich (bis etwa 36,30 m Tiefe) isoklinale Faltungen, Boudins und Störungen in der Lamination erkennbar. Anhand der Dünnschliffe konnte mikroskopisch eine sich schon am Bohrkern andeutende zweite Falte nachgewiesen werden da einzelne Laminae/-abfolgen dreimal identifiziert werden konnten. Demnach ist der Teufenbereich von etwa 36,80 m bis etwa 37,10 m (nahezu) isoklinal verfaltet und wird von zwei Großfalten geprägt. Anhand des Laminations-/Warvenaufbaus und auf Grund der (zwischen den Faltenachsen inversen) Gradierung innerhalb klastischer Laminae erscheint dabei der Bereich zwischen den beiden Faltenachsen überkippt. Insgesamt ergibt sich das Bild einer duktilen Scherzone, wobei die Scherhorizonte jedoch nicht klar auszumachen sind.

Neben zahlreichen kleineren, die Stratigraphie nicht, oder nur unwesentlich beeinflussenden Unstetigkeiten (Boudins, Störungen, abreißende Laminae) in der Schichtung (Abb. 6.57, Abb. 6.58), finden sich zwischen 38,00-38,40 m (Abb. 6.59), bei 39,58 m und um 39,95 m Tiefe (Abb. 6.60), um 40,26 m (Abb. 6.61), um 41,40-41,50 m Teufe (Abb. 6.62), um 42,08 m (Abb. 6.63) und 42,50 m Tiefe deutliche Störungen (Abb. 6.64) bei denen von Hiatae und/oder Umlagerungen ausgegangen werden muss. Zwischen 44,40-44,50 m Tiefe ist der Kohleton verwürgt/verfaltet (Abb. 6.65).

Zwischen 44,50-45,15 m Teufe lagert grauer Ton. Darunter folgen, teils kalkige, rötlich-graue, siltige Tone und unterhalb eines Kernverlustes bei 49,30-49,90 m Tiefe nochmals 10 cm grauer Silt. Tabelle 6.27 gibt eine detaillierte Kernbeschreibung.

Eine Tephralage, wie in Müller (1992) beschrieben, konnte nicht gefunden werden.

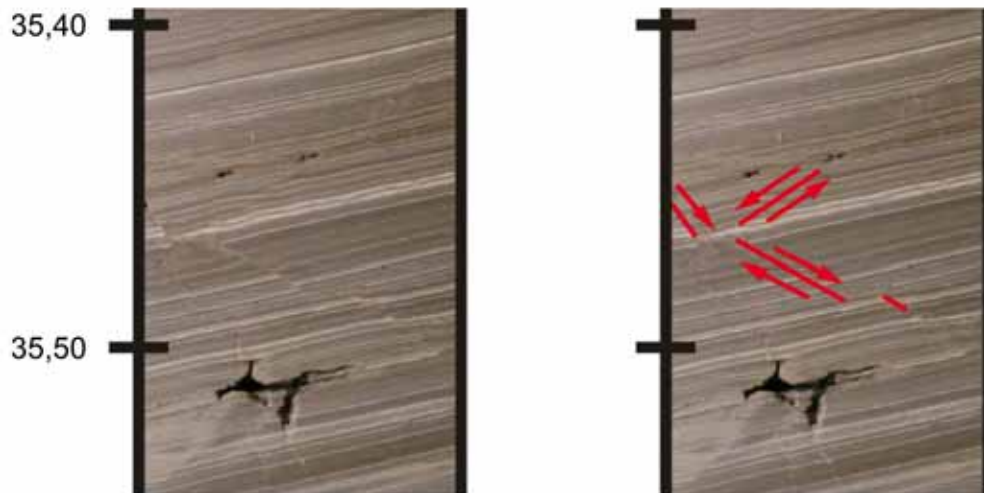


Abb. 6.57: Kern BI 1, 35,40-35,50 m Teufe. Spröde Abschiebungen mit Grabenstruktur und Versätzen im Millimeterbereich; ohne stratigraphische Relevanz.

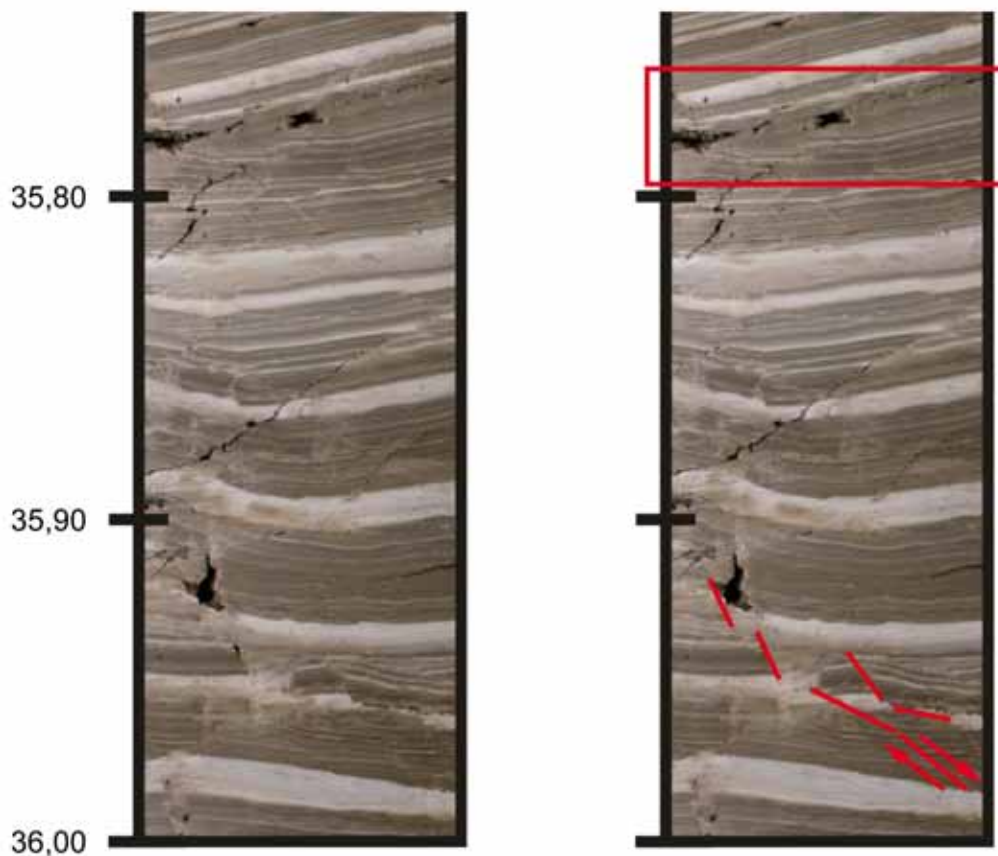


Abb. 6.58: Kern BI 1, 35,80-36,00 m Teufe; graue Tonlagen. Im tieferen Kernbereich „halb“spröde Abschiebungen mit stratigraphisch unsignifikanten Versätzen. Im oberen Kernabschnitt ein Bereich mit Wechsel im Einfallen der Lamination, jedoch ohne klar erkennbares Abreißen der Schichtung; potentieller Hiatus.

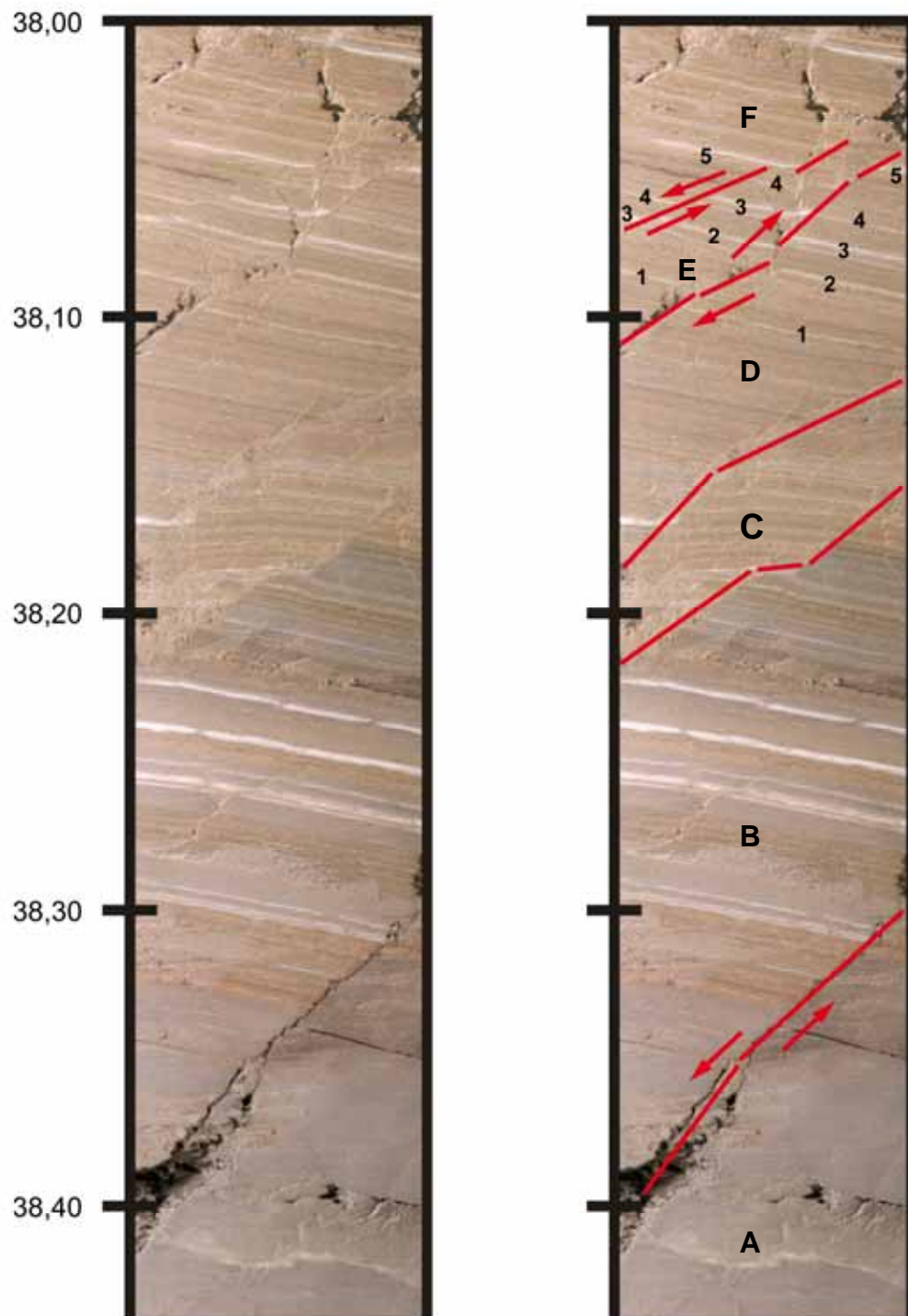


Abb. 6.59: Kern BI 1, 38,00-38,40 m Teufe. Spröde Störungen. Bei Störung D/E handelt es sich um eine Aufschiebung (wobei Block E auszuweichen scheint) bei den Störungen A/B und E/F um Abschiebungen; vertikale Versätze im mm-cm Bereich. Bei den Störungshorizonten B/C und D/C lässt sich der Bewegungssinn nicht identifizieren, da keine sich entsprechenden Laminae gefunden werden können, was Versätze im Dezimeterbereich und entsprechende Hiatae vermuten lässt. Die Laminae in Block C setzen sich farblich von denen in Block B ab und zeigen ein anderes Einfallen als in den Blöcken B und D.

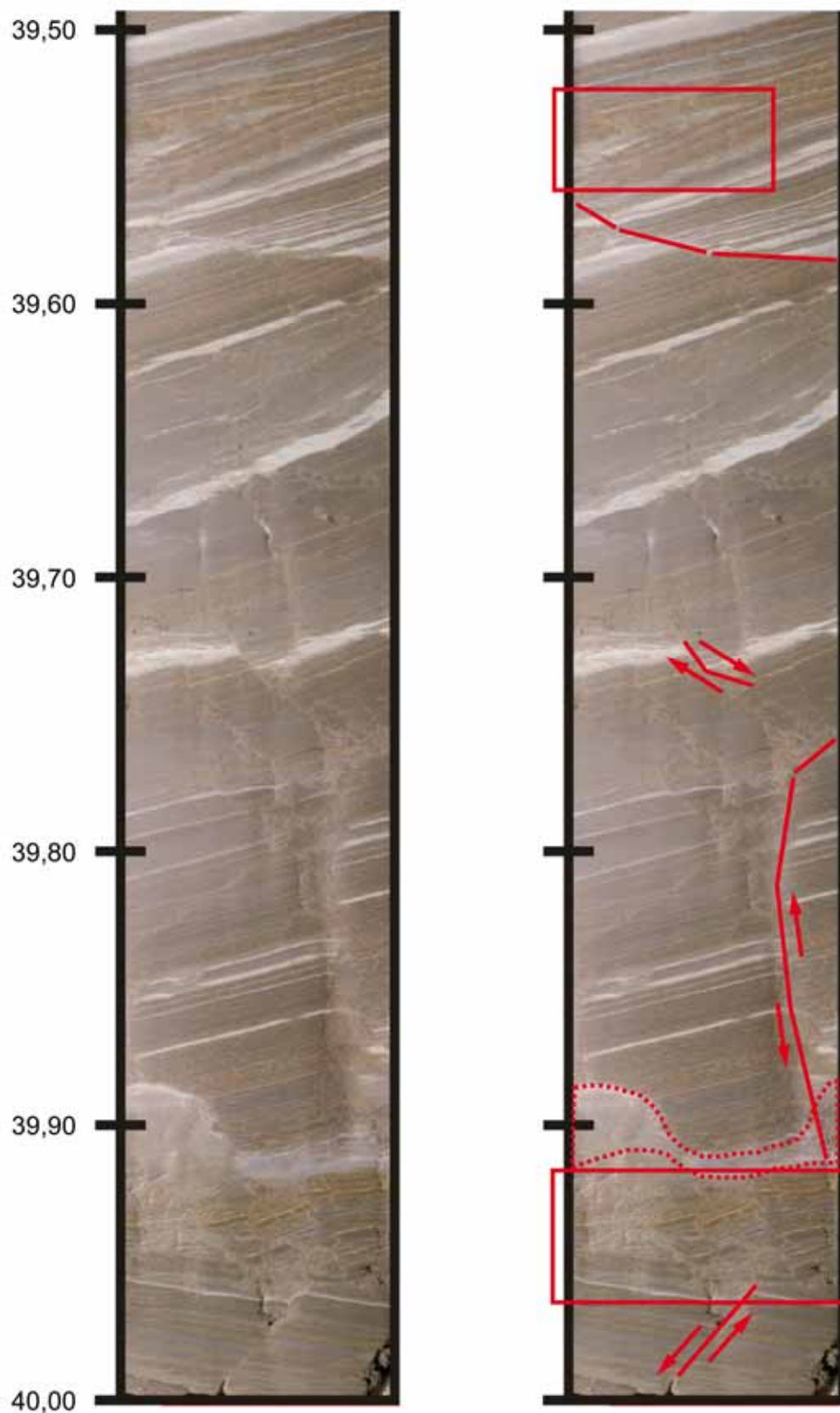


Abb. 6.60: Kern BI 1, 39,50-40,00 m Teufe. Mehrfach gestörter Kernbereich. Zwischen 39,50-39,60 m verläuft eine etwa horizontal angeschnittene spröde Störungsfläche, die einen Hiatus anzeigt. Unmittelbar darüber deutet eine auskeilende, von den umgebenden Laminae quasi „umflossen“ Lage duktile Verformung

an. In der rechten unteren Kernhälfte ist eine etwa senkrecht stehende Störung erkennbar. Um 39,90 m ist eine helle, tonige Lage (rot gestrichelt), unterhalb derer die Laminae auf einigen Zentimetern verbogen und zerrüttet sind, stark deformiert. Die Lamination unterhalb 39,95 m Teufe fällt entgegen der oberhalb 39,92 m Teufe ein. Auch hier ist mit einer stratigraphisch signifikanten Störung zu rechnen.

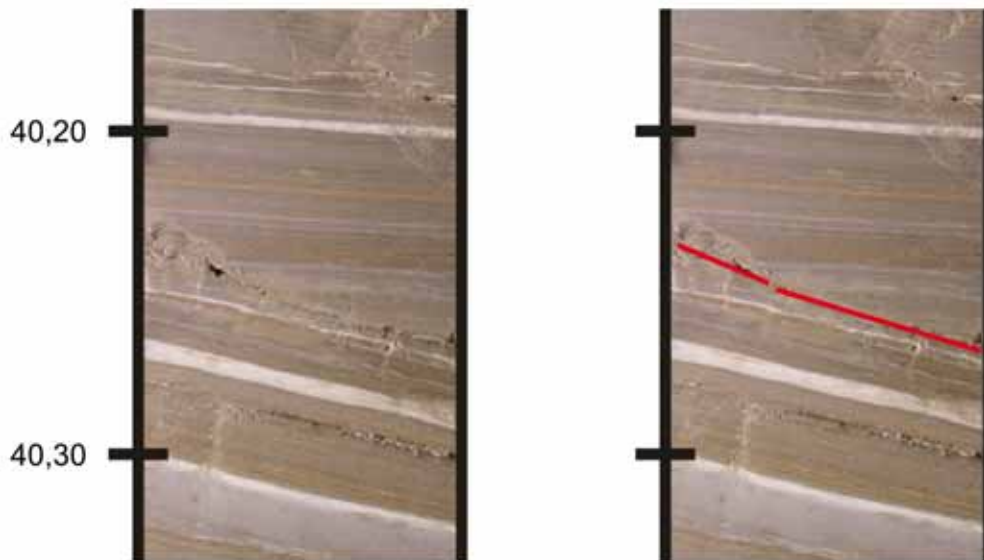


Abb. 6.61: Kern BI 1, 40,20-40,30 m Teufe. Spröde Störung, unidentifizierbaren Bewegungssinns. Abrupter Wechsel im Einfallen der, entlang der Diskordanzfläche „abgeschnittenen“, Lamination. Stratigraphisch als Hiatus relevant.

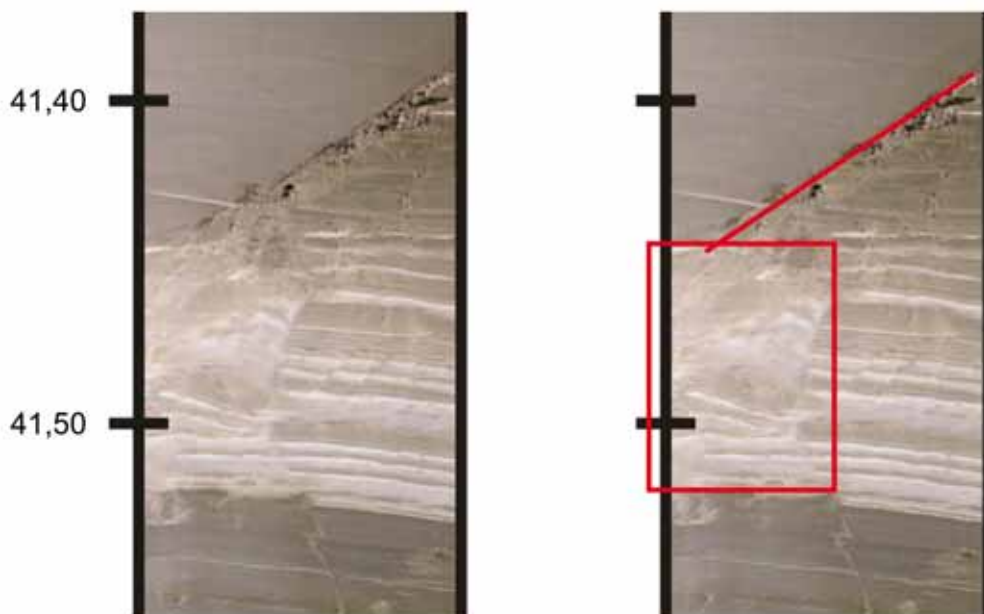


Abb. 6.62: Kern BI 1, 41,40-41,50 m Teufe. Spröde Störung mit teils plastischen Verformungen im von Tonlagen geprägten Liegenden; vermutlicher Hiatus. In Tabelle 6.27 sind die Tonlagen vereinfachend als ein Tonband ausgewiesen.

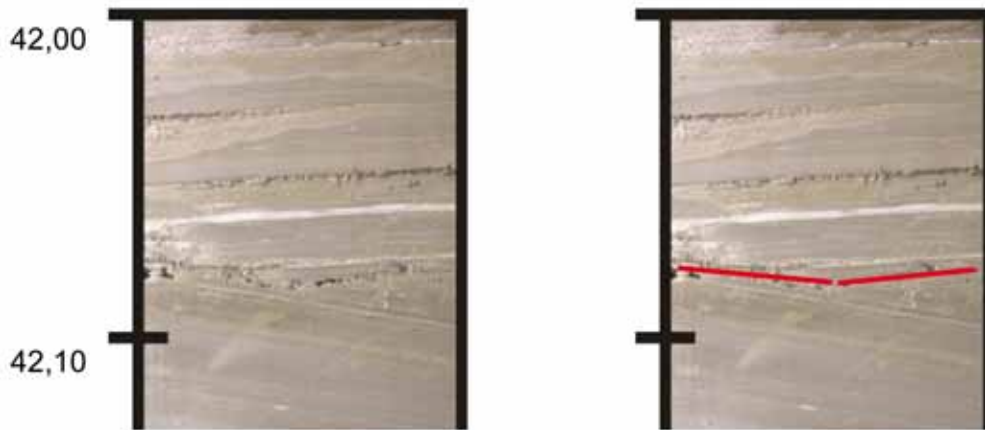


Abb. 6.63: Kern BI 1, 42,00-42,10 m Teufe. Durch einen un stetigen Wechsel des Einfallswinkel der Schichtung definierbare, einen Hiatus implizierende, spröde Störung (Bewegungssinn nicht erkennbar).

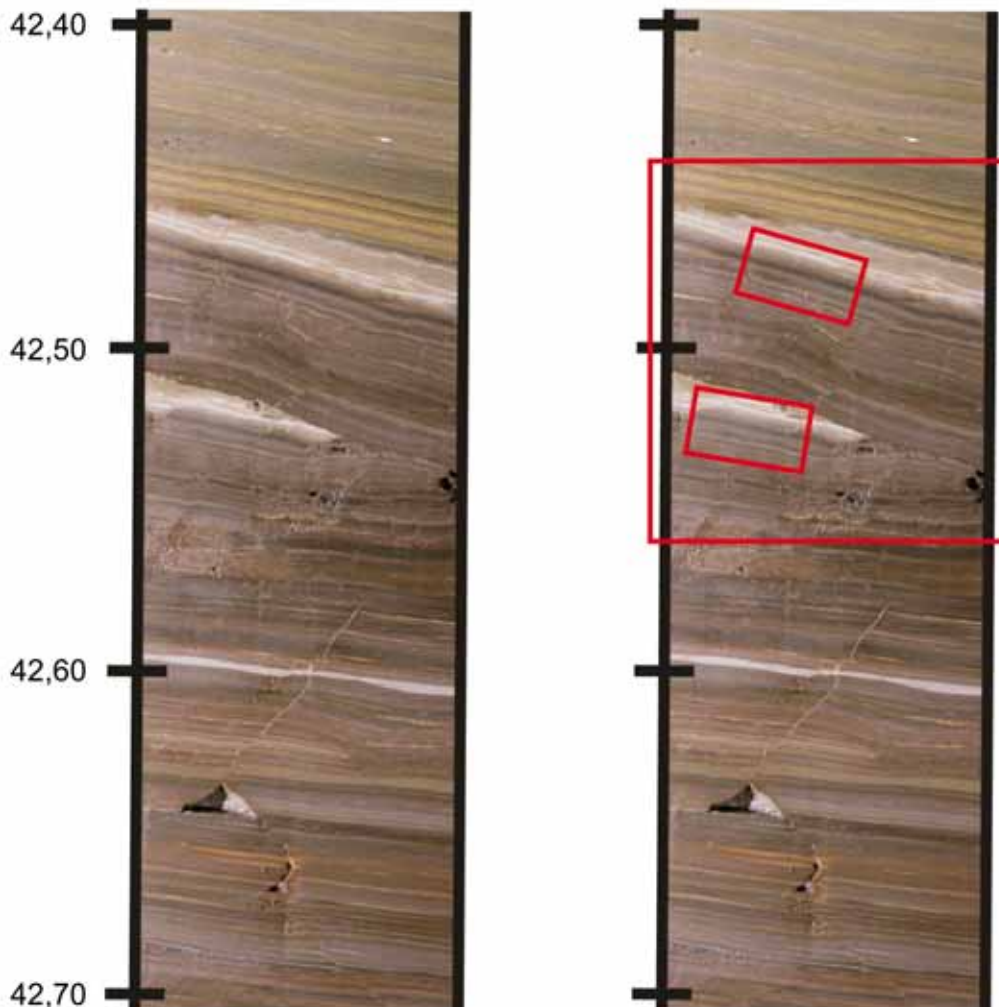


Abb. 6.64: Kern BI 1, 42,40-42,70 m Teufe. Plastische (duktile) Störung von stratigraphischer Signifikanz. Abreißende/auskeilende Lamination und Schichtverdupplung deuten auf eine Scherzone.

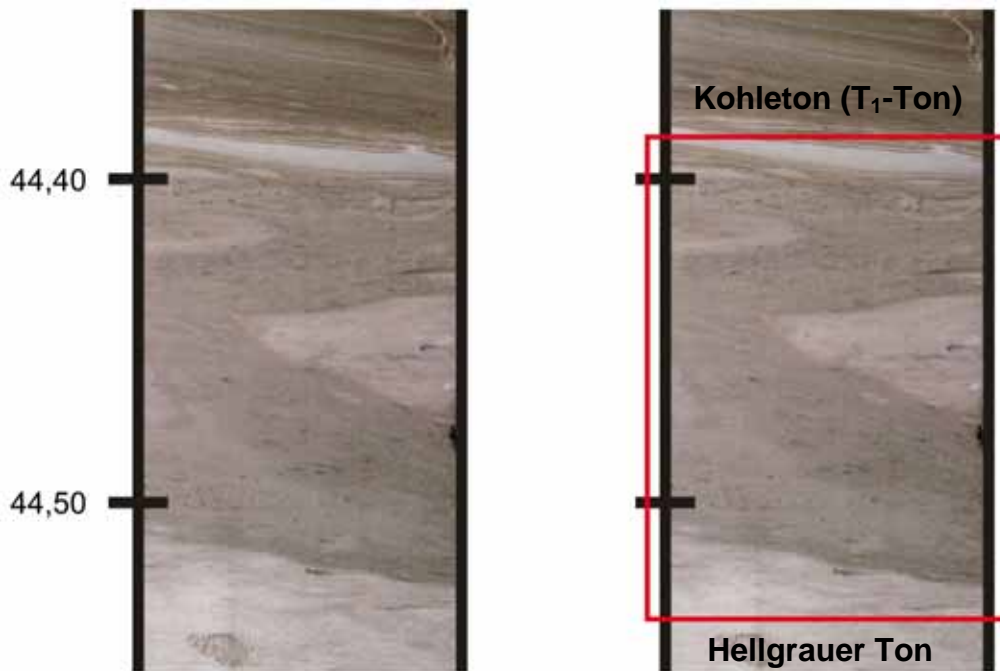


Abb. 6.65: Kern BI 1, 44,40-44,50 m Teufe. Duktile Störung. Verfaltung/Verwürgung im Übergangsbereich Kohleton/Hellgrauer Ton (Nomenklatur nach Tab. 6.24).

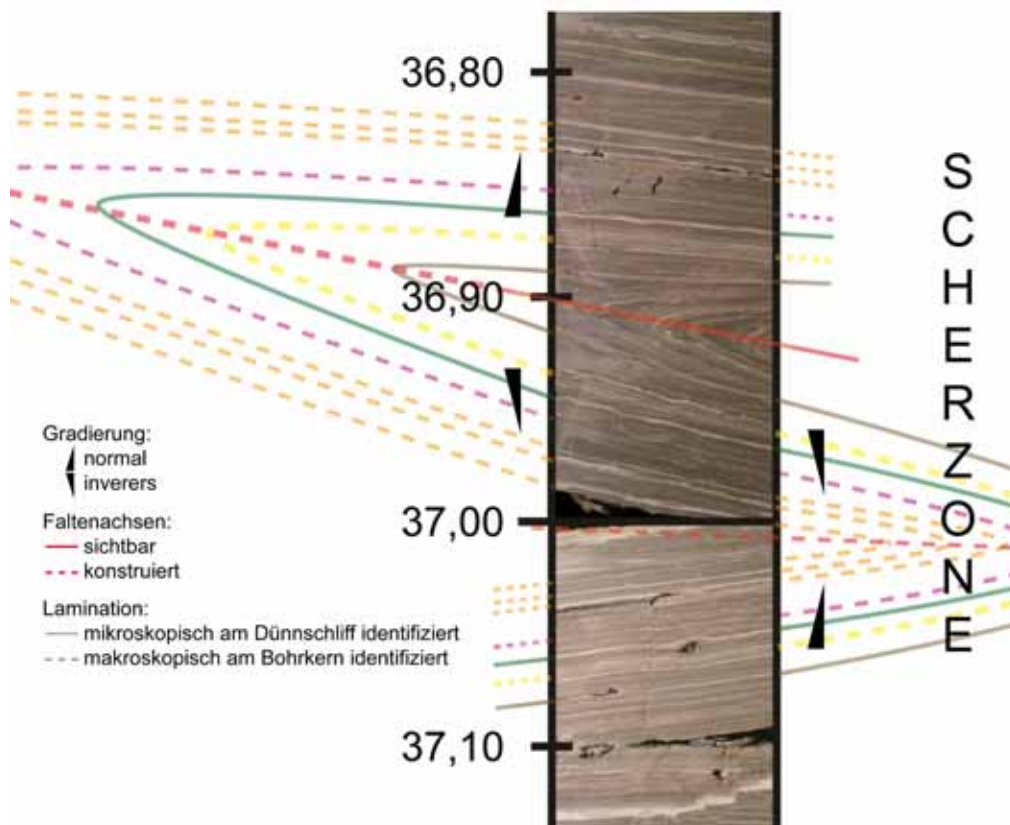


Abb. 6.66: Kern BI 1, 36,80-37,10 m Teufe. Faltung der Lamination. Duktile Verformung im Bereich einer Scherzone. Der Farbwechsel an der Bohrkerngrenze 37 m ist fototechnisch bedingt.

Tab. 6.27: Kernbeschreibung BI 1.

BI 1			
Teufe [m]	Sediment		
0,00	1,84	Hellbraun-beige (tonige) Silte	
1,84	1,94	Dunkelbraune, massige, tonige Mudde (Holzreste)	
1,94	2,00	Kernverlust	
2,00	2,60	Dunkelbraune, massige, tonige Mudde	
2,60	3,80	Olivgrüner, siltiger Ton	
3,80	4,10	Olivgrüner, siltiger Ton mit Einschaltungen von Kies, Steinen und rotem Sand	
4,10	33,30	Kernverluste (mit Resten von rotem Sand)	9,30-10,33
			11,20-12,00
			12,15-13,00
		13,24-13,27	
		13,38-13,49	
		13,80-14,10	
		14,17-14,20	
		14,52-14,59	
		14,79-14,84	
		14,91-14,94	
		15,19-15,20	
		16,39-16,45	
		17,45-17,47	
		18,11-18,13	
		18,51-18,54	
		18,70-18,71	
		19,58-19,61	
		20,23-20,24	
		20,30-20,31	
		20,79-20,84	
		21,10-21,11	
		21,58-21,59	
		Kernverlust (mit Resten von rotem Sand)	22,00-22,14
			22,52-22,54
		Kernverlust (mit Resten von rotem Sand)	22,90-23,00
			23,06-23,31
			23,42-23,43
		Kernverlust (mit Resten von rotem Sand)	23,95-24,00
			24,09-24,18
			24,23-24,35
	25,16-25,30		
	25,56-25,60		
	26,63-26,65		
	27,10-27,32		
	27,48-27,52		
	27,80-27,81		
	28,34-28,35		
	28,55-28,60		
	29,17-29,18		

			29,24-29,25	
			29,46-29,54	
			29,91-29,92	
			30,22-30,23	
		kiesige, kalkige Lage	30,33-30,35	
			30,85-30,89	
		zwischen 31-33 m Teufe finden sich zahlreiche Silt/Sand Horizonte: 31,(20 21 24 42 46 51 54 57 59 66 73 79 84 87) m 32,(21 39 44 48 55) m	31,15-31,19	
			31,29-31,32	
			31,37-31,38	
			32,27-32,28	
			32,34-32,36	
			32,81-32,86	
33,30	33,90	wechselnd rot-olivgrüne Tone		
33,90	34,14	Olivgrüner Ton (bei 34,14 m verhärteter Horizont)		
34,14	44,50	Kohleton, überwiegend laminiert (gewarvt), mit teils auffällig breiten grauen Tonbändern. (Die mächtigeren Tonbänder sind rechts aufgeführt) Bei 36,42-36,45 m Teufe einzelne, bis grobkiesgroße Konkretionen.	35,75-35,755	
			35,81-35,83	
			35,85-35,855	
			35,895-35,9	
			35,92-35,925	
			35,945-35,95	
			35,965-35,975	
			36,12-36,125	
			36,25-36,255	
			36,54-36,59	
			36,90	Faltung in der Lamination
				37,20-37,205
				37,37-37,47
				37,60-37,605
				38,65-38,655
				39,37-39,385
				39,43-39,44
	39,735-39,74			
	39,92-39,925			
	40,05-40,07			
	40,325-40,345			
	41,825-41,85			
	41,45-41,525			
	44,145-44,16			
44,50	45,16	grauer (olivstichiger) Ton		
46,16	46,49	rötlicher, teils siltiger Ton		
46,49	47,16	grünlich-olivstichiger Ton (im Liegenden teils kalkig)		
47,16	47,83	roter Ton		
47,83	48,95	teils kalkiger, im Hangenden grau-olivstichiger Ton, in Liegenden rötlicher Ton		
48,95	49,30	roter Sand (Silt)		
49,30	49,90	Kernverlust		
49,90	50,00	grauer Silt		

6.4.3. Sedimentologische Untersuchungen an Kern BI 1

Wie bei den anderen in dieser Arbeit behandelten Bohrkernen wurden auch von Kern BI 1 Dünnschliffe angefertigt (→ Abb. 10.27), lichtmikroskopisch eingescannt und neben den Warvenzählungen mit der RADIUS-Methode ausgewertet. Daneben wurden während der Pollenpräparation wieder Trockendichtebestimmungen durchgeführt. Abbildung 6.67 illustriert den Verlauf von Trockendichte und maximalem Korngrößendurchmesser der Quarzfraktion im Teufenbereich 33-46 m.

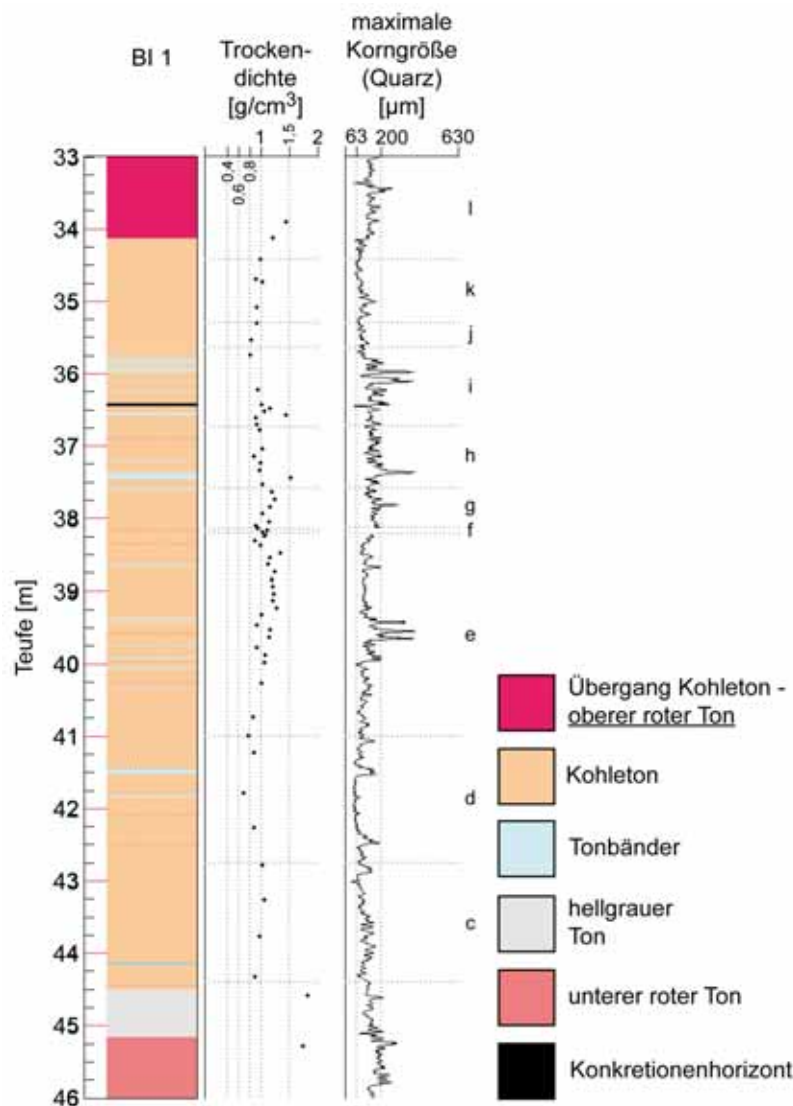


Abb. 6.67:

Trockendichteverlauf und maximale Quarzkorngröße im Kohleton von Bils- hausen. (c-l: Pollenzonen).

Die Trockendichte des Bilshausener Kohletons liegt etwa zwischen 0,8-1,2 g/cm³. Die grauen tonigen Lagen innerhalb des Kohletons (2 Proben: 36,56-36,57 m, 37,43-37,44 m) erreichen Werte von 1,5 g/cm³. Die Tonbänder weisen bei mikroskopischer Betrachtung eine, bei den geringmächtigen Lagen nicht immer deutlich erkennbare, normale Gradierung mit Feinsand- und Siltanteilen (Ausschläge bei der maximalen Korngröße in Abb. 6.67) sowie organischem Feindetritus im Liegenden und Ton (mit

Siltanteilen) im Hangenden erkennen. Der liegende hellgraue Ton weist Trockendichtewerte um $1,75 \text{ g/cm}^3$ auf. Der hangende obere rote Ton wurde nur im Übergangsbereich zum Kohleton erfasst. Zwischen 36-38 m (Pollenzonen g, h, i) enthält die Quarzfraktion durchgehend Partikel bis in den Grenzbereich Fein-/Mittelsand, teilweise bis in den Mittelsandbereich. Ansonsten bewegen sich die maximalen Durchmesser der Quarzkörner im Kohleton oberhalb 43 m Teufe meist um die Grobsilt-/Feinsandgrenze.

Die zwischen 36,42 m und 36,45 m Tiefe gefundenen Konkretionen weisen eine extrem feine Mineralkörnung auf, weshalb eine lichtmikroskopische Bestimmung ihrer Mineralparagenese nicht möglich war. Eine der Konkretionen, sowie die zur Dünnschliffherstellung angefertigten Tränklinge 36,40-37,00 m wurden deshalb einer μXRF -Analyse (*x-ray-fluorescence*) unterzogen. Die Röntgenfluoreszenzanalyse sollte insbesondere Aufschluss darüber geben, ob der Konkretionenhorizont mit der in Müller (1992) erwähnten Tephralage im Bereich des Lindenfalls in Bezug zu setzen ist. Der Lindenfall liegt in Kern BI 1 etwa 30 cm unterhalb des Konkretionenhorizontes. In Abbildung 6.68 sind die Ergebnisse der μXRF -Analyse zusammengestellt. Die roten Kurven geben die Werte einer, cirka 1 cm Durchmesser aufweisenden, Konkretion wieder, die schwarzen Werte entsprechen dem umgebenden Sediment.

Die Verhärtungen weisen einen gegenüber dem sie einbettenden Sediment deutlich unterschiedlichen Chemismus auf. Die Konkretionen enthalten nur Spuren von Silizium, Aluminium und Kalium, die zusammen mit Magnesium im umgebenden Sediment als Hauptkomponenten auftreten. Hauptbestandteile der Konkretionen sind vielmehr Eisen, Phosphor, Mangan, Magnesium und Schwefel, wobei jedoch im Bereich der Konkretionen auch im Sediment eine Schwefelanreicherung festzustellen ist. Gegenüber den einbettenden Sedimenten sind die Verhärtungen außerdem an Titan abgereichert. Ein Vergleich mit einer Röntgenfluoreszenzanalyse von Müller an der Tephra des Kerns 1/78 (63,2 % SiO_2 , 15,69 % Al_2O_3 , 5,75 % Na_2O , 5,06 % K_2O , 2,47 % Fe_2O_3 , 0,58 % CaO , 0,37 % TiO_2 , 0,25 % MnO , 0,17 % MgO , 0,1 % SO_3 , 0,06 % P_2O_5 , 5,33 % LOI) (die Werte wurden dem Autor freundlicherweise von Dr. H. Müller zur Verfügung gestellt) zeigt, dass die Konkretionen im Teufenhorizont 36,42-36,45 m des Bohrkerns BI 1 in ihrer chemischen Zusammensetzung deutlich von der in Müller (1992) beschriebene Tephra abweichen.

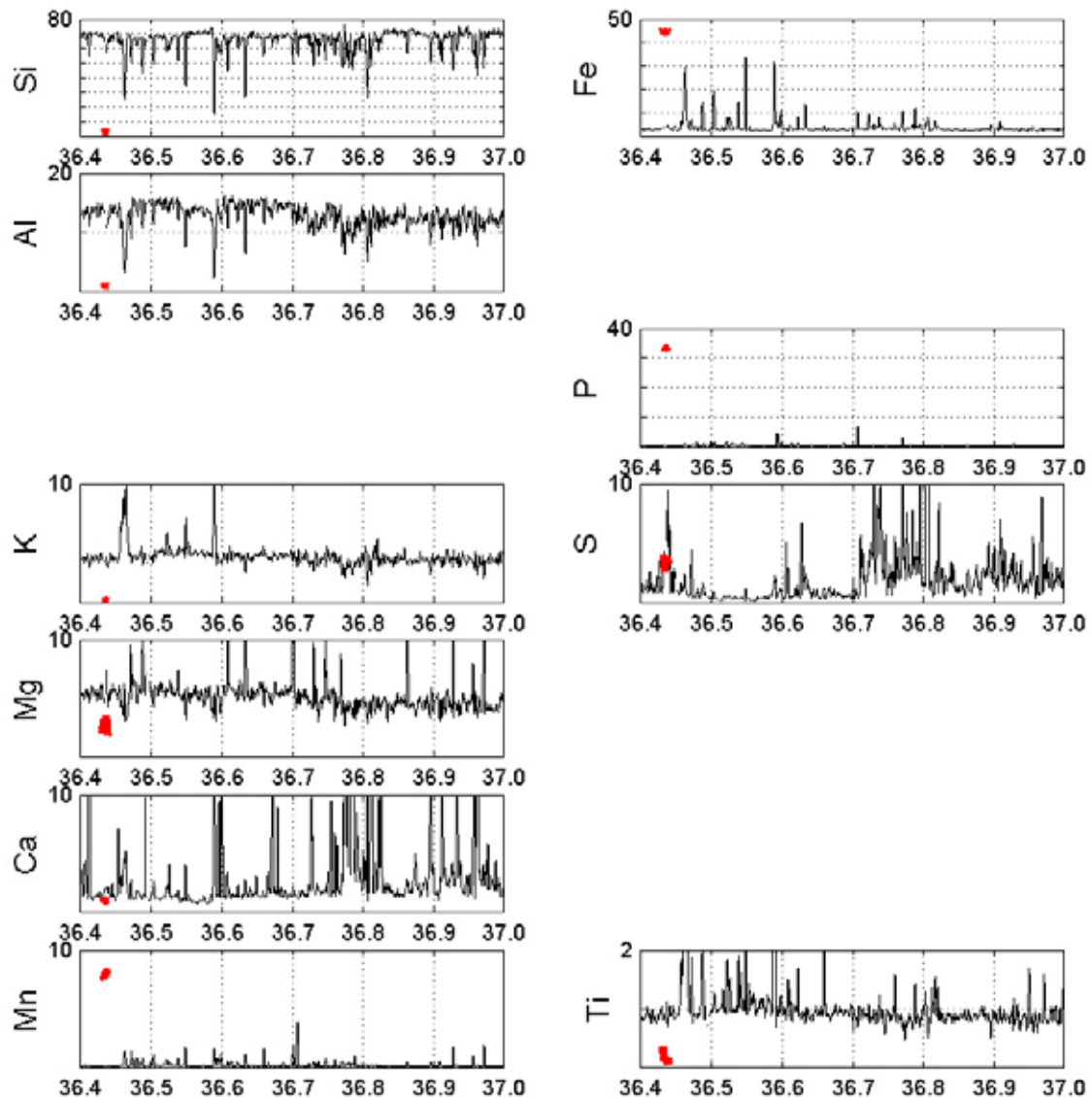


Abb. 6.68: Röntgenfluoreszenzanalyse ([%]) einer Konkretion des Teufenhorizonts bei 36,42-36,45 m (rot) und des umgebenden Sediments (schwarz). Schrittweite: 0,5 mm; zweiwertiges, 1 mm entsprechendes, laufendes Mittel. Im Kohleton fällt ein erhöhter Schwefelgehalt unterhalb 36,70 m auf.

6.4.4. Palynologische Untersuchungen an Kern BI 1

Um eine Korrelation mit den Pollenzählungen von Müller (1965, 1992) zu ermöglichen wurden an Kern BI 1 insgesamt 64 Pollenproben ausgewertet. Fünf der Proben waren praktisch pollenfrei, nämlich die Proben 33,905 m (liegender oberer, roter Ton), 36,565 m und 37,435 m (Tonbänder im Kohleton), 44,585 m (hellgrauer Ton im Liegenden des Kohleton) und 45,275 m (unterer roter Ton). Die Pollendiagramme (Abb. 6.69, Abb. 6.70) lassen sich zwanglos in die Pollenzonen

entsprechend der Klassifikation von Müller (1965) (Tab. 6.25) gliedern (wenn auch LPAZ g und h weiter zoniert werden könnten). In Kern BI 1 ist Pollenzone i ohne Wiederauftreten von *Tilia* nach der LPAZ-Grenze h/i ausgebildet, äquivalent zu Müllers Kern 1/78 (also ohne „Schichtverdopplung“). In den Diagrammen sind bei den Teufen die Bohrkerngrenzen rot markiert, EMW steht für Eichenmischwald, LPAZ für *local pollen assemblage zone*. Die den Pollendiagrammen zu Grunde liegende Anzahl gezählter Palynomorphen ist Abbildung 10.28 im Anhang zu entnehmen.

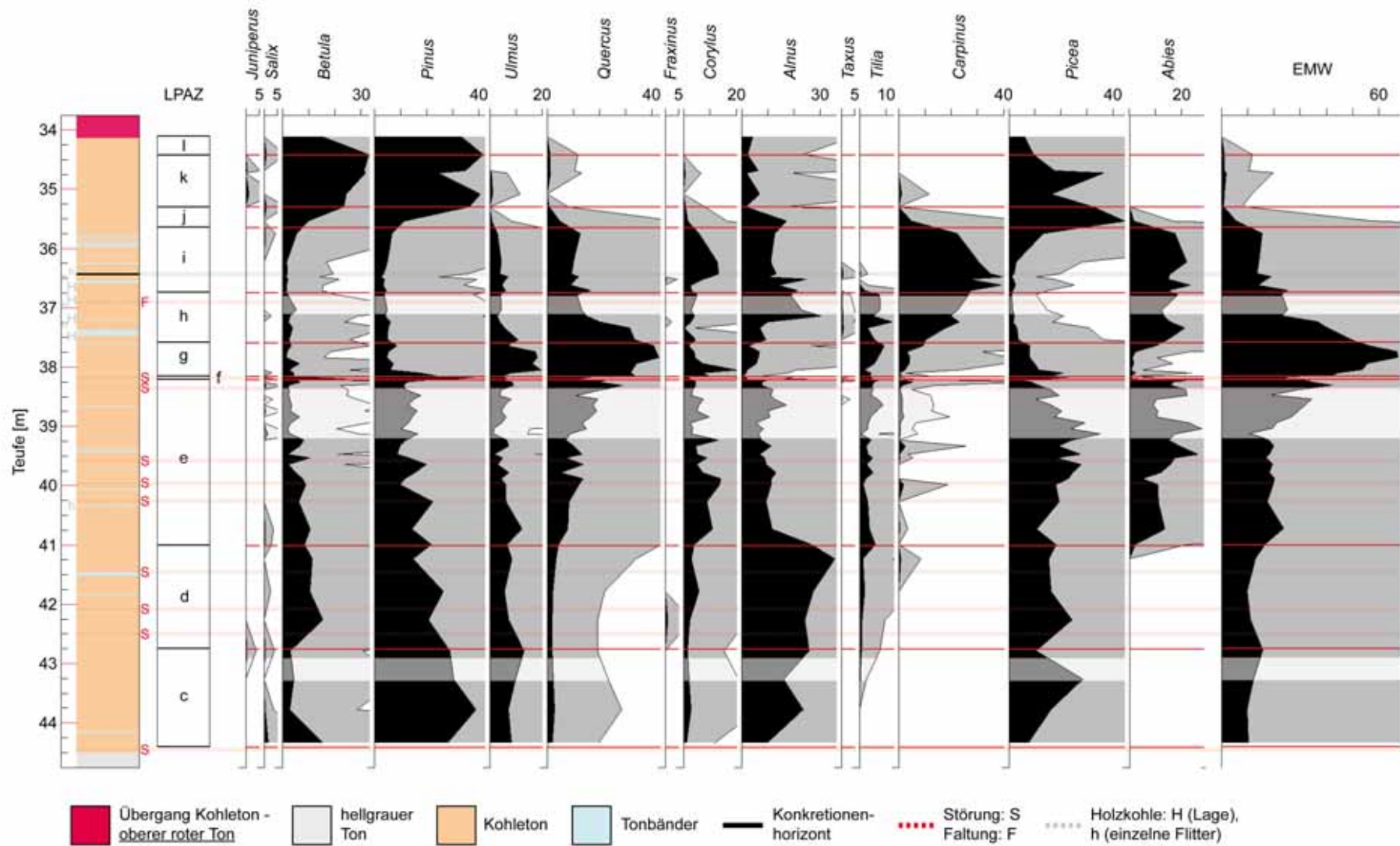


Abb. 6.69.a: Pollenprozentwertdiagramm BI 1, Baumpollen. Werte in % terrestrischer Pollen.

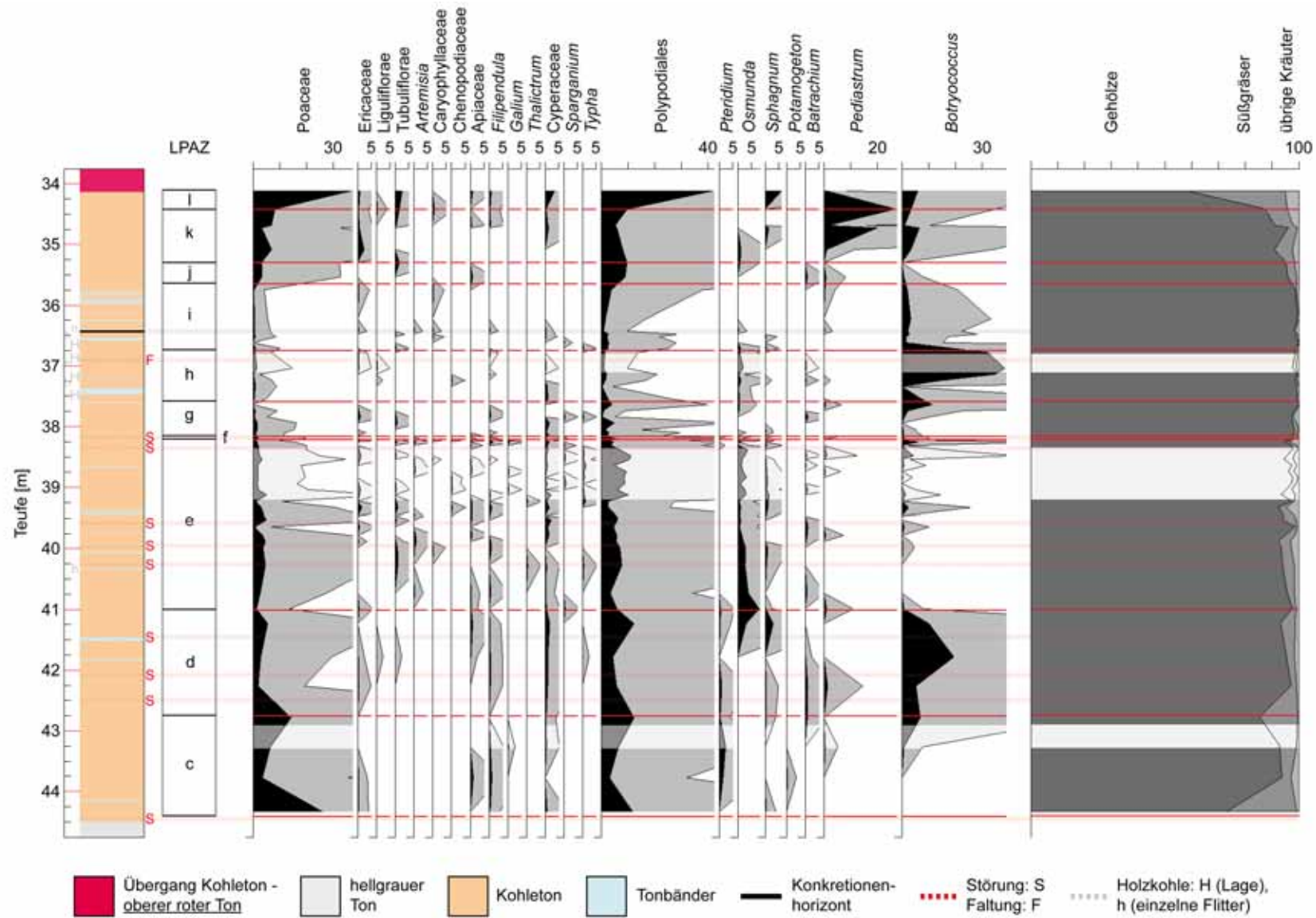


Abb. 6.69.b: Pollenprozentwertdiagramm BI 1, Nichtbaumpollen. Werte in % terrestrischer Pollen.

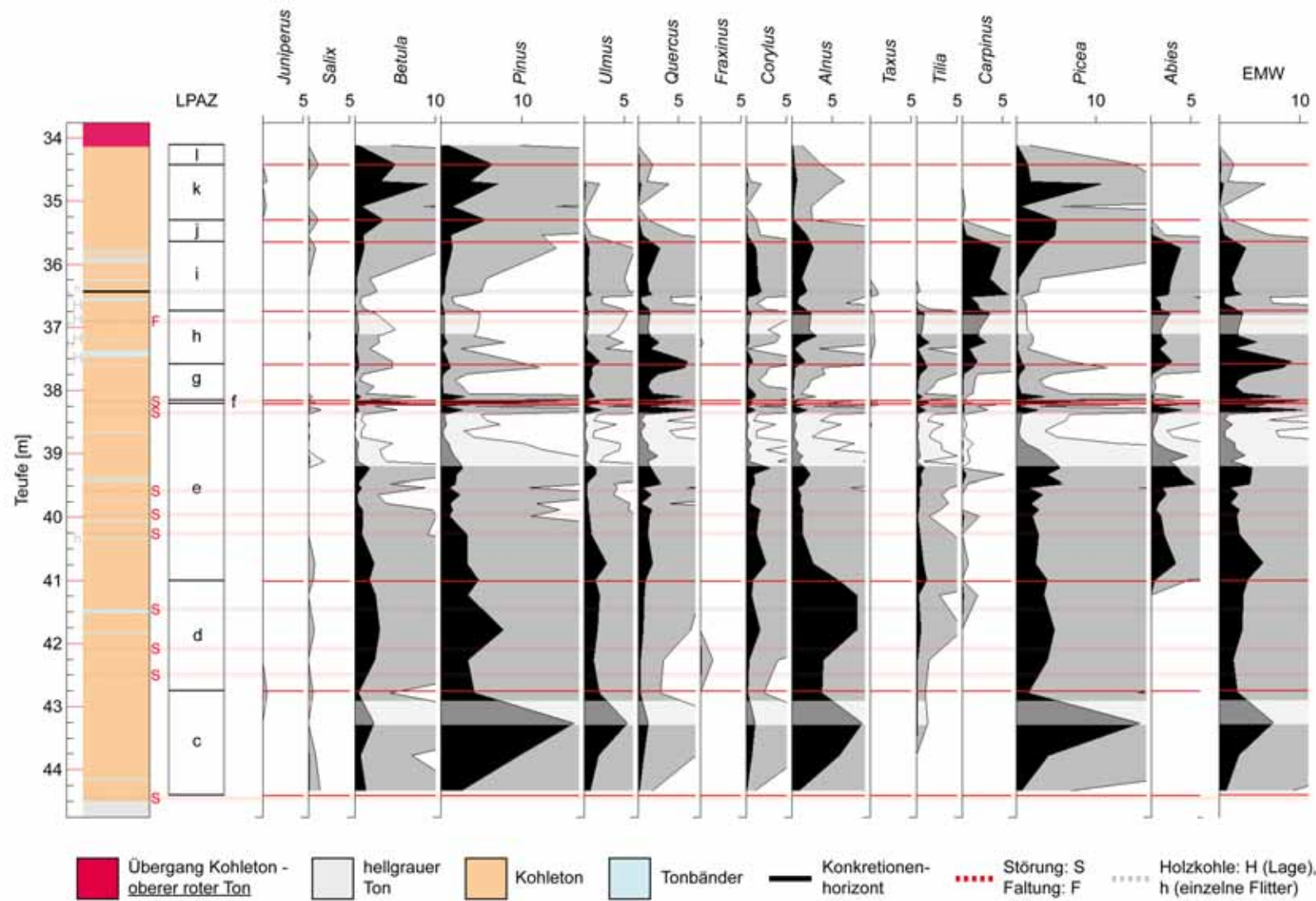


Abb. 6.70.a: Pollendichtediagramm BI 1, Baumpollen. Werte in 10^4 Palynomorphen/cm³.

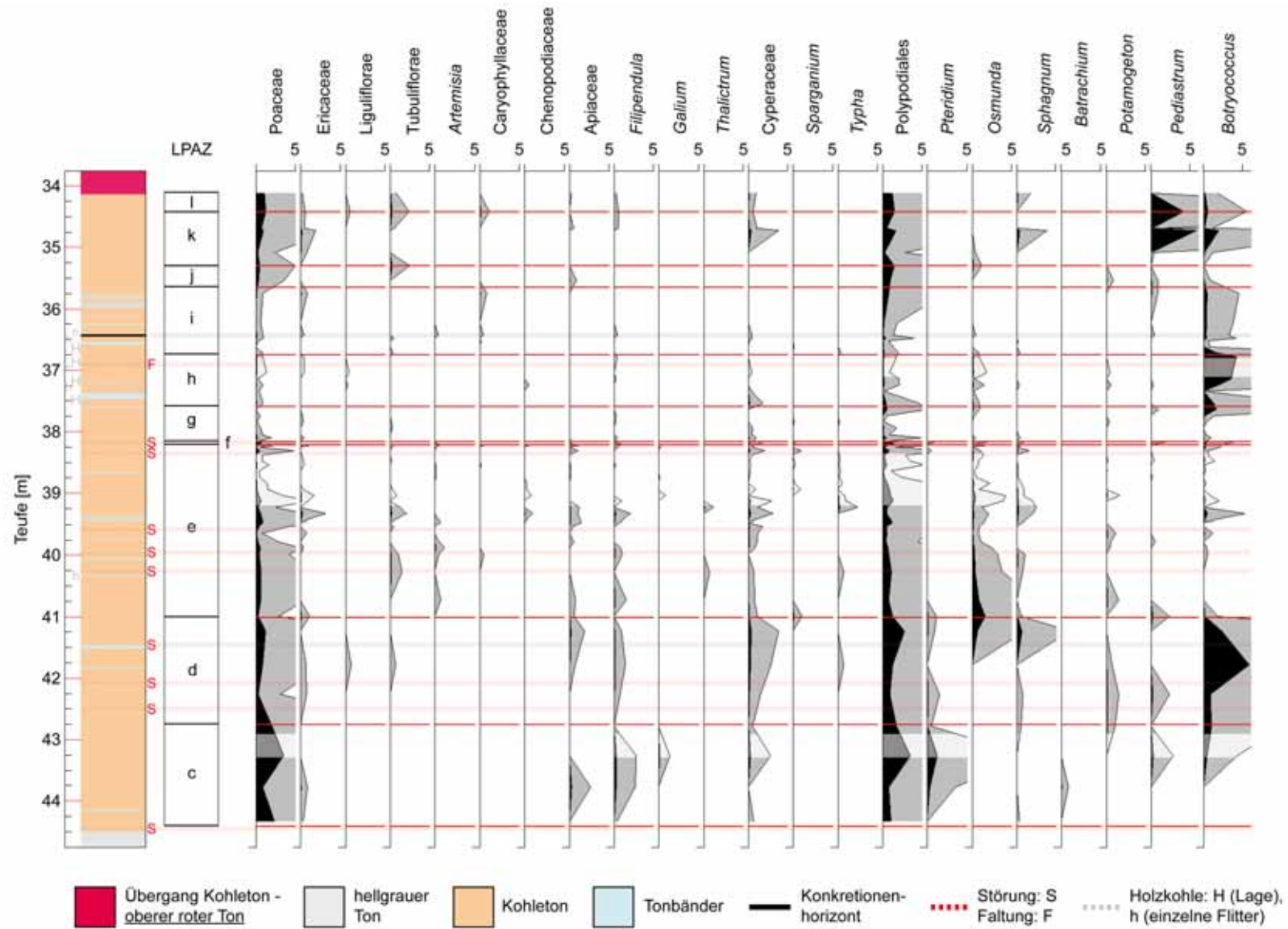


Abb. 6.70.b: Pollendichtediagramm BI 1, Nichtbaumpollen. Werte in 10^4 Palynomorphen/cm³.

In den Abbildungen 6.69 und 6.70 sind gegebenenfalls von Umlagerungen betroffenen Teufenbereiche grau schattiert (gefaltet: 36,80-37,10 m, unlaminiert: 38,35-39,20 m und 42,90-43,28 m). Die Teufen der Pollenzonengrenzen und die Pollenzonenmächtigkeiten in Kern BI 1 sind in Tabelle 6.28 aufgelistet. Die Mächtigkeiten weichen nur wenig von denen in Müllers Kern 1/78 (Tab 6.26) ab.

Tab. 6.28: Tiefen und Mächtigkeiten der Pollenzonen in Kern BI 1. Die palynologisch, mittels den Pollendiagrammen, nicht klar definierbare Liegendgrenze von PAZ c wurde anhand der beschriebenen Sedimentologie bei etwa 44,40 m Tiefe angenommen (rot und kursiv) (LPAZ: *local pollen assemblage zone*).

LPAZ	Teufe [m]	Mächtigkeit [cm]
L	<34,10 – 34,42	>32
K	34,42 - 35,30	108
J	35,30 - 35,64	34
I	35,64 - 36,74	110
H	36,74 - 37,58	84
G	37,58 - 38,15	57
F	38,15 - 38,21	6
E	38,21 - 41,00	279
D	41,00 - 42,75	175
C	42,75 – <i>44,40</i>	<i>165</i>

Neben den in den Diagrammen wiedergegebenen Taxa wurden noch (mit jeweils einem Pollenkorn, beziehungsweise eine Spore pro Probe) gefunden:

Acer: 36,70-36,71 m, 37,23-37,24 m, 39,77-39,78 m, (PAZ e, h, Liegendes PAZ i)

Alismataceae: 38,83-38,84 m, 39,63-39,64 m, 42,77-42,78 m, (Hangendes PAZ c, e)

Brassicaceae: 34,41-34,42 m, (PAZ-Grenze k/l)

Buxus: 37,53-37,54 m, (Liegendes PAZ h)

cf. Bruckenthalia: 40,98-40,99 m, 41,77-41,78 m, 43,76-43,77 m, (PAZ c, d, e)

Campanula: 38,19-38,20 m, (PAZ f)

Fabaceae: 38,30-38,31 m, 39,87-39,88 m, (PAZ e)

Hedera: 38,47-38,48 m, (PAZ e)

Knautia: 34,41-34,42 m, (PAZ-Grenze k/l)

Lythrum: 38,19-38,20 m, 40,72-40,73 m, (PAZ e, f)

Malva: 39,87-39,88 m, (PAZ e)

Urtica: 42,77-42,78 m, (Hangendes PAZ c)

Dryopteris filix-mas: 42,77-42,78 m, (Hangendes PAZ c)

Polypodium vulgare: 34,41-34,42 m, (PAZ-Grenze k/l).

Auffällig ist die mehr oder minder durchgehende Präsenz von als Pilzsporen angesprochener und in zahlreichen Varietäten vorkommender Palynomorphen (Abb. 6.71). Außerdem wurden von PAZ d-g, vor allem aber in PAZ e, kleine ($\approx 10\text{-}15\ \mu\text{m}$), derbwandige, trilete Sporen gefunden (Abb. 6.72).



Abb. 6.71: Auswahl von als Pilzsporen angesprochenen Palynomorphen (Kern BI 1).



Abb. 6.72: Unbestimmter trileter Sporentyp, der in Pollenzone e gehäuft auftritt.

Die Pollendiagramme bestätigen prinzipiell H. Müllers Zählungen, es ergeben sich jedoch auch einige Differenzen. So entsprechen sich zwar Abfolge und Verlauf der Pollenkurven der einzelnen Taxa, aber die prozentuale Häufigkeit mit der die einzelnen Spezies in der Pollensumme vertreten sind, sind teilweise deutlich unterschiedlich. *Betula*, *Alnus* und *Corylus* wurden in Kern BI 1 durchgehend, *Betula* insbesondere in den Pollenzonen j, k und l häufiger gefunden als im Pollendiagramm von Müller (1992) wiedergeben. *Abies* erreicht in Kern BI 1 nicht die Häufigkeit wie bei den Zählungen von Müller (1992). Die Prozentwerte der Zählungen BI 1 entsprechen vielmehr denen des 1996 von Bittmann und Müller neu veröffentlichten, auf der Bohrung 1/62 beruhenden und um die Schichtverdopplung in PAZ i korrigierten Pollendiagramms (Abb. 6.73).

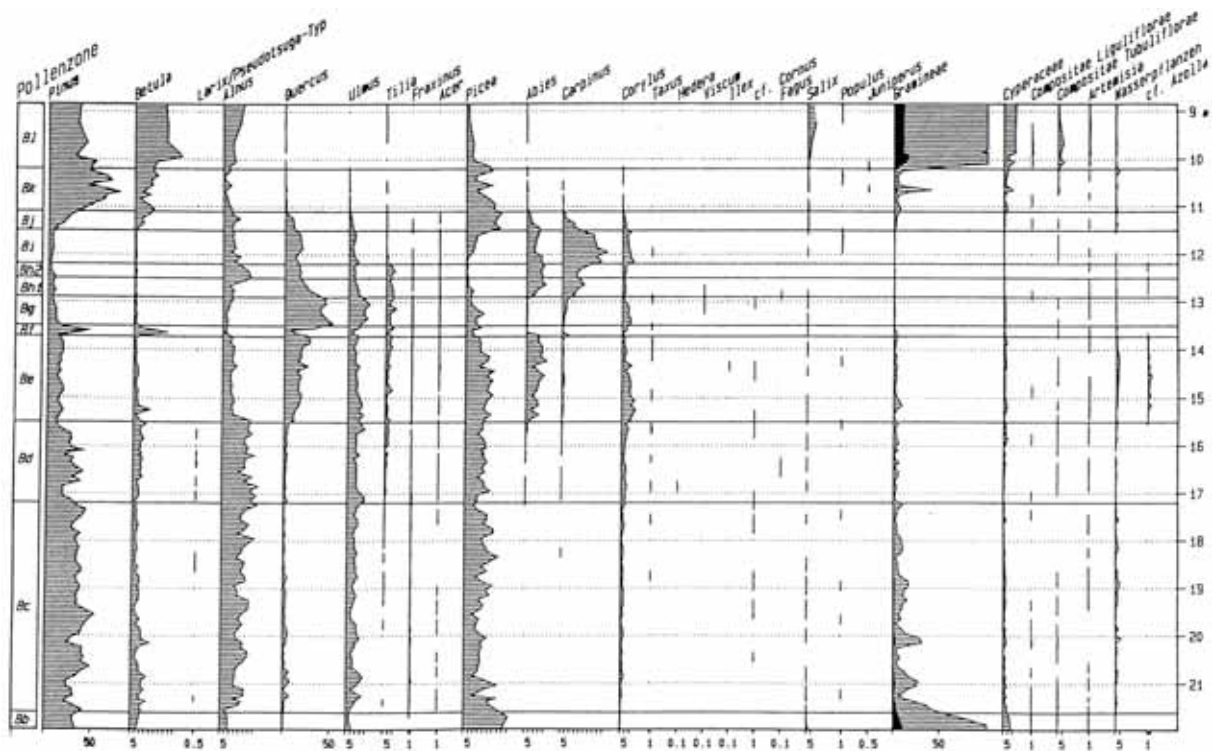


Abb. 6.73: Revidierte Neufassung des Pollendiagramms der Bohrung 1/62 (aus Bittmann und Müller, 1996)

Die signifikante Präsenz von *Azolla filiculoides* in PAZ e konnte nicht reproduziert werden. Es wurde lediglich einmal eine Glochidie von *Azolla* (Abb. 6.74) gefunden (39,775 m Teufe, PAZ e). In diesem Zusammenhang ist gegebenenfalls erwähnenswert, dass im Pollendiagramm Bilshausen in Bittmann (1996) (Abb. 6.73) lediglich von *cf. Azolla* die Rede ist.



Abb. 6.74: Glochidie von *Azolla*, Kern BI 1, 39,77-39,78 m Teufe.

Im Bereich des *Betula-Pinus* Vorstoßes (Proben 38,045 m, 38,095 m, 38,145 m, 38,165 m, 38,225 m, 38,245 m 38,305 m) waren in Pollenzone f in allen Proben deutliche Anteile der Eichenmischwaldvertreter *Ulmus*, *Quercus* und *Tilia* vertreten.

Insbesondere bei *Tilia* konnte kein signifikanter Rückgang während dieser Pollenzone nachgewiesen werden, Poaceae blieb unauffällig. Diese Befunde stimmen mit dem Pollendiagramm der Bohrung 1/62 (Abb. 6.70) aus Bittmann und Müller (1996) überein, weniger aber mit dem in Müller (1992) publizierten Pollendiagramm der Bohrung 1/78.

In Kern BI 1 fällt neben dem fast völligen Ausbleiben von *Abies*-Pollen an der PAZ-Grenze e/f ein deutlicher und abrupter „Einbruch“ bei *Alnus* auf. Unmittelbar nach Pollenzone f kommt es zu prozentualen Steilanstiegen bei *Ulmus*, *Quercus* und *Corylus*, wobei letztere ein zeitweiliges, absolutes Maximum erreicht. Der steile prozentuale Rückgang von *Quercus* in Pollenzone h wird im Kern BI 1 von einem prozentualen Steilanstieg bei *Alnus* begleitet.

6.4.5. Warvenzählungen an Kern BI 1

Im Bereich des Kohleton ist Kern BI 1 größtenteils laminiert. Nach den Untersuchungen von Müller (1965) handelt es sich hierbei um Warven. Anhand der an Dünnschliffen (→ Abb. 10.28) durchgeführten Warvenzählungen konnten Alters-Tiefen-Modelle (ATM) (→ 5.2.) des Kohletons aufgestellt und darauf basierend Pollen $influx$ diagramme berechnet werden. Die bei den Warvenzählungen erfassten Daten und die berechneten Alters-Tiefen-Modelle sind in Abbildung 6.75 dargestellt. Dabei gibt die erste Kurve den prozentualen Anteil an gewarvtem Sediment je 2,5 cm Zählintervall an, der zweite Graph den durchschnittlichen Einfallswinkel der Lamination je Zählintervall. Danach sind Warvenanzahl und mittlere Warvenmächtigkeit (jeweils je 2,5 cm Zählintervall), kumulative Warvenjahre und resultierende Alters-Tiefen-Modelle dargestellt. In allen Graphen sind die Pollen-zonengrenzen nach Tabelle 6.28 markiert.

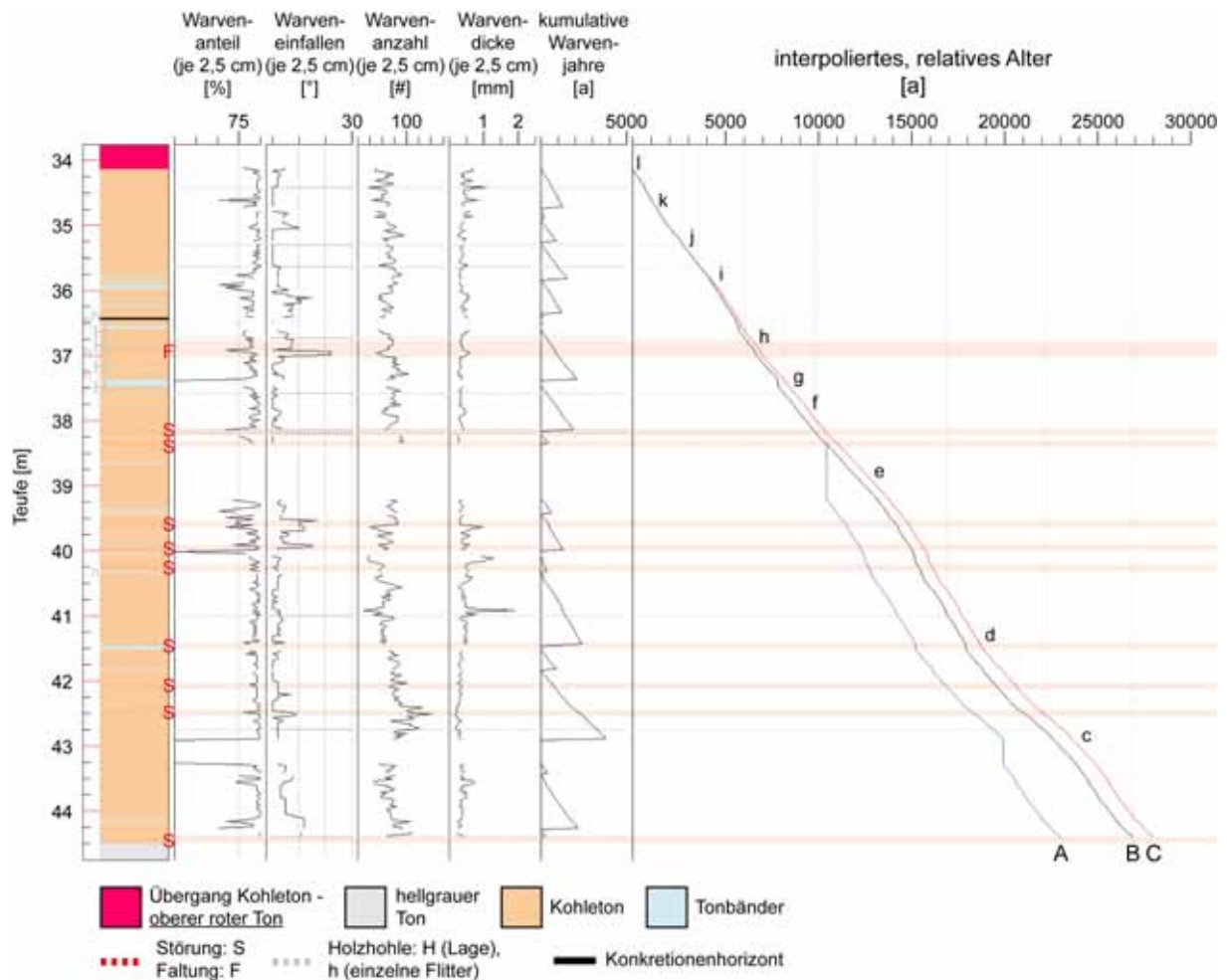


Abb. 6.75: Warvenzählungen und resultierende Alters-Tiefen-Modelle A (blau), B (schwarz) und C (rot) (siehe folgenden Text), Kern BI 1 (c-l: Pollenzonen).

Im schwarz gezeichneten Alters-Tiefen-Modell (ATM B) wurden die in Tabelle 6.27 ausgewiesenen (normal gradierten, pollenfreien) Tonbänder als *events*, nämlich als Suspensionslagen (\rightarrow 6.4.6.), ohne (relevante) Dauer mit quasi unendlich hoher Sedimentationsrate interpretiert. Zum Vergleich ist in roter Farbe das Alters-Tiefen-Modell C dargestellt, wie es sich ergibt, wenn den Tonlagen eine zeitliche Dauer, basierend auf den Sedimentationsraten der sie umgebenden, gewarvten Bereiche zugewiesen wird. Da in Tabelle 6.27 nicht alle der zahlreichen, im Allgemeinen nur wenige Millimeter mächtigen Tonlagen erfasst wurden spiegelt Alters-Tiefen-Modell B die maximalen Alter/Dauer wieder. Dies trifft insbesondere für Pollenzone e zu, welche im Teufenbereich 38,35-39,20 m (2699 Jahre nach ATM B) überwiegend ungewarvt ausgebildet ist. In diesem Teufenbereich ist mit Umlagerungen zu rechnen und die Dauer von PAZ e gegebenenfalls um etwa 1/3 (\rightarrow Tab. 6.29) zu vermindern. Ähnliches gilt für den Teufenbereich 42,90-43,28 m (1213 Jahre nach ATM B) im

Hangenden von Pollenzone c. Dieses Szenario veranschaulicht das in Blau gezeichnete Alters-Tiefen-Modell A, welches aus ATM B resultiert indem die ungewarvten Bereiche als *events* behandelt werden. Ein Indiz dafür, dass innerhalb der Pollenzonen c und e tatsächlich mit Umlagerungen in den genannten Tiefenabschnitten zu rechnen ist stellt der in Tabelle 6.26 angestellte Vergleich der Pollenzonenmächtigkeiten in den von Müller palynologisch bearbeiteten Kernen 1/62 und 1/78 dar. Erstens wird hier gezeigt, dass die Seesedimente keinesfalls in zeitlich stetiger/ungestörter Abfolge überliefert sind, was für Pollenzone i sicher nachgewiesen wurde. Zweitens deuten die beträchtlich voneinander abweichenden Mächtigkeiten von Pollenzone e-1/62 und e-1/72, sowie c-1/62 und c-1/78, bei gleichzeitig vergleichsweise ähnlicher Mächtigkeit der dazwischen liegenden Pollenzone d in beiden Kernen an, dass diese Mächtigkeitsunterschiede nicht primär auf unterschiedliche Sedimentationsraten zurückzuführen sind.

In Kern BI 1 waren außerdem im Bereich 36,35-36,60 m, also im Hangenden der Pollenzonengrenze h/i (36,74 m Tiefe) („Lindenfall“), im Bereich des Konkretionshorizontes als auch im Bereich der Störungen um Pollenzone f keine durchgängigen Warvenzählungen möglich. Somit ist insbesondere die Dauer der palynologisch markanten und sedimentologisch gestörten Pollenzone f rein interpolativ (Tab. 6.29). Für den Tiefenbereich zwischen etwa 36,80-37,10 m in Pollenzone h, in dem durch Faltung (→ Abb. 6.66) ein Schichtenpaket dreimal überliefert ist, liefert Alters-Tiefen-Modell A und das in diesem Bereich äquivalente Alters-Tiefen-Modell B eine Zeitspanne von 759 Jahren. Die Dauer von Pollenzone h wäre auf Grund der Faltung um etwa 2/3 dieser Zeitspanne (also um etwa 500 a) zu reduzieren (Tab. 6.29).

Mit den Warvenzählungen (insgesamt wurden zwischen 34,10 m und 44,40 m Tiefe 20404 Warven gezählt) und den, aus Alters-Tiefen-Modell A nach Abbildung 6.72 resultierenden, Zeitspannen für die einzelnen Pollenzonen kann Tabelle 6.28 zu Tabelle 6.29 ergänzt werden. Die Anteile tatsächlich gezählter Warven an den interpolierten Zeitspannen geben Anhaltspunkte für die Zuverlässigkeit letzterer.

Tab. 6.29: Teufen, Mächtigkeiten, Dauer und mittlere Sedimentationsraten der Pollenzonen in Kern BI 1.

LPAZ	Teufe [m]	Mächtigkeit [cm]	gezählte Warven	Alters-Tiefen-Modell			
				Dauer (maximal) [a]	Anteil gezählter Warven [%]	mittlere Sedimentationsrate [mm/a]	
L	<34,10 – 34,42	>32	636	>659	96,5	0,49	
Rhume (Kohleton)	K	34,42 – 35,30	108	1757	2087	84,2	0,52
	J	35,30 – 35,64	34	889	902	98,6	0,38
	I	35,64 – 36,74	110	1955	2410	81,1	0,46
	H	36,74 – 37,58	84 (64)	1836	2105 (1605)	87,2	0,40 (0,40)
	G	37,58 – 38,15	57	1490	1574	94,7	0,36
	F	38,15 – 38,21	6	0	191	0	0,31
	E	38,21 – 41,00	279 (194)	3777	7034 (4335)	53,7 (87,1)	0,40 (0,45)
	D	41,00 – 42,75	175	4932	5171	95,4	0,34
	C	42,75 – 44,40	165 (127)	3132	4742 (3529)	66,1 (88,8)	0,35 (0,36)
			Σ: 20404 (19904)	Σ: 26875 (22463)	75,9 (88,6)		

Die palynologisch mit den Pollendiagrammen nicht klar definierbare Liegendgrenze von PAZ c wurde wie schon in Tabelle 6.28 bei 44,40 m Tiefe angenommen (rot und kursiv). Die Zeitspannen für die Pollenzonen c, e und h, wie sie sich bei Interpretation der Teufenbereiche 38,35-39,20 m und 42,90-43,28 m als (zeitlose) Umlagerungen (ATM A) und bei Berücksichtigung der Verfaltungen im Tiefenbereich 36,80-37,10 m ergeben sind in grün geschrieben. Die Dauer von Pollenzone f bleibt hypothetisch. Die jahresgenauen Angaben ergeben sich rechnerisch.

Nach Tabelle 6.29 dürfte das Rhume-Interglazial (PAZ c-k) von Bilshausen eine Zeitspanne von etwa 26000 auf keinen Fall überschreiten. Nach Abzug der, den ungewarnten Abschnitten (*events*) in den Pollenzonen c und e zugewiesenen Zeiten, sowie Berücksichtigung des dreimaligen Vorliegens eines Schichtpaketes in Pollenzone h und bei Verfeinerung des Alters-Tiefen-Modell unter Einbeziehung aller Tonlagen im Kohleton (als *events*) ist jedoch eine Dauer von etwa 22000 Jahre zu favorisieren. Bei beiden Ansätzen bleiben die beschriebenen Störungen unberücksichtigt.

Die Alters-Tiefen-Modelle erlauben eine Darstellung der erhobenen Daten gegen die Zeit und ermöglichen Pollen*influx*diagramme zu erstellen. Im Folgenden wurde dies basierend auf dem in Abbildung 6.75 schwarz wiedergegebenen ATM B durchgeführt. In den Pollendiagrammen (Abb. 6.76, Abb. 6.77) sind die potentiell von Umlagerungen betroffenen Tiefenabschnitte der Pollenzonen c (42,90-43,28 m) und e (38,35-39,20 m) sowie der verfaltete Bereich in Pollenzone h (36,80-37,10 m) grau aufgehellt. Die Pollendiagramme für ATM A resultierten dann durch Entfernen der unlaminierten Abschnitte. Die Pollenproben repräsentieren jeweils etwa 20-40 Jahre (in den Abbildungen als Probenintervall bezeichnet). In den Diagrammen stehen die Abkürzungen EMW für Eichenmischwald, LPAZ für *local pollen assemblage zone*, S für Störung, KH für Konkretionenhorizont und F für Faltung.

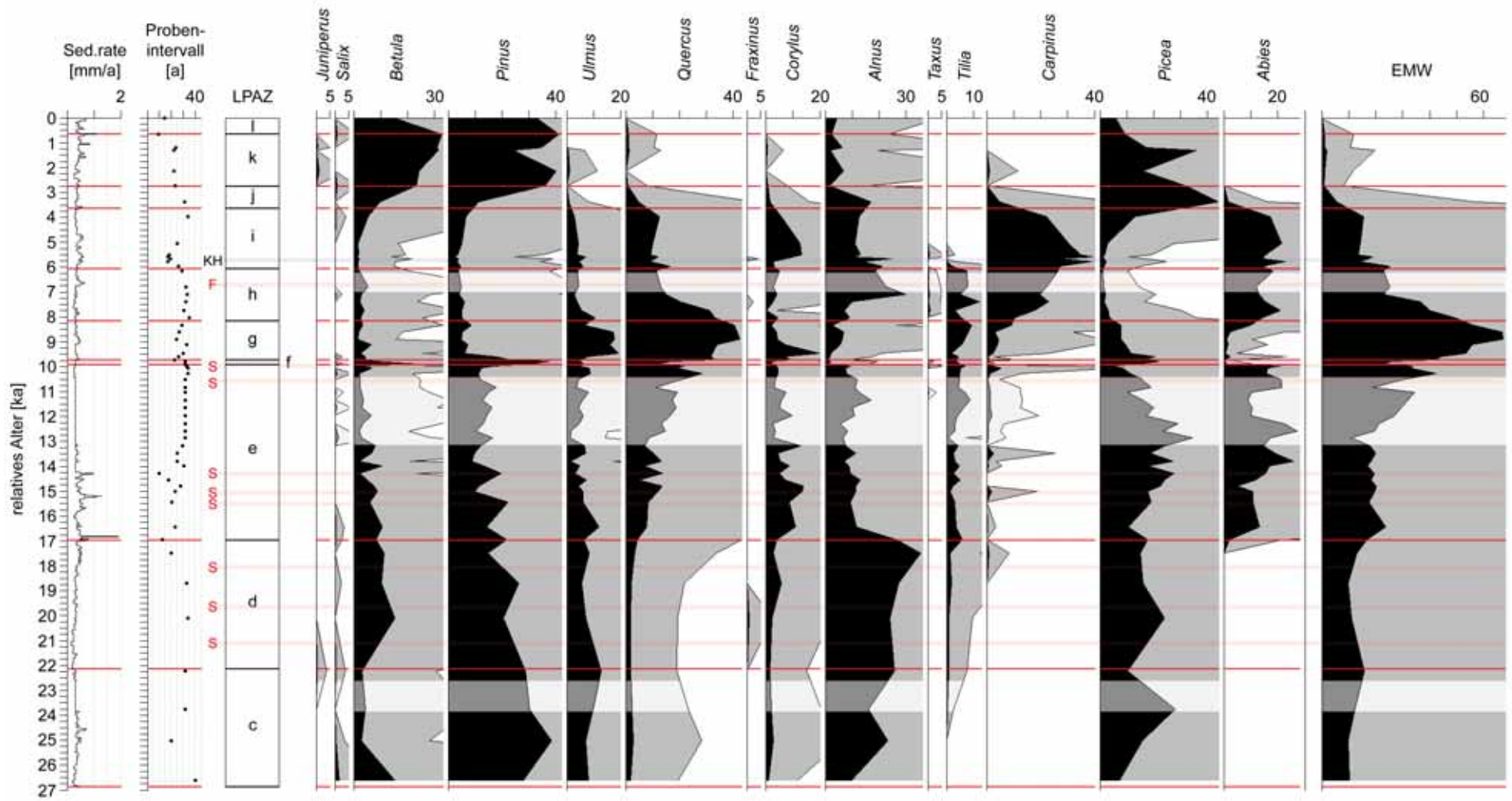


Abb. 6.76 a: Pollenprozentwertdiagramm BI 1, Baumpollen. Alters-Tiefen-Modell B. Werte in % terrestrischer Pollen.

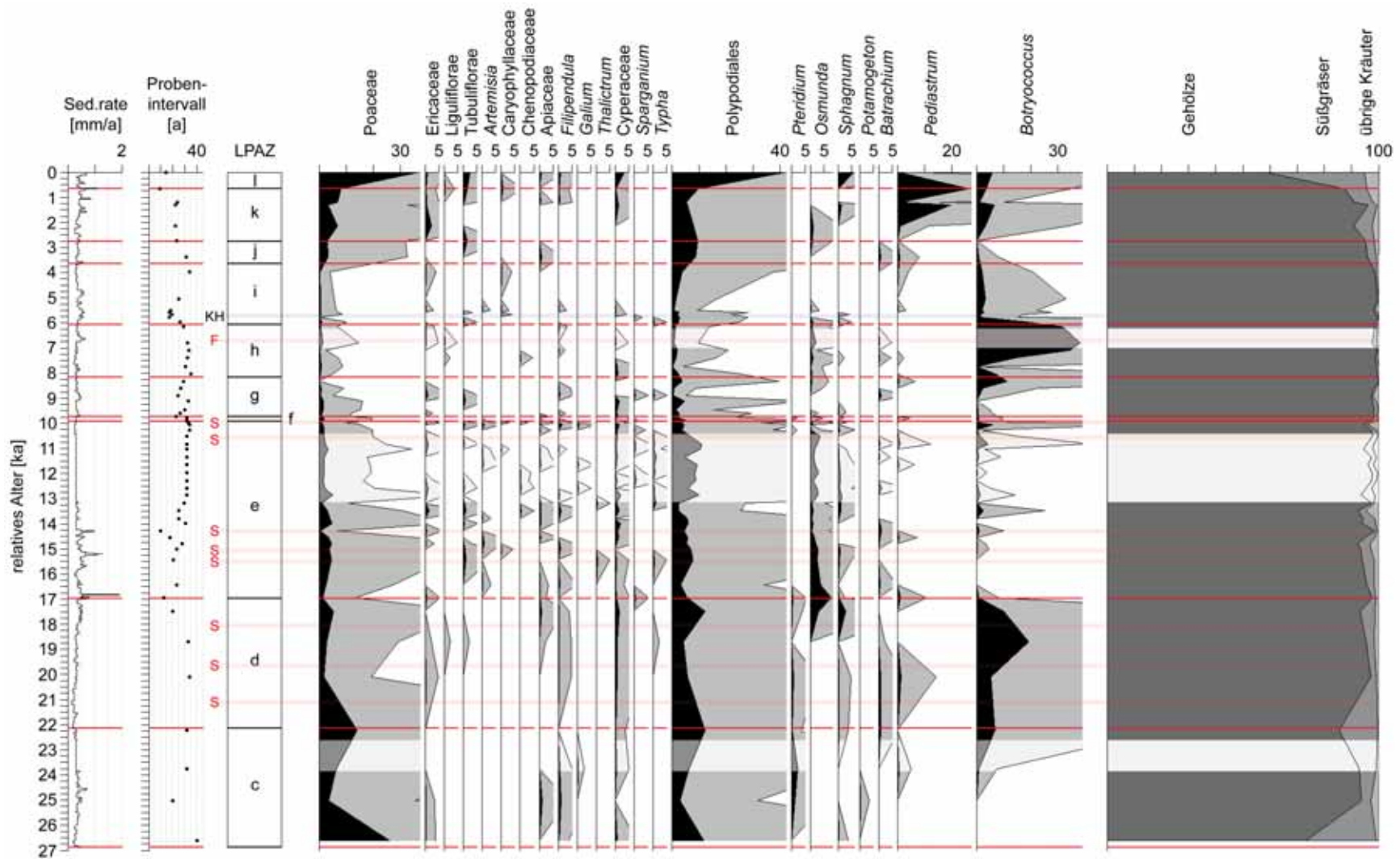


Abb. 6.76 b: Pollenprozentwertdiagramm BI 1, Nichtbaumpollen. Alters-Tiefen-Modell B. Werte in % terrestrischer Pollen.

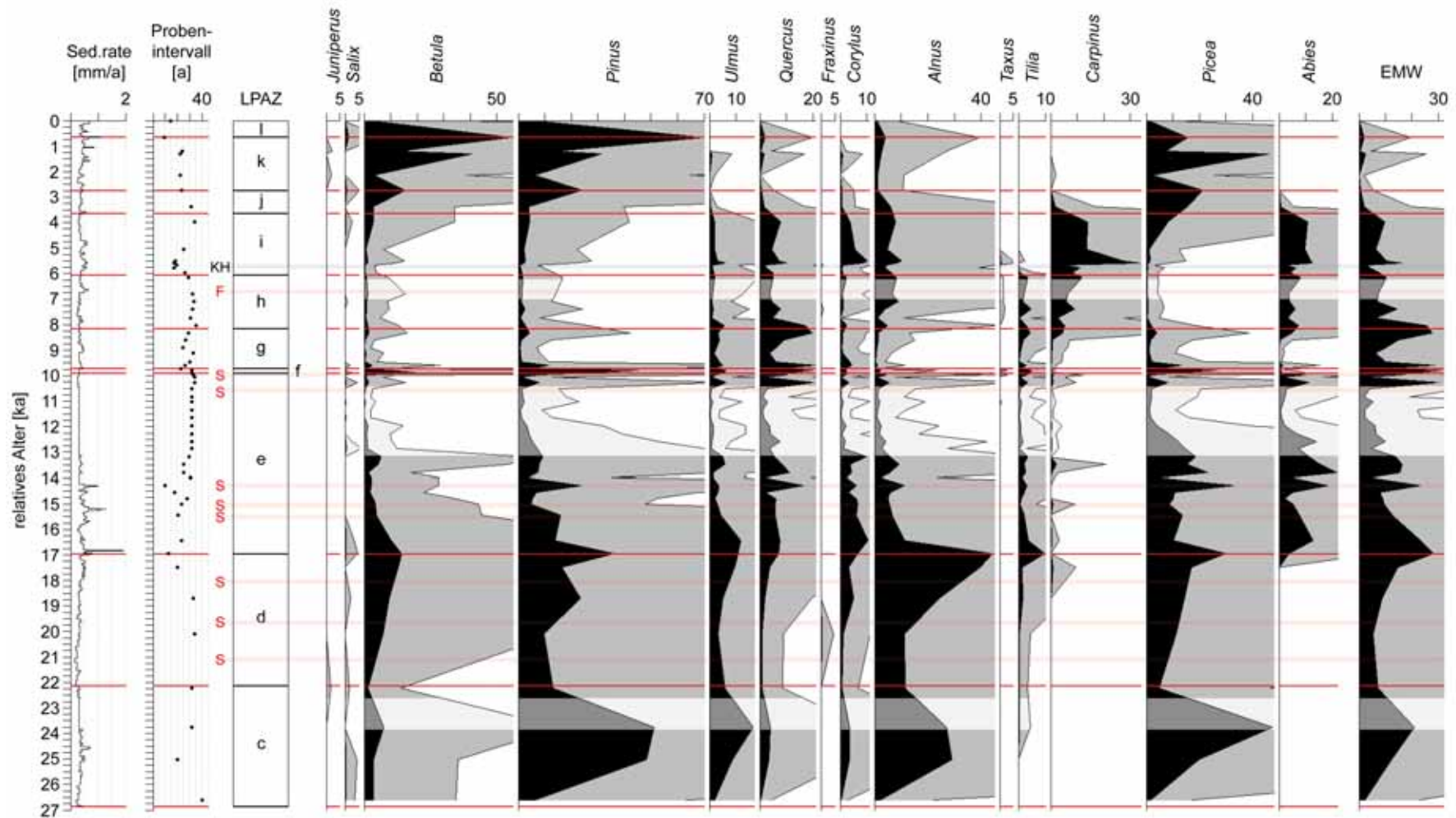


Abb. 6.77 a: Polleninfluxdiagramm BI 1, Baumpollen. Alters-Tiefen-Modell B. Werte in 10^2 Palynomorphen/(cm² a).

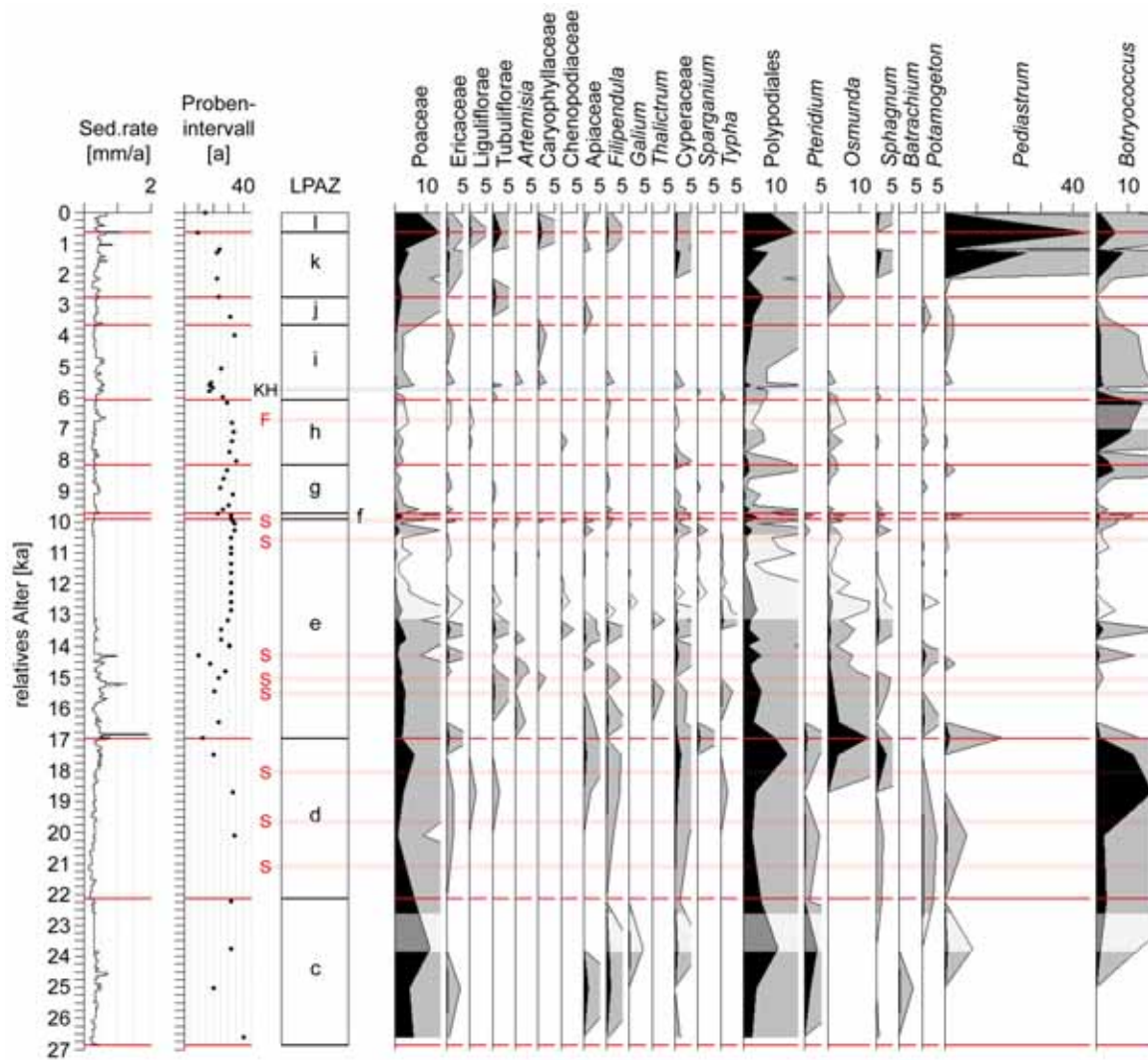


Abb. 6.77 b: Polleninfluxdiagramm BI 1, Nichtbaumpollen. Alters-Tiefen-Modell B. Werte in 10^2 Palynomorphen/(cm² a).

An der Pollenzonengrenze d/e haben *Tilia*, *Osmunda* und *Alnus* ihre absoluten *Influx*-Maxima. Insbesondere die im Prozentwertdiagramm ab dieser Grenze (bis PAZ-Greze h/i) suggerierte, ansteigende Präsenz von *Tilia* stellt sich im *Influx*-Diagramm nicht so dar. Hier bleibt *Tilia* nach dem erwähnten, anfänglichen Maximum auf etwa gleichem Niveau vertreten.

Der ungewarvte Bereich im Hangenden von Pollenzone e (38,35-39,20 m) zeichnet sich in seiner oberen Hälfte bei allen Taxa durch niedrige *Influx*-Werte aus, die auf die niedrigen Pollendichten in diesem Teufenabschnitt (→ Abb. 6.70) zurückzuführen sind.

Abbildung 6.78 zeigt Detailausschnitte aus Pollenprozentwert- und Pollen*influx*-diagrammen im Bereich des Birken-Kiefern-Vorstoßes (PAZ f) und des „Lindenfalls“ (PAZ h/i). Die pollenfreien Tonlagen bei 36,54-36,59 m und 37,37-37,47 m Tiefe sind blau, die Lage des Konkretionenhizontes (36,42-36,45 m Tiefe) ist gelb, der Bereich der Falte (36,80-37,10 m) und der unlaminierte Abschnitt bei 38,35-39,20 m sind hellgrau markiert. Die linke Kurve gibt die den Pollenproben entsprechenden Zeitfenster (Probenintervall) an. Danach repräsentieren die 1 cm mächtigen Proben in dem betreffenden Teufenabschnitt den Polleneintrag von etwa 20-35 Jahren.

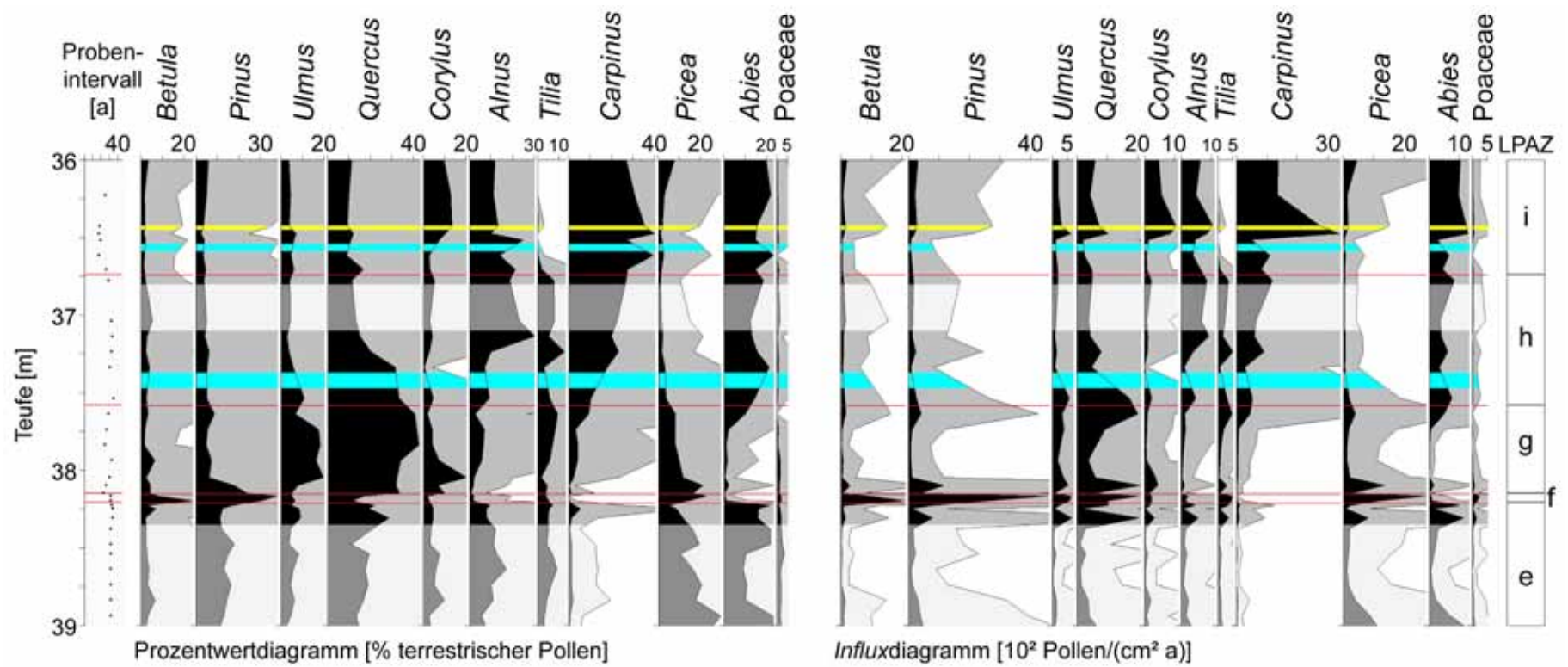


Abb. 6.78: Pollenprozentwert- und *Influx*diagramme aus dem Tiefenbereich von Birken-Kiefern-Vorstöß und Lindenfall. Alters-Tiefen-Modell B. LPAZ: *local pollen assemblage zone*.

Die *Influx*werte (wie auch die Werte für die Pollendichte, → Abb. 6.70) unterliegen im Bereich der Störungen (→ Abb. 6.59) um Pollenzone f starken Schwankungen. Dabei korrelieren die prozentualen Spitzen bei *Betula* und *Pinus* (und *Picea*) mit kurzzeitigen *Influx*maxima bei eben diesen Gattungen. Die thermophilen Vertreter der Eichenmischwaldgesellschaft sowie *Corylus* und *Alnus* zeigen jedoch keine Einbrüche in ihren *Influx*werten, sondern im Gegenteil und entgegen ihrem prozentualen Verhalten sogar relative Maxima. *Abies* dagegen spielt ab LPAZ-Grenze e/f und während der gesamten Pollenzone g im Pollenregen keine Rolle. Um LPAZ f sind die *Influx*werte von Poaceae leicht erhöht. Die gegenphasigen Prozentwertverläufe von *Betula* und *Pinus* gegenüber den Eichenmischwaldvertretern in LPAZ f beruhen also auf dem relativen Miteinander gleichphasiger *Influx*-Verläufe dieser Gattungen. Im Prozentwertdiagramm dominieren dann die im Pollenregen stärker repräsentieren Taxa.

Die prozentualen Maxima von *Quercus* und *Ulmus* in LPAZ g liegen nicht in *Influx*maxima bei beiden Gattungen begründet, sondern in der *Influx*-Unterrepräsentanz der anderen Taxa in dieser Pollenzone. Im Übergangsbereich zu Pollenzone h, zeitgleich mit dem Wiedererstarken oder Aufkommen anderer Gattungen (*Alnus*, *Tilia*, *Carpinus*, *Abies*), aber auch mit dem Zurückgehen der *Influx*werte bei *Ulmus*, bildet *Quercus* ein ausgeprägtes *Influx*maximum aus. Die auffällige *Corylus*-Spitze zu Anfang von PAZ g ist in ihrer Extremität ebenfalls überwiegend auf relative *Influx*-minima bei allen anderen außer *Ulmus* und *Quercus* zurückzuführen.

Im Bereich des Konkretionenhorizontes (36,42-36,45 m) zeigen die thermophilen Gehölze *Ulmus*, *Quercus*, *Corylus*, *Carpinus* und *Abies* ausgeprägte *Influx*maxima, beziehungsweise Anstiege. Bei *Corylus* wird gleichzeitig eine während LPAZ i anhaltend verstärkte Präsenz eingeleitet. *Tilia* ist kurzzeitig ein letztes Mal nachzuweisen. Bei den Gattungen *Betula*, *Pinus* und *Picea* sind dagegen im gleichen Horizont keine *Influx*maxima nachweisbar, sondern lediglich minimale *Influx*anstiege. Insbesondere das, nach Müller (1992), unmittelbar dem Lindenfall folgende Minimum im *Influx* von *Abies* (→ Abb. 6.54) konnte nicht reproduziert werden.

Etwa 10 cm unterhalb des Konkretionenhorizonts befindet sich die zweitmächtigste (circa 5 cm) Tonlage im Kohleton von Kern BI 1 (36,54-36,59 m Tiefe, → Tab. 6.27, → Abb. 6.56, → Abb. 6.80). Dieses Tonband sollte, aus pollenstratigraphischer Sicht,

dem von Müller (1992) erwähnten „Turbidit“ (→ Abb. 6.54) im Hangenden von Bilshausentephra und Lindenfall (in Kern BI 1 bei 36,74 m) entsprechen. Da der Konkretionenhorizont oberhalb der „Turbidit“-Tonlage liegt spricht neben den Ergebnissen der Röntgenfluoreszenzanalyse auch dieser stratigraphische Befund gegen eine Korrelation von Konkretionenhorizont und Bilshausentephra.

6.4.6. Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung an Kern BI 1

Wie schon aus den Kernen BT 1 und MU 1 wurden auch aus Kern BI 1 mehrere Proben für Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen entnommen. Von den Proben enthielt lediglich, die hier als BI 1 IR-RF 1 bezeichnete ausreichend Kalifeldspat für eine Datierung. Die Probe stammt aus einer sandigen Lage innerhalb der roten Tone bei 13,38-13,48 m Teufe, liegt also mehr als 30 m oberhalb der Ablagerungen des Rhume-Interglazials.

Tab. 6.30: Infrarot-Radiofluoreszenzdatierungen, Bohrkern BI 1 (nach Degering und Krbetschek, 2007). Die Alter unterstellen wassergesättigte Bedingungen. Das sich auf den *in situ* Wassergehalt beziehende Alter war 276 ± 16 ka.

Probe	Teufe [m]	Wassergehalt [%]		Kosmische Dosisrate [MGy/a]	spezifische Aktivität [Bq/kg]			Paläodosis [Gy]	Alter [ka]
		<i>in situ</i>	gesättigt		²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K		
BI 1 IR-RF 1	13,38-13,48	25 ±3	38 ±4	47 ±5	43,28 ±0,87	50,0 ±1,8	1011 ±13	1235 ±56	303 ±19

6.4.7. Bilshausen – Diskussion

Das ermittelte IR-RF-Alter kommt (ähnlich dem Alter für die Sandprobe aus dem Hangenden von Kern BT 1) am Übergang der marinen Isotopenstadien 8/9 zu liegen (→ Abb. 4.1). Da sich innerhalb der roten Tone kein Hiatus andeutet und diese augenscheinlich stetig in die Kohletone übergehen (respektive umgekehrt) wäre das Interglazial von Bilshausen MIS 9 zuzuordnen. Diese Zuordnung steht jedoch in Konflikt mit der Infrarot-Radiofluoreszenz Datierung der Kieselgur aus Kern MU 1, nach welcher das Interglazial von Munster/Breloh mit MIS 9 zu korrelieren wäre. Die Interglazialabfolgen von Bilshausen und von Munster/Breloh sind aber aus palynologischer Sicht nicht äquivalent.

Wieder fehlt es, um zu einer haltbaren Aussage zu kommen, an weiteren Datierungen. So gelang weder aus dem unmittelbaren Umfeld im Hangenden oder

aus dem Liegenden des Bilshausener Kohletons, noch aus dem Kohleton selbst eine Altersbestimmung. Gegebenenfalls könnten die roten Tone auch einen nicht offensichtlichen Hiatus enthalten.

Die grau gefärbten, pollen- und kalkfreien, tonigen Lagen werden auf Grund ihrer normalen Gradierung als Suspensionslagen interpretiert. Die Pollenfreiheit spricht für eine kurze Sedimentationsdauer, aber auch gegen eine Interpretation dieser Lagen als Trübestrome (Turbidite). Ob diese Sedimentationsereignisse in Verbindung zu jahreszeitlichen Abläufen (Regenfälle, Schmelzwässer) stehen, könnte theoretisch anhand von Pollenanalysen ermittelt werden. In der Praxis lassen die niedrigen Sedimentationsraten, zwischen etwa 0,35-0,45 mm/Jahr, eine palynologische Auswertung mit einer jährlichen oder gar jahreszeitlichen Auflösung jedoch kaum zu. An zweien dieser Lagen konnten an deren Basis Holzkohlefliitter (beziehungsweise inkohlte Holzflitter) gefunden werden. Ein systematischer Zusammenhang mit Waldbrandereignissen scheint aber nicht zu bestehen, da insbesondere im Bereich von Pollenzone h, wo vermehrt Holzkohlereste aufgefunden wurden keine signifikante Häufung von Tonlagen oder Zunahmen deren Mächtigkeiten festgestellt werden konnte. Ob das vermehrte Auffinden von Holzkohleresten in diesem Bereich in Zusammenhang mit dem Niedergang der Lindenpopulation gegen Ende dieser Pollenzone steht bleibt spekulativ. Insgesamt konnte kein Bezug zwischen Auftreten oder Mächtigkeit der Suspensionslagen zur Vegetationsdynamik festgestellt werden.

In Zusammenhang mit den beobachteten Störungen in Kern BI 1 bleibt insbesondere die Interpretation von Pollenzone f (Birken-Kiefern-Vorstoß) problematisch. Der Vergleich von Pollenprozentwert- und Polleninfluxdiagramm (→ 6.78) (und auch Pollendichtediagramm) deutet in Kern BI 1 nicht auf eine Kältephase. Allerdings wird die Interpretation durch die im betreffenden Teufenabschnitt gefundenen Störungen erschwert. Abbildung 6.79 zeigt, neben einem vereinfachten Pollenprozentwertdiagramm, ein Foto des Kernbereichs 38,00-38,50 m Tiefe, welcher das Liegende von PAZ g, sowie PAZ f und den hangendsten, unlaminierten Bereich von PAZ e beinhaltet (hellgrau markiert).

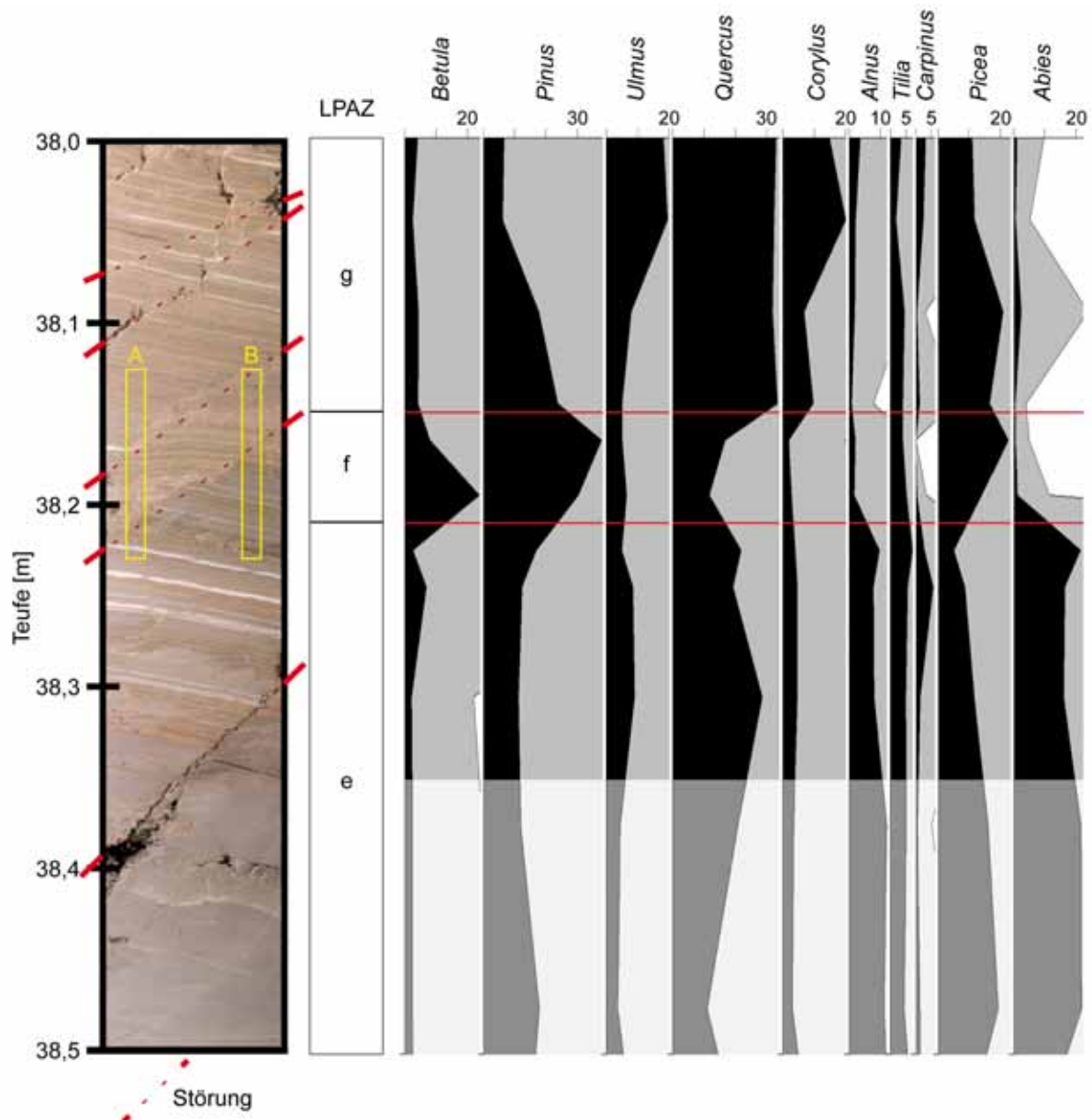


Abb. 6.79: Kernfoto und Baumpollenprozentwertdiagramm (vereinfacht) aus dem Bereich um Pollenzone f (Birken-Kiefern-Vorstoß), Kern BI 1. LPAZ: *local pollen assemblage zone*. A und B markieren zwei verschiedene, potentielle Beprobungslinien/-streifen (siehe folgenden Text).

Pollenzone f korreliert mit dem gestörten Tiefenabschnitt. Im Foto sind zwei potentielle Beprobungslinien mit A, beziehungsweise B markiert. Beprobungslinie B enthält in der tieferen Hälfte Material, welches in Beprobungslinie A nicht vorkommt. Die Pollenproben können nicht eindeutig Beprobungslinientyp A oder B zugesprochen werden, da sie aus der hier nicht dargestellten Kernhälfte stammen, welche in diesem Bereich durch diverse Beprobungen nur noch zerfallen und lückenhaft erhalten ist. Um den Pollenverlauf eindeutig mit den beobachteten Störungen in

Bezug setzen zu können müssten beide Beprobungslinien ausgewertet werden. Momentan bleibt offen, ob sich der Birken-Kiefern Vorstoß noch unterhalb der liegenden Störung im (dunkel gefärbten) tieferen Bereich von Probenlinie B, oder zwischen den beiden Störungshorizonten (oberer Abschnitt von Beprobungslinie B, beziehungsweise tieferer Abschnitt von Beprobungslinie A) abspielt. Die Störungen und das Vorhandensein von Material in Beprobungslinie B, welches in Probenlinie A nicht vorkommt belegen außerdem an, dass hier mit einem Hiatus zu rechnen ist.

Die von Müller (1992) beschriebene, etwa 4 mm mächtige, knapp unterhalb eines „Turbidits“, im Bereich des Lindenfalls liegende, Bilshausentephra konnte als solche nicht gefunden werden. Allerdings befindet sich im Bereich der Pollenzonengrenze h/i, bei 36,54-36,59 m Teufe, eine der pollenfreien Suspensionslagen, die stratigraphisch der von Müller (1992) als Turbidit bezeichneten Lage entsprechen sollte. Unmittelbar im Liegenden der Pollenzonengrenze h/i sind die Sedimente mehrfach gefaltet. Die Falten liegen nahezu schichtparallel (isoklinal) mit etwa horizontalen Faltenachsebenen (mikroskopisch sind auch „vollkommen“ isoklinal liegende Falten zu finden). Eine kompressive, tektonische Beanspruchung scheidet demnach aus. Die Faltung zeugt von duktiler Beanspruchung, was nur in wassergesättigtem Sediment denkbar erscheint. Folglich kam es zu den Faltungen noch während der See von Bilshausen als solcher existiert hat. Insgesamt kann der Teufenbereich zwischen etwa 36,80-37,10 m als Scherzone zwischen einem liegenden und einem, abrutschenden hangenden Sedimentpaket gedeutet werden. Im Kern BI 1 sind dabei die eigentlichen Scherhorizonte, also die untere Schichtfläche des hangenden Sedimentpaketes, beziehungsweise die obere Schichtfläche des liegenden Sedimentpaketes nicht zu definieren. Es bleibt spekulativ ob die Scherflächen als mit Hiatae behaftete Störungen oder eher als kontinuierliche Übergänge in den verfalteten Scherbereich ausgebildet sind. Das Nichtauffinden der von Müller (1992) unmittelbar im Teufenhorizont des Lindenfalls beschriebenen vulkanischen Asche kann als Indiz gewertet werden, dass im Bereich der Scherzone mit Schichtlücken zu rechnen ist. Abbildung 6.80 illustriert die Situation anhand von Kernfotographien, Detailausschnitten aus den Pollenprozentwertdiagrammen und den Röntgenfluoreszenzanalysen (→ Abb. 6.68). Bei den Palynomorphen fällt im jüngeren Abschnitt von Pollenzone h die starke Präsenz der hier nicht dargestellten Ölalge *Botryococcus* auf (→ Abb. 6.69 b, Abb.6.70 b, Abb.6.76 b, und Abb.6.77 b).

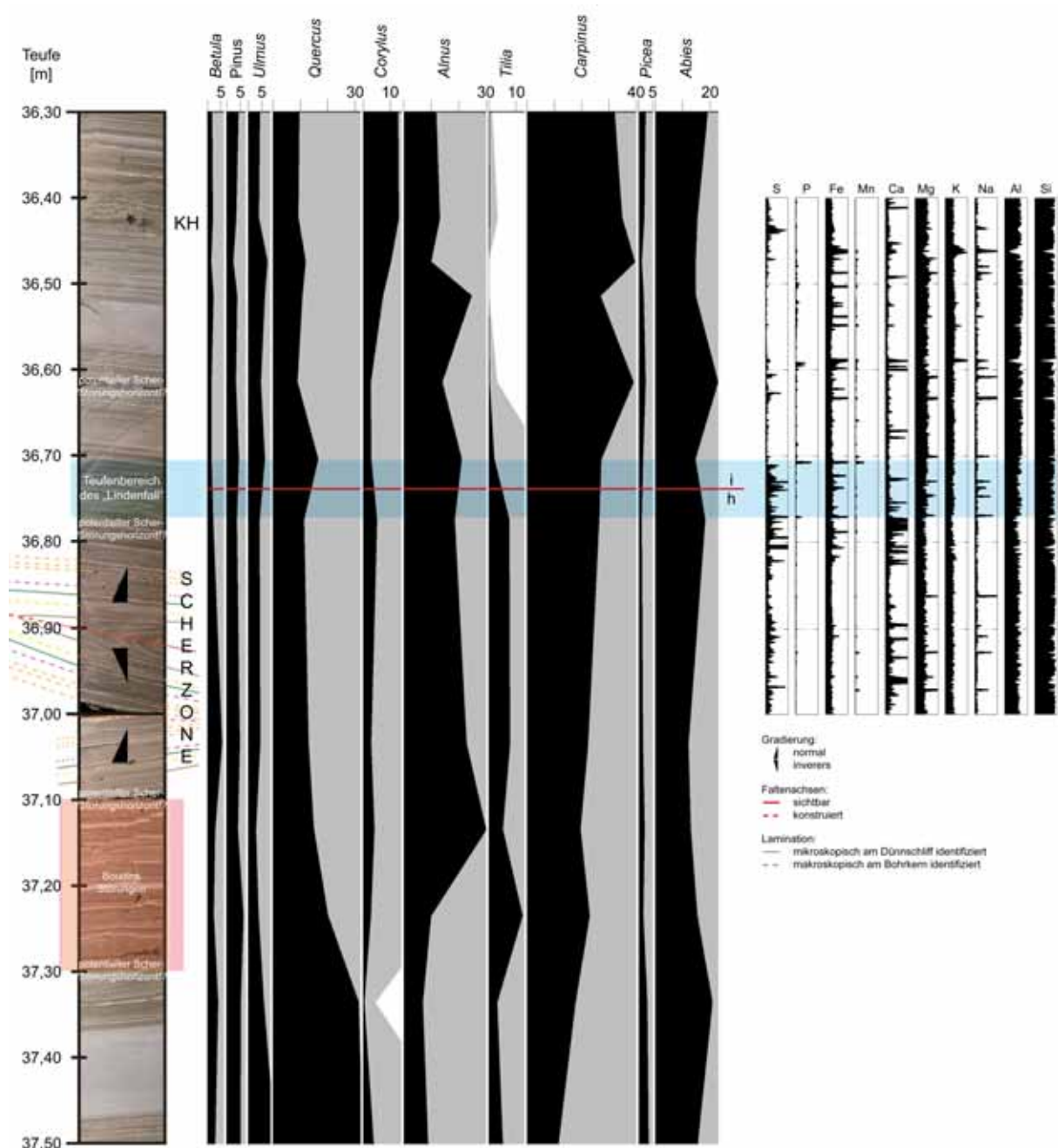


Abb. 6.80: Pollenprozentwertdiagramme Baumpollen und μ XRF-Analyse aus dem Teufenbereich der Pollenzonengrenze h/i („Lindenfall“), der unmittelbar im Liegenden dieser Grenze befindlichen Scherzone und des Konkretionshorizontes (KH). Die Tonlage zwischen 36,50-36,60 m Teufe wird als der von Müller beschriebene Turbidit im Hangenden von Bilshausentephra und Lindenfall (\rightarrow Abb. 6.54).gedeutet.

Die durchgeführten Röntgenfluoreszenzanalysen zeigen im Bereich des Lindenfalls (und undeutlicher im Bereich der Scherzone) sowie im Bereich des Konkretionshorizontes erhöhte Schwefelgehalte innerhalb des Bilshausener Kohleton. Als Quelle wären syndimentäre Einträge in Folge von zum Beispiel Gipserosion oder

postsedimentäre Anreicherungen durch Grundwässer, aber auch ein Eintrag über Aerosole (saurer Regen, Waldbrände), gegebenenfalls in Zusammenhang mit einem vulkanischen Ereignis diskutierbar. Ob die Schwefelanreicherung im Bereich des Lindenfalls jedoch eine einmalige, eindeutig mit Pollenzonengrenze h/i in Bezug zu setzende, chemische Signatur darstellt kann nur durch eine entsprechende Analyse des gesamten Kohletons endgültig geklärt werden.

In Kern BI 1 treten neben duktilen Störungen, wie der im unmittelbar Liegenden von Pollenzonengrenze h/i, zahlreiche spröde Störungen auf. Diese Störungen zeichnen sich durch abrupte Wechsel im Einfallen der Lamination und durch abreißende und/oder brekziöse Laminae entlang relativ scharf begrenzter Störungsflächen aus. Sie können so nicht in den wassergesättigten Seesedimenten, sondern müssen postsedimentär, nach dem Trockenfallen/Verlanden des Sees entstanden sein. Als Ursachen wären Setzungserscheinungen in Folge des Tonabbaues denkbar. In der Tongrube wurden jedoch die über dem Kohleton liegenden Tone (oberer roter Ton, Gelckenbacht) (→ Abb. 10.25) abgebaut. Der Kohleton selbst bildete in dem ehemaligen Abbaugbiet also die Sohle des Tagebaubetriebes. Folglich sollten nicht der Kohleton, sondern die hangend dazu lagernden Schichten abbaubedingte Störungen aufweisen. Demzufolge scheinen die beobachteten Störungen nicht anthropogenen Ursprungs. In Betracht zu ziehen sind daher auch anhaltende Subrosionsvorgänge die zu Verstürzen führen, wie sie auch für die Entstehung der Senken des Untereichfeldes diskutiert werden.

Insgesamt deuten die in Kern BI 1 gefundenen Störungen, die von gewarvten Sedimenten eingeschlossenen unlaminieren Bereiche und die, beim Vergleich der von Müller bearbeiteten Kerne 1/62 und 1/78 gefundene, Umlagerung in Pollenzone i auf potentielle, nicht erkannte Hiatae oder Umlagerungen.

Das, unter diesen Vorbehalten zu betrachtende, Alters-Tiefen-Modell von Kern BI 1 liegt mit den resultierenden Abschätzungen von 26000 Jahren, respektive von 22000 Jahren für die Dauer der Rhume-Warmzeit (PAZ c-k) etwas unter der Schätzung in Müller (1992) von etwa 27000 Jahren. Tabelle 6.31 stellt die Pollenzonendauern nach Müller denen in dieser Arbeit ermittelten gegenüber. Die den Publikationen von Müller entnommenen PAZ-Dauern sind normal, aus diesen Werten abgeleitete PAZ-Dauern sind kursiv gedruckt. Bei Kern 1/78 ist PAZ-Grenze f/g, wie sie in den

Abbildungen von Müller (1992) gezogen wurde in rot, der von Müller (1965) ursprünglich definierten PAZ f/g Grenze (schwarz) (→ Tab. 6.25) gegenübergestellt. Bei Kern BI 1 ist die palynologisch mit den Pollendiagrammen nicht klar definierbare Liegendgrenze von PAZ c auf Grund sedimentologischer Betrachtungen bei 44,40 m Tiefe angenommen (rot). Grün gehalten sind die Zeitdauern der Pollenzonen c, e und h, wie sie sich bei Interpretation der ungewarvten Teufenbereiche als *events*, beziehungsweise bei Berücksichtigung der Verfaltung in LPAZ h ergeben. Die Dauer von Pollenzone f ist spekulativ. Die jahresgenauen Angaben ergeben sich rechnerisch.

Tab. 6.31: Pollenzonen des Rhume-Interglazials und ihre Dauer nach Müller (1965, 1979, 1992) und nach dem für Kern BI 1 aufgestellten Alters-Tiefen Modell. PAZ: *pollen assemblage zone*, o. r. T.: oberer roter Ton.

P A Z	Dauer [a]											
	Müller								BI 1			
	1965		1979		1992							
o. r. T	I		> 650		-		-				> 659	
K O H L E T O N	k	2200	~ 27000-35000	2250	~ 30000	2200	5600	~ 27000	2087	26216 (21804)	5399	
	j	1000		1000		3400			902			
	i	6000-14000		9000		5000-6000			2410			
	h	1200		1500		4000-5000 (3000-4000)	2105 (1605)		3870 (3370)			
	g	1800		2000		~1000 (2000)	1574					
	f	400		500		5000-6000	191					
	e	4000		3250		9000	7034 (4335)		7034 (4335)			
	d	6000		6000			5171		9913 (8700)			
	c	4500		4750			4742 (3529)					

7. Vergleich: Döttingen – Hetendorf/Bonstorf – Munster/Brehloh

Das Profil Döttingen liefert die vollständigste palynostratigraphische Abfolge des Holstein-Interglazials, ist jedoch unlaminiert und erlaubt keine Aussage über die Dauer der einzelnen pollenfloristischen Abschnitte. Die Pollenprofile der Lokalität Munster/Brehloh dokumentieren lediglich einen Zeitabschnitt des mittleren bis ausklingenden Holstein, sind aber bereichsweise gewarvt und lassen daher Aussagen, beziehungsweise Schätzungen über die Dauer einzelner holsteinzeitlicher Abschnitte zu. Ähnliches gilt für die Lokalität Hetendorf/Bonstorf, die dem beginnenden Holstein zugeschrieben werden kann. Der im Zuge der vorliegenden Arbeit dokumentierte Bohrkern BT 1 lässt sich zwanglos mit den von Meyer (1974) veröffentlichten Pollendiagrammen aus der gleichen Kieselgurlagerstätte korrelieren. Die von Meyer (1974) und Müller (1974) gemachte Einstufung der betreffenden Kieselgurlager ins Holstein konnte bestätigt werden. Folglich lassen sich die von Meyer (1974), durch Warvenzählungen an einem laminierten Bohrkern aus der Kieselgurlagerstätte Hetendorf/Bonstorf abgeleiteten, Zeitspannen für die, von ihm definierten, Pollenzonen des beginnenden Holstein mit denen aus Munster/Brehloh für das mittlere und ausklingende Holstein verknüpfen und auf das Pollenprofil von Döttingen übertragen. Aus Plausibilitätsbetrachtungen bezüglich so zu generierender Sedimentations- und/oder Pollen*influx*raten für das Profil Döttingen ließen sich so auch gegebenenfalls Anhaltspunkte, insbesondere über die Korrektheit der nur interpolativ und widersprüchlich bestimmten Zeitspannen für die Pollenzonen XII und XIII ableiten.

Um das aus den Lokalitäten Hetendorf/Bonstorf und Munster/Brehloh abgeleitete Zeitmodell des Holstein auf das Pollenprofil Döttingen übertragen zu können, muss zunächst eine Korrelation der LPAZ aus Döttingen mit der klassischen Pollenzonengliederung des Holstein nach Müller (1974) erfolgen. Tabelle 7.1 zeigt die hier vorgenommene Pollenzonenkorrelation und die den einzelnen Pollenzonen zugewiesenen Zeitspannen. Da nicht alle Pollenzonenkorrelationen gleich zuverlässig sind wurden eindeutige Zuordnungen in Tabelle 7.1 fett, weniger sichere Korrelationen normal gedruckt. Für die Pollenzonenkorrelation PAZ XIII-XIV (Munster/Brehloh) mit den LPAZ 5c-7a (Döttingen) ergeben sich zwei Korrelationsansätze, die in Tabelle 7.1 mit Fragezeichen gekennzeichnet sind. Die Zuordnungen sind in dem der Tabelle folgenden Text erläutert.

Tab. 7.1: Korrelationsmodelle (KM 1, 2) zur holsteinzeitlichen Pollenzoneneinteilung nach Müller/Meyer (1974) mit den LPAZ des Profils Döttingen (DOE 3). Zeitspannen nach den Alters-Tiefen-Modellen der Kerne MU 1, 2 und den Pollenzonendauern von Müller/Meyer (1974). Rot und kursiv: überwiegend oder völlig auf Schätzungen, schwarz: überwiegend oder völlig auf Warvenzählungen beruhende Zeitspannen. LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*.

PAZ		LPAZ		Dauer [a]					
Müller/Meyer (1974)		DOE 3		MU 1		MU 2		Müller/Meyer (1974)	
		KM 1	KM 2						
XIV		7a ? 6b ?	6a ? 5c ?						
XIII		6a ? 5c ? 5b 5a	5b 5a	-		≥ 817 - ≥ 980		1000 - 1500	
XII	c	I H C M	4d 4c 4	3153	6235 - 7378	1617	4757 - 5542	4000 - 5000	
	b			- 3783		- 1940			2822
	a			2744 - 3257		1439 - 1543			319 - 320
XI				338					
X				402		374		300-500	
IX				≥ 1321 ≥ 1170		1670		≈ 1600	
VIII				≥ 537		994		≥ 1000	
VII				-		317		200-400	
VII	C	3b 3a	3	-	-	566	2822	≥ 2500	
	B			-		1271			
	A			-		985			
VI				-		≥ 203		≈ 1000	
V				-		-		≈ 1000	
IV				-		-		≈ 600	
III				-		-		≈ 500	
II				-		-		≈ 300	
I				-		-		≤ 600	

Die Korrelation der lokalen Pollenzonen des Pollenprofils Döttingen mit den PAZ aus Munster/Brehloh gelingt bezüglich einzelner Pollensubzonen sowie ab Müllers Pollenzone XIII, respektive ab LPAZ 5a/b des Kerns DOE 3 nur unter Vorbehalt. So ist LPAZ 1 (DOE 3) zwar mit den PAZ I-IV (Hetendorf/Bonstorf) korrelierbar, die genaue Zuordnung der Subpollenzonen 1a und 1b bleibt aber, insbesondere auf Grund der unterschiedlichen zeitlichen Auflösung der betreffenden Kerne unscharf. Die von *Taxus* geprägte LPAZ 3 (DOE 3) entspricht mit Sicherheit PAZ VII in Munster/Brehloh, das Eichenmischwaldoptimum von LPAZ 2 (DOE 3) daher den Pollenzonen V und VI nach Müller (1974). Der von Müller vorgenommenen Untergliederung von PAZ VII in drei Subzonen steht in Profil DOE 3 eine, auf Grund der in beiden Lokalisationen unterschiedlich definierten Pollenzonensubgrenzen, nicht eindeutig zuordenbare, Zweigliederung der betreffenden LPAZ 3 entgegen. Müllers älterer Birken-Kiefern-Vorstoß (PAZ VIII) wiederum ist klar mit Pollenzone 4a des Profils Döttingen gleichzustellen. Die darauf folgende Phase von aufkommender und maximaler Hainbuchenpräsenz in Müllers Pollenzonen IX und X entspricht LPAZ 4b des Kerns DOE 3. Müllers jüngerer Birken-Kiefern-Vorstoß ist in dieser Form im Pollendiagramm von Döttingen nicht ausgebildet. Wiederum sicher korrelierbar ist aber die, in Munster/Brehloh mit dem 2. BKV eingeleitete, Zeit des intraholsteinzeitlichen *Carpinus* Minimums (IHCM). Das IHCM entspricht im Profil Döttingen der lokalen Pollenzone 4c, welche somit den PAZ XI und XIIa, sowie dem ältesten Abschnitt von PAZ XIIb in Munster/Brehloh gleichkommt. Die jüngere Phase von PAZ XIIb und die gesamte Pollenzone XIIc, bis zur, durch das Aufkommen von *Pterocarya* definierten, Pollenzonengrenze XIIc/XIII entsprechen Döttingens Pollenzone 4d. Die durch die Präsenz von *Pterocarya* und von abfallenden Prozentwerten insbesondere bei *Alnus* und *Quercus* geprägte PAZ XIII nach Müller (1974) ist den LPAZ 5a und 5b in Kern DOE 3 zuzuordnen. Ab LPAZ 5c (DOE 3) ist eine sichere Korrelation der LPAZ Döttingen mit den PAZ von Müller (1974) nicht mehr möglich. In Kern MU 2 war innerhalb Pollenzone XIII ein unstabiler, gestörter Übergang von massiger Kieselgur zu mit Kieselgur vermengten Sanden zu beobachten. Pollenzone XIII selbst war also nicht vollständig überliefert. Die Pollenzonen XIV-XVIII nach Müller (1974) konnten erstens nicht bestätigt werden. Zweitens wären auf Grund des sedimentologischen Befundes (welcher im entsprechenden Teufenbereich Umlagerungen und/oder Störungen impliziert) auch bei Übereinstimmung der in Kern MU 2 gefundenen Pollenkurvenverläufe mit Müllers Pollenzonen XIV-XVIII, die

Pollenkurven lediglich als verfälschtes und/oder als diskontinuierliches Zeugnis der Florenentwicklung im Spätholstein zu werten. Im Profil Döttingen konnten ebenfalls keine zwei postholsteinzeitlichen, interstadialen Phasen, entsprechend Müllers Pollenzonen XVI und XVIII gefunden werden. Es verbleiben zwei gegensätzliche Deutungsmöglichkeiten (Korrelationsmodell 1 & 2):

- 1) Die Pollenzonen 5c und 6a korrelieren mit der ausgehenden PAZ XIII von Müller (1974). LPAZ 6b und 7a mit PAZ XIV und LPAZ 7b mit der auf das Holstein folgenden Fuhne Kaltzeit. Die von Müller (1974) postulierten beiden Nachschwankungen sind in dieser Form nicht existent. In diesem Falle wäre das im Profil Döttingen auffällige, zwischenzeitliche *Alnus*-Minimum der LPAZ 5b/c eine regionale Erscheinung.

Die Dokumentation der Florenentwicklung reißt im Profil MU 2 in Pollenzone XIII ab. In den Profilen von Müller (1974) ist spätestens nach/in PAZ XIV keine kontinuierliche Überlieferung mehr gewährleistet. Die genaue Interpretation von PAZ XIV bleibt anhand Müllers Pollenprofilen schwierig. Zwar erreicht die auf Grund regional-edaphischer Gegebenheiten schon während des gesamten Holstein in Munster/Breloh vorherrschende *Pinus* ein absolutes prozentuales Maximum, jedoch bleiben während dieser Pollenzone gemäß den Pollendiagrammen der Kerne KS 416/71 und KS 407/71 (→ Abb. 6.24) sowie der Profile 1 und 2 aus der Kieselgurgrube Else II (→ Abb. 6.26) Vertreter des Eichenmischwaldes oder andere thermophile Florenelemente wie *Abies*, *Carpinus*, *Fagus* oder *Pterocarya* präsent. Eine Interpretation dieser Pollenzone als boreal geprägter Übergang zu einer nachfolgenden Kaltphase darf daher zumindest in Frage gestellt werden. Der Nichtbaumpollengehalt in PAZ XIV bleibt auf dem in PAZ XIII erreichten, gegenüber PAZ XII leicht erhöhten, Niveau. Aus diesen Betrachtungen ergibt sich die zweite Korrelationsmöglichkeit der LPAZ Döttingen mit der holsteinzeitlichen Pollenzonengliederung nach Müller (1974):

- 2) In Munster/Breloh ist das späte Holstein nicht (oder/beziehungsweise nur reliktlisch und verfälscht) überliefert. PAZ XIV (Munster/Breloh) entspricht LPAZ 5c (DOE 3). Döttingens LPAZ 6a ist in Munster/Breloh (oder zumindest in den vorhandenen Profilen) nicht überliefert. LPAZ 6b und 7 entsprechen den von Ericaceae und *Sphagnum* geprägten sandigen Partien im Hangenden der Kieselgur von Munster/Breloh. In diesem Falle entspräche das im Profil Döttingen auffällige, zwischenzeitliche *Alnus*-Minimum der LPAZ 5b/c der

ausgehenden Pollenzone XIII, sowie Pollenzone XIV in Munster/Breloh und könnte eine überregionale Erscheinung sein.

Alle hier vorgenommenen Pollenzonenkorrelationen setzen stillschweigend voraus, dass die Florenentwicklung innerhalb des hier diskutierten geographischen Rahmens (Lüneburger Heide – Rheinisches Schiefergebirge) einer gemeinsamen Grund-sukzession folgt. Dies scheint bei Betrachtung zahlreich vorliegender holozäner, eem-, aber auch holsteinzeitlicher Pollenprofile, die alle, für das jeweilige Interglazial, typische pollenfloristische Abfolgen aufweisen, gegeben. Dieser Ansatz ignoriert jedoch neben regionalen Gegebenheiten vor allem die geographische Lage glazialer Rückzugsgebiete einzelner Arten in Bezug zu den Profillokalitäten und das daraus resultierende, regional potentiell zeitversetzte Einwandern im Interglazial. Der Übertrag der in Munster/Breloh beziehungsweise Hetendorf/Bonstorf ermittelten PAZ-Zeitspannen auf diejenigen der Pollenzonen von Döttingen setzt zudem voraus, dass diese an den verschiedenen Standorten etwa gleich lang verliefen. Bei Zuweisung von absoluten Altern wären zudem zeitliche Verschiebungen der Pollenzonengrenzen zwischen unterschiedlichen geographischen Standorten zu diskutieren.

Anhand Tabelle 7.1 und aufgeführten Pollenzonenmächtigkeiten in Kern DOE 3 (→ Tab. 6.5) können nun durchschnittliche Sedimentationsraten für die LPAZ von Kern DOE 3 berechnet werden. Tabelle 7.2 listet die Ergebnisse auf. Dabei wurden, soweit möglich, die an den Kernen MU 1 und MU 2 gewonnenen Daten verwendet. Die Dauer von LPAZ 4d des Profils DOE 3 errechnet sich dabei aus den Pollenzonendauern Munster/Breloh als Summe der Dauern von PAZ XI und XII abzüglich der Dauer des IHCM.

Tab. 7.2: Lokale Pollenzonen des Kern DOE 3, nach Tabelle 7.1 zugewiesene Pollenzonendauern (auf 50 Jahre gerundet), *event*-freie Pollenzonenmächtigkeiten (→ Tab. 6.5) und resultierende durchschnittliche Sedimentationsraten. Rot und kursiv: überwiegend oder völlig auf Schätzungen, schwarz: überwiegend oder völlig auf Warvenzählungen beruhende Zeitspannen und daraus resultierende Sedimentationsraten. Bei den LPAZ sind jeweils in Klammern die entsprechenden Pollenzonen nach Müller (1974) beigefügt. KM 1, 2: Korrelationsmodelle 1 & 2, LPAZ: *local pollen assemblage zone*, IHCM: *intraholsteinian Carpinus minimum*.

DOE 3							
LPAZ		Dauer [a]	Mächtigkeit (event-frei) [cm]		Sediment (ohne Tephren)	durchschnittliche Sedimentationsrate [mm/a]	
KM 1	KM 2		KM 1	KM 2		KM 1	KM 2
7a 6b (XIV)	5c (XIV)	-	118,5	59	7a: Gyttja (unlaminierter) & Silt, 6b: Silt 5c: Diatomeengyttja (unlaminierter)	-	-
6a 5c 5a/b (XIII)	5a/b (XIII)	1000 - 1500	300	50	6a, 5c/b: Diatomeengyttja (unlaminierter) 5b/a: Diatomeengyttja & Torf	2,00 - 3,00	0,33 - 0,50
4d (Hangendes XIIb-XIIc)		5200-6250 (MU 1) 3600-4300 (MU 2) (XI+XII-IHCM)	157		Diatomeengyttja (undeutlich laminierter)	0,25-0,30 (MU 1) 0,37-0,44 (MU 2)	
4c (XI-Liegendes XIIb) (IHCM)		1450 -	15			0,09 -	
4b (IX & X)		2650	27			0,10	
4a (VIII)		300	6			0,20	
3 (VII)		2800	32			0,11	
2 (V & VI)		≈ 2000	46			0,23	
1 (I-IV)		≈ (1400-2000)	≥ 18			Silt (karbonatish)	≥ (0,09-0,13)

Für die Diatomeengyttja der Pollenzonen 3, 4b und 4c ergeben sich nach Tabelle 7.2 Sedimentationsraten von etwa 0,1mm/a. Für die, dem 1. Birken-Kiefern Vorstoß entsprechende, LPAZ 4a errechnet sich mit 0,2 mm/a eine erhöhte Sedimentationsrate. Im Folgenden werden die nach Tabelle 7.2 kritisch zu bewertenden Zeitspannen und Sedimentationsraten für LPAZ 4 d sowie die beiden Korrelationsmodelle KM 1 & 2 diskutiert.

LPAZ 4d:

Für Pollenzone 4d ergeben sich gegenüber den durchschnittlichen Sedimentationsraten der liegenden Pollenzonen deutlich erhöhte Werte. Da LPAZ 4d aber sedimentologisch den Pollenzonen 3 und 4a-c entspricht, erscheinen die Ergebnisse für LPAZ 4d unrealistisch. Die erhöhten Werte für deren Sedimentationsrate könnten auf falschen Abschätzungen der Pollenzonendauer beruhen. Pollenzone 4d korreliert mit der nicht warvengezählten Pollenzone XIIc und dem ebenfalls nicht warvenzählbaren Hangendem der Pollenzone XIIb von Munster/Breloh. Die Zeitdauer dieser PAZ war anhand von Sedimentmächtigkeiten (unter der Annahme von Störungsfreiheit) geschätzt worden. In Kapitel 6.3. wurde an den Kernen MU 1 und MU 2 schon demonstriert, dass diese Vorgehensweise je nach Bohrkern zu stark abweichenden Ergebnissen führt, da die Pollenzonen mit verschiedenen Mächtigkeiten überliefert waren. Nimmt man versuchsweise für Pollenzone 4d eine gleich bleibende Sedimentationsrate von 0,1 mm/a an, so errechnet sich, bei 1,57 m Pollenzonenmächtigkeit (→ Tab. 6.5), mit 15700 Jahren Dauer eine unhaltbare Zeitspanne für diese Pollenzone. Diese Überlegungen legen nahe, dass Pollenzone 4d in Kern DOE 3 von Umlagerungen betroffen ist (wie es sich auch schon bei der Kernbeschreibung DOE 3 andeutete). Die hohen Sedimentationsraten nach Tabelle 7.2 implizieren, dass LPAZ 4d unverhältnismäßig mächtig ausgeprägt ist, so dass mit „Schichtverdopplungen“ innerhalb dieser Pollenzone zu rechnen ist. Dieses Szenario würde auch wieder die Annahme einer „wahren“ Sedimentationsrate um 0,1 mm/a erlauben.

Abbildung 7.1 zeigt das auf eine relative Zeitachse nach Tabelle 7.2 bezogene Pollenprozentwertdiagramm, Abbildung 7.2 entsprechend das anhand der Pollenzonendauern nach Tabelle 7.2 berechnete Pollen*influx*diagramm des Profils DOE 3 für die sicher korrelierbaren Pollenzonen 1-4. Dabei wurde für LPAZ 4d eine, im Rahmen der Schätzungen von Kern MU 2 (3600-4300 a) liegende, Dauer von 4000 Jahren angenommen, entsprechend einer Sedimentationsrate von etwa 0,39 mm/a ($\frac{1570 \text{ mm}}{4000 \text{ a}}$). Für LPAZ 4c wurden 1525 Jahre ($\frac{1450 \text{ a} + 1600 \text{ a}}{2}$), entsprechend einer

Sedimentationsrate von 0,1 mm/a ($\frac{150 \text{ mm}}{1525 \text{ a}}$), angesetzt. Für Pollenzone 1 wurde eine (fiktive) Sedimentationsrate von 0,1 mm/a veranschlagt, entsprechend einer Dauer von 1800 Jahren (18 cm Pollenzonenmächtigkeit, → Tab. 6.5).

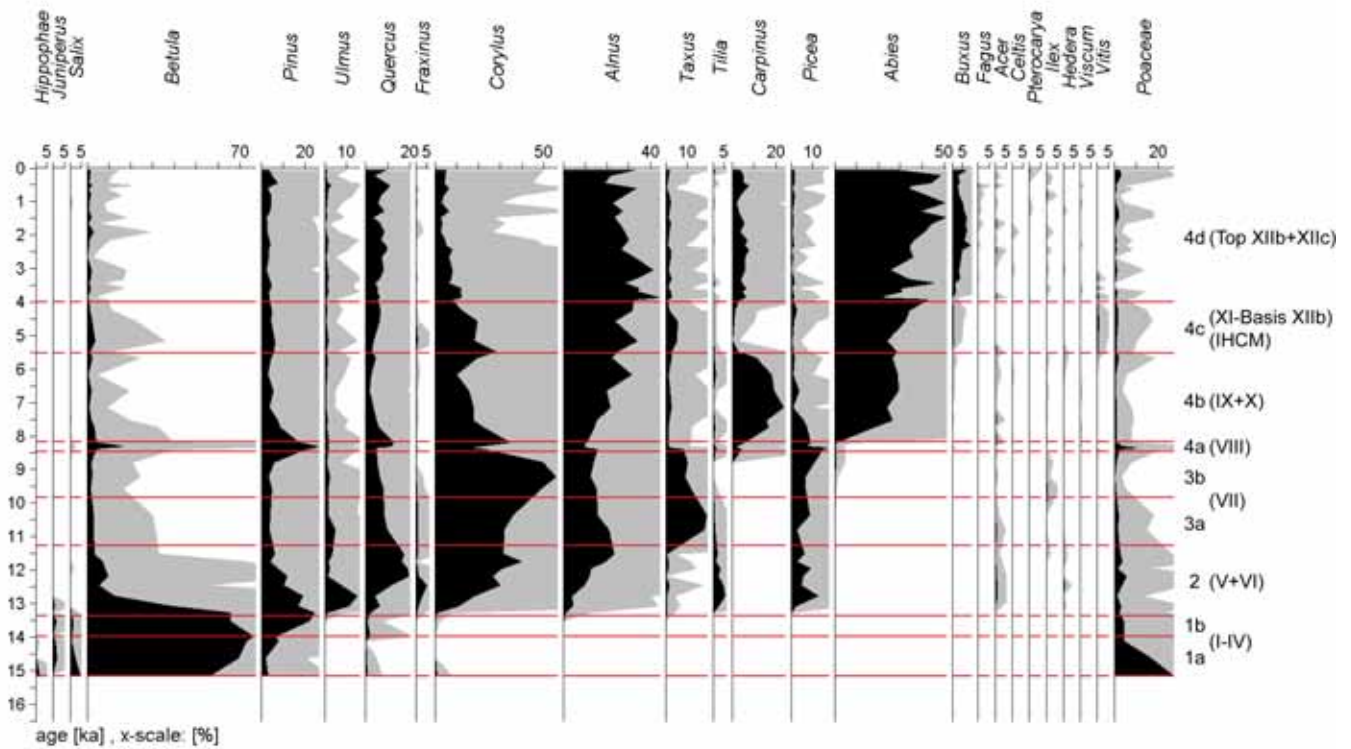


Abb. 7.1: Pollenprozentwertdiagramm LPAZ 1-4, DOE 3, (vereinfacht). Werte in % terrestrischer Pollen.

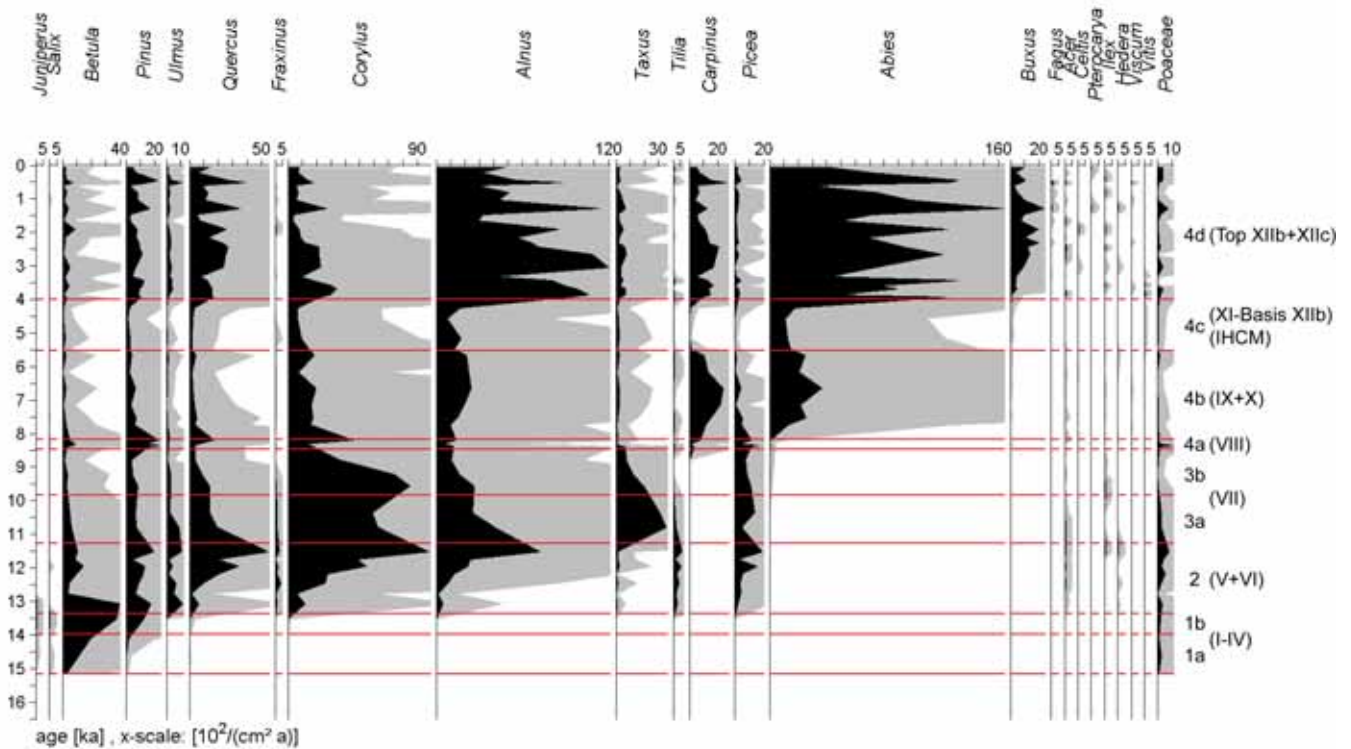


Abb. 7.2: Polleninfluxdiagramm LPAZ 1-4, DOE 3 (vereinfacht) [10^2 Pollen/($\text{cm}^2 \text{ a}$)]. Polleninfluxwerte für LPAZ 4d auf Basis einer Sedimentationsrate von 0,39 mm/a.

Das erstellte Pollen*influx*diagramm weist bei allen Taxa an der LPAZ-Grenze 4c/d einen sprunghaften Anstieg des ermittelten Polleneintrages pro Jahr und Fläche auf. Wären die erhaltenen Werte realistisch so müssten in LPAZ 4d alle Taxa jeweils (extrem) mehr Pollen produziert haben als zuvor, was prinzipiell auf zwei Ursachen zurückführbar wäre. Erstens könnten sich die Standortbedingungen so verbessert haben, dass jedes Individuum mehr Pollen produziert. Das scheint jedoch für alle Taxa gleichzeitig ausgeschlossen. Zweitens könnte ein vermehrter Pollen*influx* durch eine gesteigerte Individuenanzahl bedingt sein. Dies ist jedoch für alle Spezies gleichzeitig ebenfalls auszuschließen. Die *Influx*werte in LPAZ 4d erscheinen daher unrealistisch, beziehungsweise die für Pollenzone 4d angesetzte Sedimentationsrate als falsch. *Influx*werte im Wertebereich der sedimentologisch entsprechenden Pollenzonen im Liegenden von LPAZ 4d sollten realitätsbezogener sein.

Die *Influx*werte steigen an der Grenze LPAZ 4c/d jeweils um mindestens das 2-3 Fache. Bei *Alnus* oder *Abies* beispielsweise von etwa 2000 Pollen/(cm² a) auf minimal 4000-6000 Pollen/(cm² a). Die *Influx*werte einer Probe werden nach Formel 5.4: $I = P_v * s$, mit I : *Influx*, s : Sedimentationsrate, P_v : Pollendichte berechnet. Um also die Pollen*influx*werte in LPAZ 4d auf etwa dem Niveau vor LPAZ 4d zu halten muss die angesetzte Sedimentationsrate entsprechend verringert werden. So ergibt sich eine geschätzte Sedimentationsrate von $\frac{0,39 \text{ mm/a}}{\geq (2-3)} = \leq (0,13-0,2 \text{ mm/a})$.

Diese Werte liegen im Größenbereich der für die Pollenzonen 2-4c ermittelten*. In den Abbildungen 7.3 und 7.4 wurde für LPAZ 4d Sedimentationsrate eine von 0,15 mm/a, beziehungsweise 0,1 mm/a angesetzt um neue Pollen*influx*werte für diese Pollenzone zu berechnen. Die aus diesen Sedimentationsraten rechnerisch resultierenden längeren Zeitspannen für LPAZ 4d wurden dann wieder auf die angesetzte Dauer von 4000 Jahre für LPAZ 4d „gestaucht“.

*Diese Überlegungen führen für beliebig (anders als 0,39 mm/a) angesetzte Sedimentationsraten auf die gleichen Resultate.

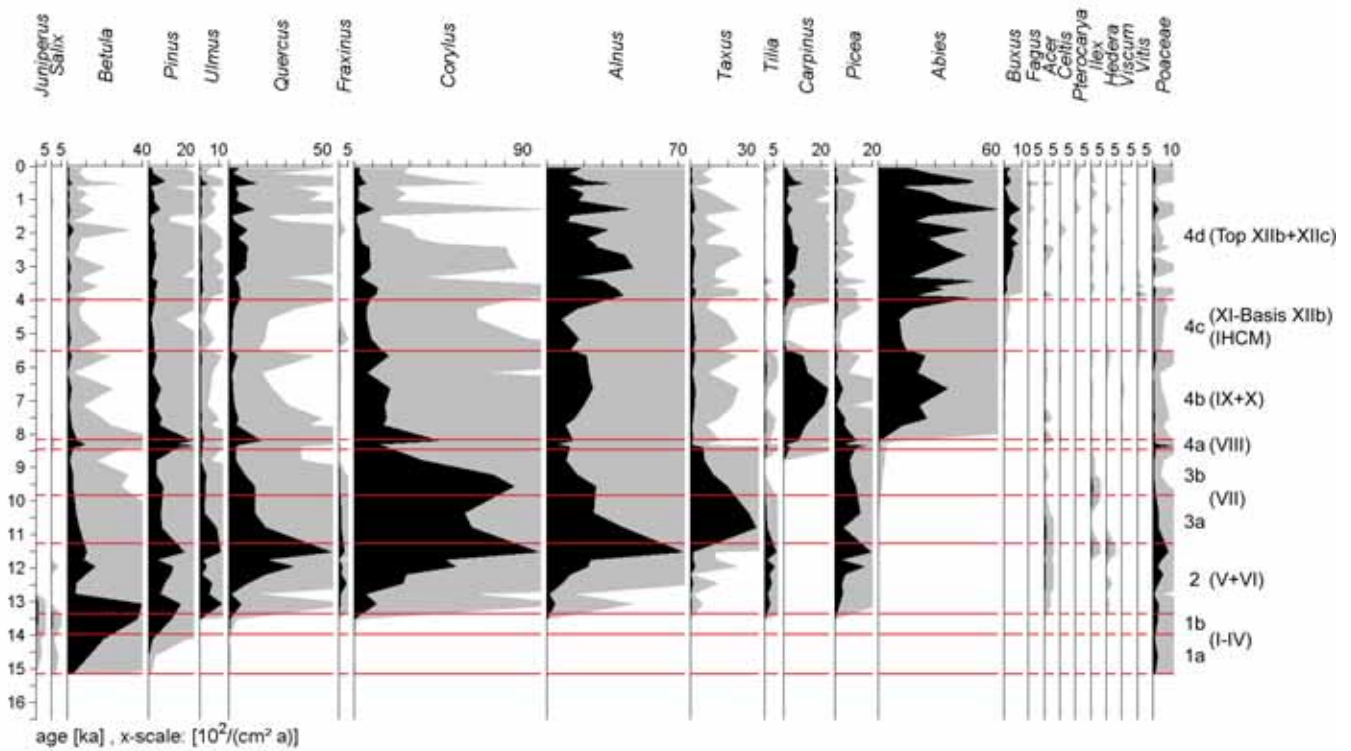


Abb. 7.3: Polleninfluxdiagramm LPAZ 1-4, DOE 3 (vereinfacht) [10^2 Pollen/(cm² a)].
Influxwerte LPAZ 4d auf Basis einer ungestörten Sedimentationsrate von 0,15 mm/a.

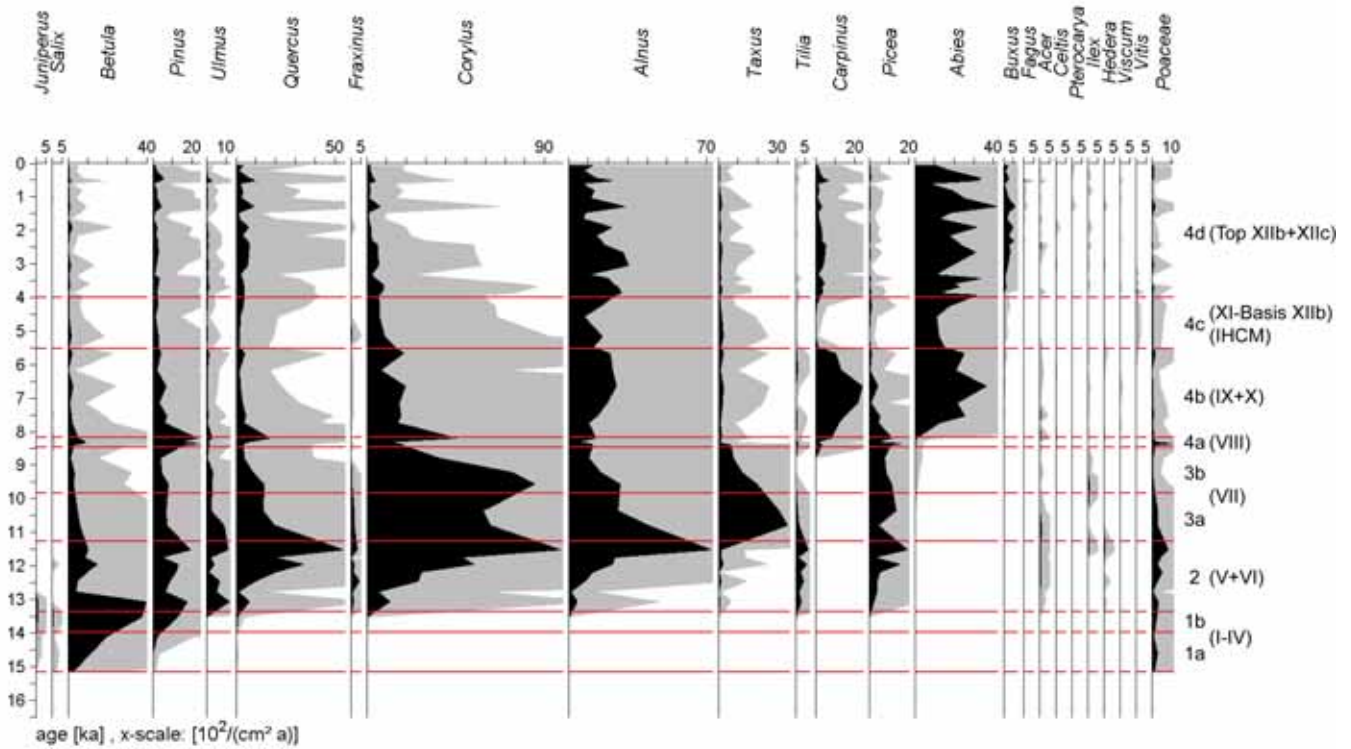


Abb. 7.4: Polleninfluxdiagramm LPAZ 1-4, DOE 3 (vereinfacht) [10^2 Pollen/(cm² a)].
Influxwerte LPAZ 4d auf Basis einer ungestörten Sedimentationsrate von 0,1 mm/a.

Bei einer angesetzten ungestörten Sedimentationsrate von 0,1 mm/a verbleiben die Polleninfluxwerte in LPAZ 4d auf dem Niveau der sedimentologisch äquivalenten LPAZ 4b/c. Diesen Überlegungen zu Folge scheint die Annahme einer den Sedimentationsraten der vorhergehenden LPAZ etwa äquivalenten ungestörten Sedimentationsrate für LPAZ 4d gerechtfertigt. Die zu postulierende Mächtigkeitsvervielfältigung von LPAZ 4d erlaubt dann aber keine auf der Sedimentationsrate beruhende Aussage über die Dauer dieser Pollenzone, deren ungestörte Mächtigkeit unbekannt bleibt. Im Folgenden wird daher eine Dauer von 4000 Jahren, entsprechend den Pollenzonenkorrelationen nach Tabelle 7.1 und den Schätzungen der Pollenzonendauer nach Kern MU 2 für LPAZ 4d (3600-4300 a) angesetzt. Dieser Ansatz impliziert eine ungestörte Mächtigkeit von LPAZ 4d von 40-60 cm ($(0,1 - 0,15 \text{ mm/a}) * 4000 \text{ a}$).

LPAZ 5a, 5b, 5c, 6a (KM 1, KM 2):

Zur Klärung der Frage welcher der Korrelationsmodelle (KM 1, KM 2) für korrekt ist liefern die Sedimentationsraten keinen Anhaltspunkt. Erstens ist die für Pollenzone XIII angenommene Dauer von 1000-1500 Jahren rein interpolativ, zweitens ist die Ermittlung einer durchschnittlichen Sedimentationsrate für den sedimentologisch heterogen (undeutlich laminierte Diatommengytija zu Beginn von LPAZ 5a, Torf/Tephra im Grenzbereich LAPZ 5a/b, massige, mit organischem Grobdetritus wie Holzstückchen vermengte, Diatommengytija in 5c und 6a) aufgebauten Teufenbereich der Pollenzonen 5-6 nicht aussagekräftig.

Um dennoch auch LPAZ 5 und 6a des Profils Döttingen auf eine Zeitachse zu beziehen muss zunächst eine Abschätzung zur Zeitspanne der Torfbildung in den LPAZ 5a/b gemacht werden. Der in Kern DOE 3 überlieferte Torf hat eine zusammenhängende Mächtigkeit von etwa 11 cm (10,24-10,35 m → Tab. 6.2) (≈ 10 cm in Kern DOE 2, → Abb. 6.7). Bei einer angenommenen Torfbildungsdauer von cirka 0,46-0,94 mm/a (Firbas and Rochow, 1956) werden im Folgenden 150 Jahre für die Torfschichten angesetzt. Die den Torf umschließenden Pollenzonen 5a und 5b, deren *event*-freie Gesamtmächtigkeit 50 cm betrug (→ Tab. 6.5), enthalten 37 cm Gytija (16 cm unterhalb des Torfes, 21 cm oberhalb des Torfes). Die nach Korrelationsmodell 2 angenommene Dauer von 1000-1500 Jahren für beide Pollenzonen ließe also noch etwa 850-1350 Jahre für die Ablagerung der Gytjen zu. Dies entspräche einer durchschnittlichen Sedimentationsrate von 0,27-0,44 mm/a. Dabei

ist jedoch zu berücksichtigen, dass erstens die Gytjen unterhalb des Torfes unter anderen Bedingungen („Verlandung“) und damit mit anderen Sedimentationsraten abgelagert wurden als diejenigen oberhalb des Torfes („Seespiegelanstieg“), zweitens, die mit Tephralage 3 verzahnten LPAZ 5a und 5b sicher nicht ungestört überliefert sind und in diesem Zusammenhang drittens, die von Pirrung (1998), beziehungsweise Stachel und Büchel (1989) berichteten Torfmächtigkeiten von 40 cm respektive 1,5 m eine potentiell längere Vertorfungsphase nahe legen.

Die Abbildungen 7.5 und 7.6 zeigen Pollenprozentwertdiagramme der LPAZ 1-6a (KM 1), respektive LPAZ 1-5b (KM 2), des Profils DOE 3, wie sie aus den Korrelationsmodellen 1 und 2 resultieren. Dabei wurde bei Verwendung von KM 1 die Dauer von LPAZ 5 inklusive 6a, bei Verwendung von KM 2 lediglich die Dauer von LPAZ 5a und LPAZ 5b auf 1250 Jahre ($\frac{1000 a + 1500 a}{2}$, → Tab. 7.1) gesetzt. Für Modell 1 ergeben sich so durchschnittliche Sedimentationsraten für die Gytjen von 2,61 mm/a, für Modell 2 von 0,34 mm/a. In beiden Modellen wurde die Torfbildungsrate mit 0,73 mm/a ($\frac{110 mm}{150 a}$) angesetzt. Das nach KM 2 entworfene Pollenprozentwertdiagramm von Döttingen stimmt für die Pollenzonen I bis XIII sehr gut mit den Pollenkurvenverläufen des Holsteins nach Müller (1974) (→ Abb. 4.3) überein.

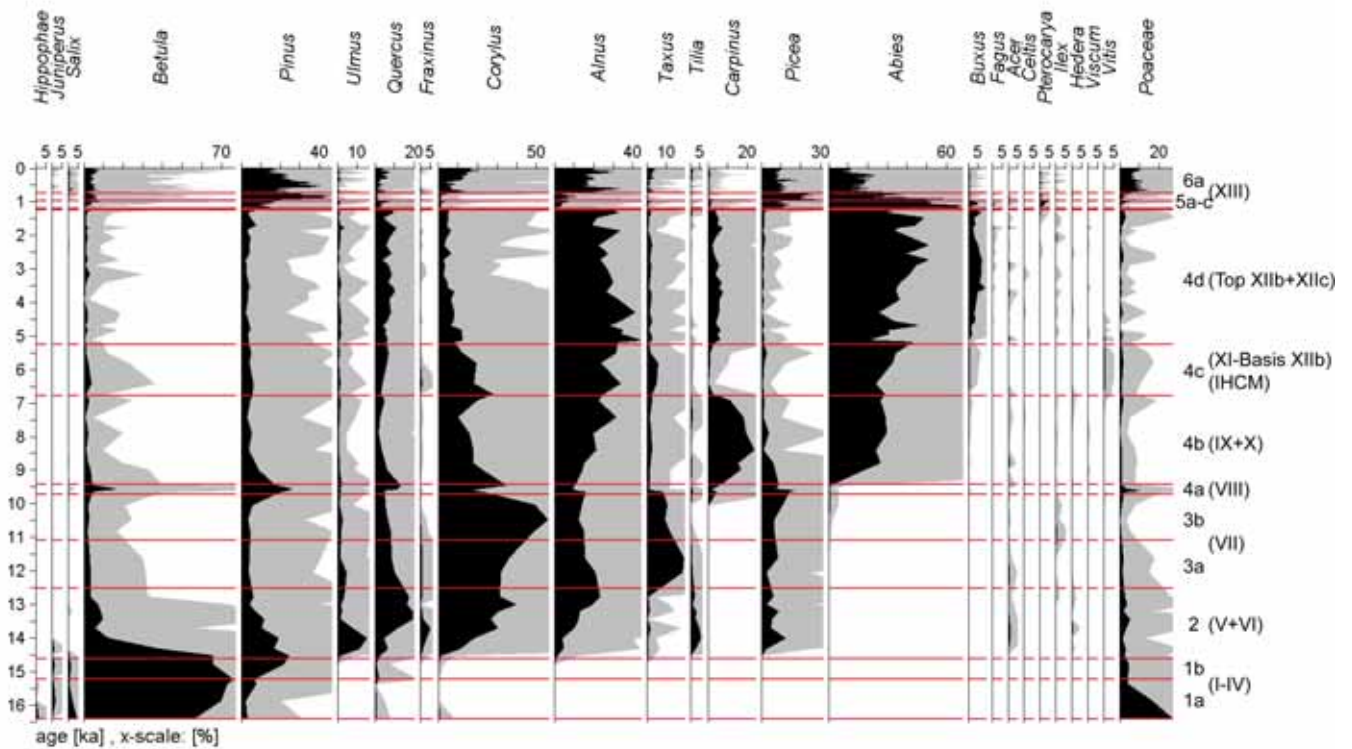


Abb. 7.5: Pollenprozentwertdiagramm LPAZ 1-6a, DOE 3. Zeitachse gemäß Korrelationsmodell 1 (LPAZ 5a-6a, DOE 3 = PAZ XIII, Munster/Brelöh).

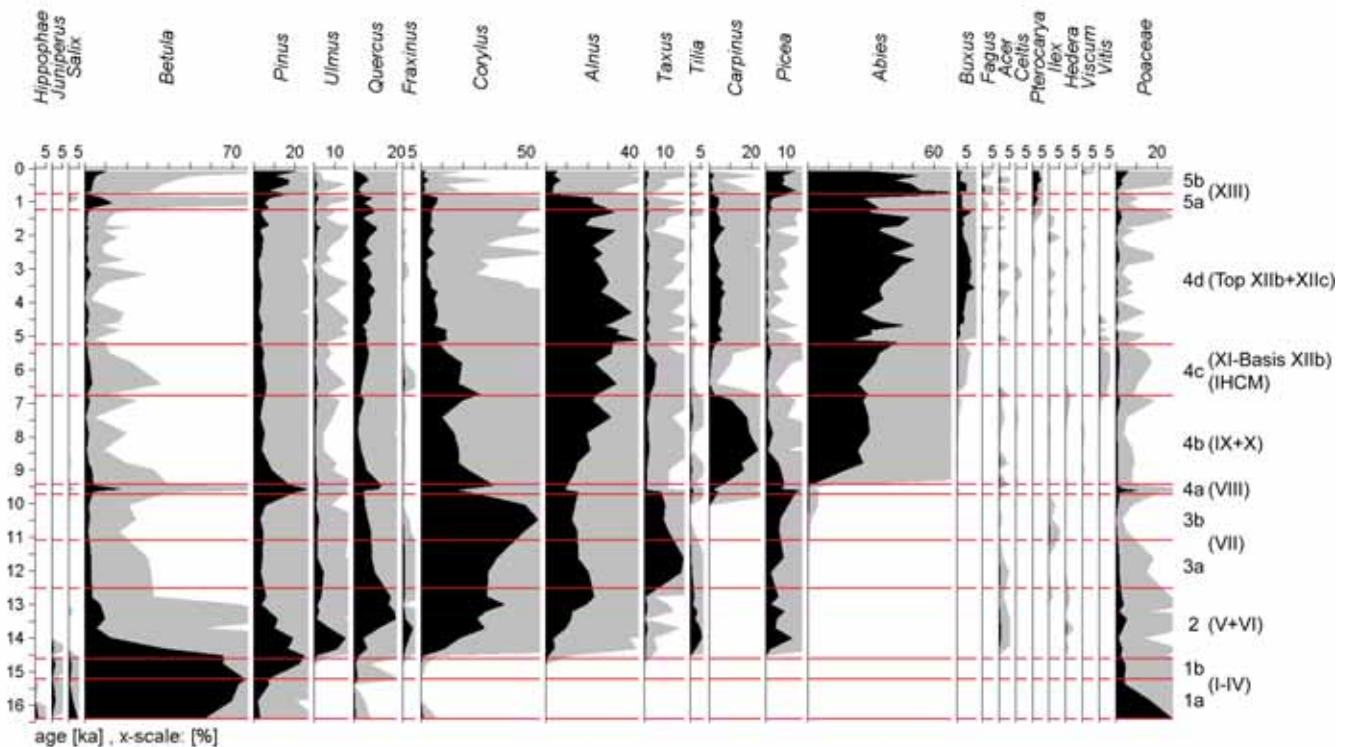


Abb. 7.6: Pollenprozentwertdiagramm LPAZ 1-5b, DOE 3. Zeitachse gemäß Korrelationsmodell 2 (LPAZ 5a-5b, DOE 3 = PAZ XIII, Munster/Brelöh).

LPAZ 6b:

Die Dauer von Pollenzone 6b des Profils Döttingen ist kaum abschätzbar. Diese Pollenzone wird gänzlich, oder zumindest anteilmäßig stark von äolischen Einträgen ohne (nennenswerten) organischen Anteil repräsentiert, die anhand ihrer internen Korngrößenverteilung als Löss zu klassifizieren sind (→ Abb. 6.11). Das bedeutet, dass die Sedimentationsprozesse innerhalb LPAZ 6a zu einem Großteil, wenn nicht überwiegend oder gänzlich von *event*-artigen Ereignissen geprägt sind und weniger, kaum oder gar nicht kontinuierlich verliefen. Vermutet man für ein „Staubereignis“ Einträge im Millimeter- bis Subzentimeter-Bereich, so ergäbe sich für die 40 cm mächtige LPAZ 6b (→ Tab. 6.5) eine *event*-Anzahl im 10er-100er Bereich. Geht man von mindestens einem solchen *event* pro Jahr aus (oder einer mehr oder minder kontinuierlichen Staubeinwehung über ein Jahr oder eine Jahreszeit), so sollte die Dauer von LPAZ 6a im dekadischen bis maximal 100er Jahre Bereich liegen.

LPAZ 7a:

Die insgesamt 645 mm mächtigen, von einer 14 cm starken Siltlage unterbrochenen Gytjen von LPAZ 7 a (→ Tab. 6.5) lassen auf Grund ihrer, auf synsedimentäre Umlagerungen deutenden, Sedimentausprägung (→ 6.1.) nur eine unbrauchbar grobe Eingrenzung einer maximalen Pollenzoneendauer zu. Würde man nämlich die niedrigste gefundene interglaziale Sedimentationsrate von 0,1 mm/a als ebensolche für LPAZ 7a ansetzen (und die 14 cm mächtige Siltlage innerhalb dieser Pollenzone als *event* interpretieren), so erhielte man bei idealisierter, störungsfreier Überlieferung der Pollenzone eine Zeitspanne von maximal 6450 Jahren, jedoch ohne verlässliche Abschätzung einer Minimumgrenze oder eines Konfidenzintervalles.

LPAZ 7b:

Die Dauer der, sedimentologisch mit LPAZ 1 vergleichbaren, LPAZ 7b (→ Abb. 6.11) wäre gegebenenfalls durch die Gleichsetzung der mittleren Sedimentationsdauer von LPAZ 1 mit der von LPAZ 7b abschätzbar. Dabei muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass die Dauer von LPAZ 1 zum Großteil auf Schätzungen beruht (Meyer, 1974) und dass die Liegendgrenze von LPAZ 1 in Kern DOE 3 nicht erfasst wurde, weshalb die ermittelte Sedimentationsrate von 0,09-0,13 mm/a (→ Tab. 7.2) als Untergrenze anzusehen ist. Zudem gilt hier dieselbe Diskussion wie zu LPAZ 6b. Daher bleibt auch für diese Pollenzone jede Abschätzung einer Dauer spekulativ.

8. Diskussion, Ergebnisse

Datierungsversuche:

Die Infrarot-Radiofluoreszenzdatierungen geben insgesamt ein unbefriedigendes, auf Grund mangelnder Datenmenge kaum interpretierbares Bild. Von den beiden in interglazialen Ablagerungen (Hetendorf/Bonstorf beziehungsweise Munster/Breloh) gemachten Datierungen kommt nur die von Kern MU 1 innerhalb eines interglazialen marinen Isotopentadiums zu liegen, nämlich innerhalb MIS 9. Die aus sedimentologischer Sicht ungünstig platzierte Probe BT 1 IR-RF 2, in einem potentiell von Umlagerungen betroffenen, stark sandigen, einen wahrscheinlichen Störungshorizont beinhaltenden, Bereich spiegelt in Ihrem Alter sicher nicht den Sedimentationszeitraum der organogenen, interglazialen Anteile wieder. Neben den sedimentologischen Bedenken schließt auch die palynologisch nachgewiesene hoch interglaziale Flora eine Alterstellung in der jüngeren Hälfte von MIS 8 aus.

Die Lumineszenz-Datierungen der glazialen, jeweils die Kieselgurvorkommen bei Hetendorf/Bonstorf beziehungsweise Munster/Breloh überlagernden Sande lieferten jeweils höhere Alter als die zugehörigen Datierungen aus den liegenden Kieselgurablagerungen. Hier liegt die Hauptproblematik bei der Interpretation der erhaltenen Werte in der geographisch/geologischen Situation beider Lokalitäten. Da die betreffenden Kieselgurlagerstätten in einem mehrmals glazial überprägten Gebiet liegen (Elster, Saale) und auch innerhalb eines Glazials (nämlich zumindest während der Saale) mit mehrmaligen Eisvorstößen in den betreffenden Arealen gerechnet werden muss (durch Drenthe-Endmöränen belegt, →Abb. 6.17) ist es kaum möglich die Alter mit den ihnen zugehörigen Sedimentationsereignissen zu verbinden. Lumineszenzalter zeigen, im Idealfall vollkommener Bleichung, lediglich an wann die betreffenden Sedimente letztmals dem Tageslicht ausgesetzt waren. Nur wenn während eines Sedimentationsprozess eben dies geschieht, entspricht das Lumineszenz-Alter dem Sedimentationsalter. Genau dieses ist aber bei glazialer oder (gazi)fluvialer Sedimentation nicht zwingend gegeben. Sicher ist lediglich, dass der letzte, unter Lichteinfluss gestandene, Sedimentationsprozess nicht jünger als das erhaltene Lumineszenz-Alter ist.

Eine weitere Problematik bei der Lumineszenzaltersbestimmung glaziofluvialer Sande stellt die, gegebenenfalls nur schwer, zu beurteilende Energiedosis über die Zeit dar. So könnten die Sande (als potentielle Grundwasserleiter), zumindest temporär, im Einflussbereich von fließenden Grundwässern gestanden haben und

kein geschlossenes System bezüglich der Radionuklide, als auch bezüglich der Feldspatkörner (Verwitterung, Mineralneubildung) selbst gebildet haben. Außerdem kann unter Permafrostbedingungen durch den Volumenzuwachs beim Gefrieren von Wasser ($\approx 9\%$), die Energiedosisleistung zumindest zeitweilig herabgesetzt werden. Berücksichtigt man dies nicht, erhielte man zu geringe Alter (da eine zu hohe Dosisleistung angesetzt worden wäre).

Holstein-Interglazial, Döttingen:

- Mit dem Profil Döttingen konnte erstmals eine holsteinzeitliche Pollensequenz in Mitteleuropa dokumentiert werden. Entgegen den klassischen Profilen aus Norddeutschland repräsentiert es den Vegetationsablauf in einer Mittelgebirgsregion mit entsprechend anderen klimatischen und edaphischen Gegebenheiten als im norddeutschen Flachland.
- Die Pollensukzession entspricht derer der norddeutschen Profile, wobei aber deutliche Differenzen im prozentualen Aufkommen der beteiligten Florenelemente bestehen. Insbesondere stellt die in den „klassischen“ Holsteinprofilen (wie Munster/Breloh) durchgehende Dominanz von *Pinus* (als auch die starke Beteiligung von *Betula*) kein überregional typisches Merkmal des Holsteins dar, sondern kann klar auf regionale (edaphische) Gegebenheiten zurückgeführt werden.
- Im Profil Döttingen sind keine Anzeichen von klimatischen Rückschlägen im Sinne von Kälteeinbrüchen innerhalb des Interglazials nachzuweisen.
- Im Profil Döttingen ist in LPAZ 4a ein unmittelbar und daher wahrscheinlich kausal Tephrenlage T7 folgender „Birken-Kiefern-Gräser Vorstoß“ im Grenzbereich von *early* zu *late temperate zone* entwickelt. LPAZ 4a korreliert mit PAZ VIII, also dem älteren/ersten „Birken-Kiefern-Vorstoß“ von Müller (1974) in Munster/Breloh.
- Das Profil Döttingen bestätigt/belegt einen intraholsteinzeitlichen Zusammenbruch der *Carpinus* Population (LPAZ 4c, intraholsteinzeitliches *Carpinus* Minimum: IHCM).
- Die durchhaltende Präsenz anderer thermophiler Taxa im IHCM schließt eine stadiale Phase als Urheber des IHCM aus.
- Das Liegende des IHCM entspricht der Zeit von PAZ XII/XIIa, also der des jüngeren/zweiten „Birken-Kiefern-Vorstoß“ von Müller (1974) in Munster/

Breloh. Ein „Birken-Kiefern Vorstoß“ ist in diesem Zeitabschnitt in Döttingen jedoch nicht ausgebildet.

- Im Profil Döttingen ist ein Wechsel von limnischen zu telmatischen Bedingungen dokumentiert, wobei die Grenze dieser „Zweiteilung“ von einem Torf/Tephra Horizont markiert wird. Ein wieder angestiegener Seespiegel wird durch dem Torf auflagernde Gyttjen dokumentiert und als Anzeiger eines humideren Klimas im späten/späteren Holstein (LPAZ 6a) gedeutet.
- Im Profil Döttingen belegen insgesamt 10 aufgefundene Tephralagen aktiven Vulkanismus im Interglazial, wobei mit Sicherheit die Eifel selbst das Fördergebiet war.

Holstein-Interglazial, Hetendorf/Bonstorf:

- Die palynologischen Untersuchungen an Kern BT 1 bestätigen die holsteinzeitliche Einstufung der Kieselgur im Becken von Bonstorf. Die Abfolge liegt jedoch nur für das beginnende Holstein (bis in PAZ VII) ungestört vor.
- Vergleiche von sedimentologischer und palynologischer Auswertungen der Kerne BT 1 und MU 2 (→ 6.2.6.) legen nahe, dass synsedimentär in die Kieselgur eingeschaltete Sandlagen bei der postholsteinzeitlichen, glazialen Überprägung der Lagerstätte (→ Abb. 6.17) teilweise als Störungshorizonte aktiviert wurden.
- Der Übergang von Kieselgur zu überlagernden Sanden ist als unstetiger, erosiver Kontakt ausgebildet und belegt nicht eine Verlandungsphase des holsteinzeitlichen Sees.
- Wie auch im Profil Döttingen ist die von *Pinus* und *Betula* bestimmte *pre temperate zone* zu Beginn des Interglazials von Kalkfällung begleitet.

Holstein-Interglazial, Munster/Breloh:

- Das Profil MU 2 unterstützt nicht das Postulat zweier postholsteinzeitlicher „Nachschwankungen“. Die sedimentologischen und palynologischen Befunde legen vielmehr nahe, dass Müllers, durch „Heidephasen“ voneinander separierte „Nachschwankungen“ auf in postholsteinzeitliche Sande (die durch hohe Anteile von Ericaceae geprägt sind → „Heidephasen“), eingearbeitete, holsteinzeitliche Kieselgurfragmente zurückzuführen sind.

- Der Vergleich der Profile DOE 3 und MU 2 (→ 7.) indiziert, dass in Kern MU 2 der jüngste Holsteinabschnitt nicht, beziehungsweise nur reliktsch überliefert ist. Gleiches ist gegebenenfalls für die gesamte Kieselgurlagerstätte von Munster/Breloh anzunehmen.
- Der 1. Birken-Kiefern-Vorstoß von Munster/Breloh ist nur prozentual gesehen ein solcher, der in den Absolutwerten durch Minima von *Quercus*, *Alnus* und *Corylus* begründet ist. Wie im Profil Döttingen erleidet dabei der starke Pollenproduzent *Corylus* den extremsten Rückgang. Die Absolutwertdiagramme deuten nicht auf eine klimatische Ursache. Eine solche hätte zum Rückgang einzelner Taxa bei gleichzeitiger Ausbreitung anderer Taxa führen müssen. Vielmehr scheinen sich die Bedingungen für alle Gattungen zugleich kurzzeitig verschlechtert zu haben, wobei jedoch die verschiedenen Arten ungleich stark reagierten.
- Die Dauer des IHCM konnte auf $\approx 1500 \pm 100$ Jahre bestimmt werden.
- Das IHCM ist zweigegliedert. Sein älterer Abschnitt (PAZ XI und XIIa) definiert sich durch das nur sporadische Auffinden von *Carpinus* Pollen. In seinem jüngeren Abschnitt (Liegendes von PAZ XIIb) ist die *Carpinus* Kurve auf niedrigem Niveau wieder geschlossen. Gleichzeitig beginnen die Anteile von *Quercus* anzusteigen. Beide Abschnitte dauern etwa gleich lange an.
- Die in die Kieselgur eingeschalteten Sande werden als synsedimentäre, fluviatile Schüttungen interpretiert. Die mehrmalige Positionierung von Sandlagen an Pollenzonengrenzen, nämlich VIIb/c, VIIc/VIII (Basis 1.BKV), X/XI (Basis IHCM) und Top IHCM in Kern MU 2 (→ Tab. 6.19) deuten an, dass mit kausalen Zusammenhängen zwischen Vegetationsentwicklung oder deren Ursachen und den Sandeinschaltungen zu rechnen ist.
- Die Sandeinschaltungen werden als primär synsedimentäre, fluviatile Einträge interpretiert.

Dauer des Holstein:

- Die Gesamtdauer des Holstein bleibt spekulativ da erstens die interglazialen Abfolgen von Hetendorf/Bonstorf und Munster/Breloh nicht durchgehend gewarvt sind und zweitens die Vollständigkeit der spätholsteinzeitlichen Abfolge in Munster/Breloh zweifelhaft ist.

- Die weitestgehend warvenzählbaren Pollenzonen VII-XIIa bestätigen die Ergebnisse von Müller (1974) (→ Tab. 6.22). Insgesamt resultierte eine Zeitspanne von 6500 Jahren für die aufsummierte Dauer dieser Pollenzonen, wobei 82 % dieser Zeitspanne durch Warven belegt sind. Dabei entfallen auf die Pollenzonen VII-XI, denen Müller etwas über 5600-6000 Jahre zuwies, cirka 6200 Jahre (→ Tab. 6.22).
Mit 6200-7400 Jahren (Kern MU 1, → Tab. 6.21), beziehungsweise 4800-5500 Jahren (Kern MU 2, → Tab. 6.22) für die Dauer von Pollenzone XII liegen die, fast gänzlich mittels Sedimentationsraten geschätzten, Werte nur für Kern MU 2 in ähnlichem Rahmen wie die, 4000-5000 Jahre betragende, Schätzung von Müller (1974). Für die nicht gänzlich überlieferte Pollenzone XIII wurde eine Mindestdauer von 800-1000 Jahren geschätzt (→ Tab. 6.22). In Müller (1974) waren 1000-1500 Jahre angesetzt. Sämtliche Angaben sind auf Jahrhunderte gerundet.
- Mit den Warvenzählungen und Schätzungen von Meyer (1974) für die Pollenzonen I-VI (3000-4000 Jahre, davon 2206 Warven, → Tab. 6.7.), der des Kerns MU 2 für die Pollenzonen VII-XII (10934-11719 Jahre, davon 5861 Warven, → Tab. 6.22) und der Schätzung von Müller (1974) für Pollenzone XIII (1000-1500 Jahre, ungewarvt), ergäbe sich eine Dauer von cirka 14900-17200 Jahren für die Pollenzonen I-XIII. Diese Schätzungen beruhen auf insgesamt 8057 gezählten Warven, entsprechend 47-54 % der erhaltenen Gesamtdauer. Einbezüglich der in Meyer (1974) veranschlagten Zeitspanne von 500 Jahren für Pollenzone XIV ergäben sich 15400-17800 Jahre für die Dauer der holsteinzeitlichen Pollenzonen I-XIV.

Altersstellung des Holstein:

Die Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung an Kern MU 1 legt eine Korrelation des Holstein-Interglazials mit dem marinen Sauerstoffisotopenstadium 9 nahe. Auf Grund der in dieser Arbeit, bezüglich der unternommenen IRRF-Datierungen, geführten Diskussion kann diese einzelne Datierung jedoch nur unter Vorbehalt als Indiz für eine Gleichstellung des Holsteins mit MIS 9 angesehen werden. Zudem deuten die leuziträchtigen und Bimse führenden Tephren in Kern DOE 3 auf eine Korrelation mit MIS 11. Nach van den Bogaard und Schmincke (1990) kann die vulkanische Aktivität des Osteifel-Vulkanfeldes in mehrere, sich petrochemisch unterscheidende Aktivitäts-

phasen gegliedert werden. In Abbildung 8.1 wurde die diesbezügliche Originalabbildung (van den Bogaard and Schmincke, 1990) (rechte untere Darstellung in Abbildung 8.1) auf die Sauerstoffisotopenkurve des Atlantikbohrkerns ODP 659 (→ Abb. 4.1) übertragen. Das marine Sauerstoffisotopenstadium 9 erscheint dabei im Osteifelvulkanfeld als eine Phase vulkanischer Passivität. MIS 11 dagegen ist von leuzitphonolithischen Bimseruptionen geprägt.

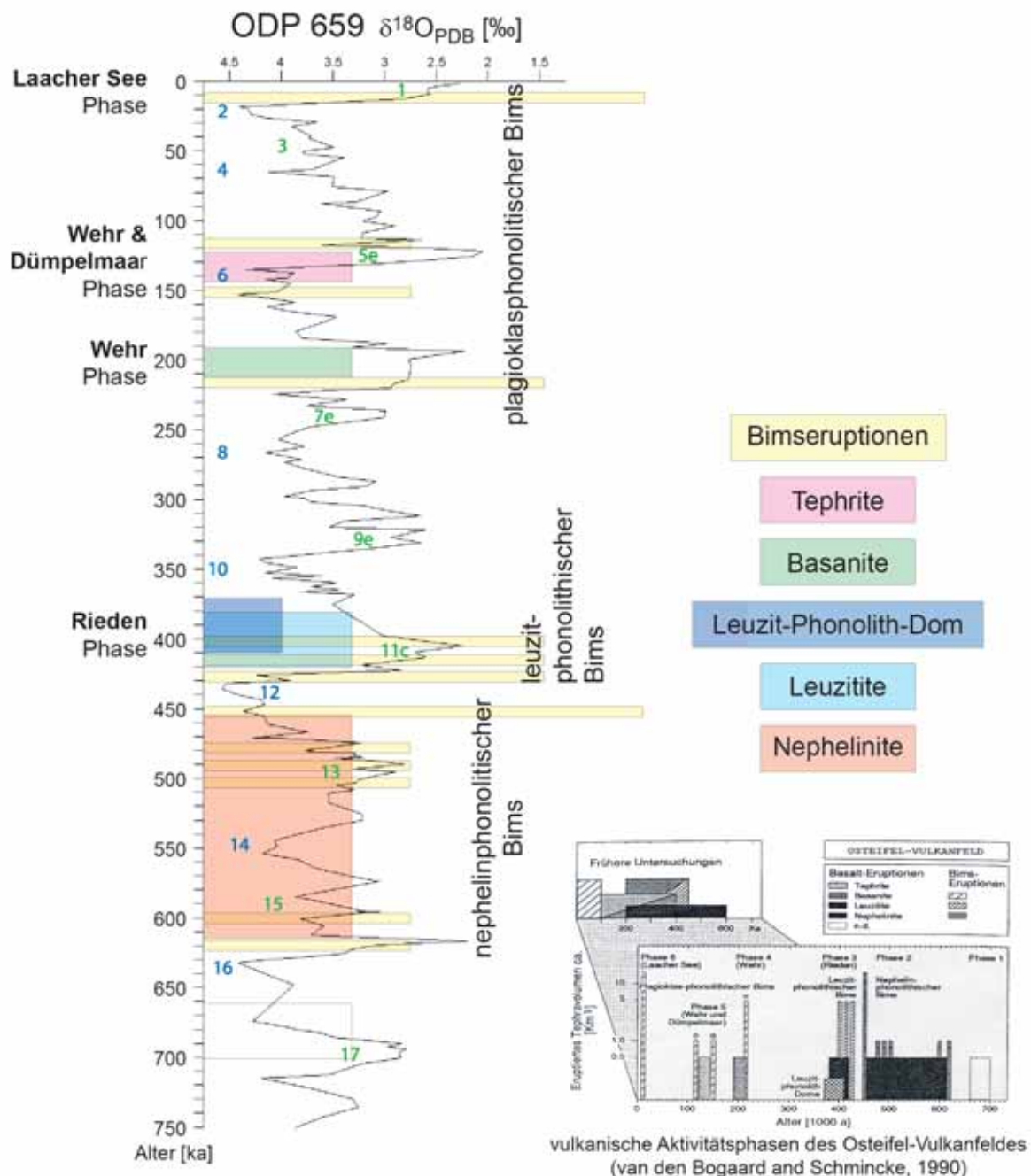


Abb. 8.1: Vulkanologische Aktivitätsphasen im Osteifelvulkanfeld und deren petrochemische Natur (nach van den Bogaard und Schmincke, 1990) in Bezug zu den marinen Sauerstoffisotopenstadien 1-17 im Atlantikbohrkern ODP 659 (→ 4.1).

Rhume-Interglazial, Bilshausen:

- In Kern BI 1 wurden zahlreiche Störungen dokumentiert, von denen einige stratigraphisch relevant sein können. Dabei treten sowohl duktile, syn-sedimentär zu interpretierende, als auch spröde, postsedimentär zu deutende Störungen auf. Insbesondere die palynostratigraphisch markanten Bereiche des Bilshausener „Birken-Kiefern-Vorstoßes“ (LPAZ f) und des „Lindenfalles“ (LPAZ-Grenze h/i) kommen in oder im Umfeld solcher Störungen zu liegen.
- Pollenzone f („Birken-Kiefern-Vorstoß“) fällt exakt in den Bereich einer spröden Störung (→ Abb. 6.79). Es ist mit einer Schichtlücke und/oder Verfälschung der stratigraphischen Abfolge zu rechnen.
- Zur Zeit des „Birken-Kiefern-Vorstosses“ in Pollenzone f gehören etwa 20% der gefundenen Pollen der Eichenmischwaldgesellschaft an. Pollenzone f ist demnach nicht einer stadialen Phase gleichzustellen.
- Pollenzonengrenze h/i („Lindenfall“) wird im Hangenden von Pollenzone h durch eine nahezu isoklinale, liegende Faltung (→ Abb. 6.80) begleitet. Dieser Teufenabschnitt muss als Scherzone einer Rutschung angesehen werden, wobei jedoch weder die Liegendgrenze, noch die Hangendgrenze des duktil verformten Bereichs klar auszuhalten ist. Die von Müller beschriebene Tephralage an der Pollenzonengrenze h/i konnte nicht gefunden werden. Die Scherzone enthält demnach nicht nur mindestens eine Schichtverdopplung (→ Abb. 6.80), sondern auch (mindestens) einen Hiatus. Erhöhte Schwefelgehalte zur Zeit des Lindenfalles und in Pollenzone h aufgefundene Holzkohlefitter könnten Hinweis auf vulkanischen *fallout* und/oder Waldbrände zu jener Zeit sein.

- Interglazialdauer:

Die Dauer des Rhume-Interglazial wurde, bei Interpretation der ungewarvten Abschnitte als *events*, auf etwa 22000 Jahre taxiert (26000 Jahre bei Interpolation der ungewarvten Abschnitte mittels konstanter Sedimentationsraten) (jeweils gerundet auf Jahrtausende). Die erhaltenen Werte liegen damit unterhalb der aktuellsten Schätzung von etwa 27000 Jahren in Müller (1992). Beide Schätzungen verstehen sich unter Vorbehalt möglicher stratigraphisch relevanter Störungen in Kern BI 1.

Auf Pollenzone c entfallen dabei cirka 3500 (4700) Jahre, auf die folgende (sich vor allem durch die Anwesenheit von *Tilia* von LPAZ c abgrenzenden)

Pollenzone d etwa 5200 Jahre, auf Pollenzone e („erste Tannenphase“) 4300 (7000) Jahre, auf die (von Eichenmischwald und dem Fehlen von *Abies* geprägte) Pollenzone g etwa 1600 Jahre, auf die folgenden LPAZ h und i (maximale *Carpinus*-Präsenz, „zweite Tannenphase“) 4000 (4500) Jahre und auf die überwiegend von *Betula*, *Pinus* und *Picea* bestimmten Pollenzonen j und k zusammen etwa 3000 Jahre. Pollenzone f wurde mit cirka 200 Jahren veranschlagt. (→ Tab. 6.31, gerundet auf Jahrhunderte).

9. Literaturverzeichnis

- (2002). Stratigraphische Tabelle von Deutschland. Deutsche Stratigraphische Kommission.
- Andersen, S. T. (1966). Interglacial succession and lake development in Denmark. *The Palaeobotanist* **15**, 117-127.
- Averdieck, F.-R., and von der Brellie, G. (1963). Neue Beiträge zur pollenanalytischen Untersuchung von Bilshausen (Unter-Eichsfeld). *Geologisches Jahrbuch* **80**, 437-446.
- Averdieck, F. R. (1992). Das Holstein-Interglazial von Hamburg-Hummelsbüttel. *Meyniana* **44**, 1-13.
- Benda, L. (1974). Die Diatomeen der niedersächsischen Kieselgur-Vorkommen, palökologische Befunde und Nachweis einer Jahresschichtung. *Geologisches Jahrbuch A* **21**, 171-197.
- Benda, L. (1993). Die Diatomeen des Holstein-Interglazials von Hamburg-Dockenhuden. *Geologisches Jahrbuch*, 121-125.
- Benda, L., and Brandes, M. (1974). Die Kieselgur-Lagerstätten Niedersachsens - I. Verbreitung, Alter und Genese. *Geologisches Jahrbuch A* **21**, 3-85.
- Berger, A. (1978). Long-term variations of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements. *Quaternary Research* **9**, 139-167.
- Berglund, B. E., and Ralska-Jasiewiczowa. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In "Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology." (B. E. Berglund, Ed.), pp. 455-484. John Wiley & Sons, Chichester.
- Beug, H.-J. (2004). "Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete." Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Bismarck, W. (1942). "Diluviale Beckenablagerungen im nordwestlichen Eichsfeld." Jena.
- Bittmann, F., and Müller, H. (1996). The Kärlich Interglacial site and its correlation with the Bilshausen sequence. In "The early Middle Pleistocene in Europe." (Turner, Ed.), pp. 187-193, Rotterdam.
- Boenigk, W., von der Breille, G., Brunnacker, K., Koci, A., Schlickum, W. R., and Strauch, F. (1974). Zur Plio-Pleistozän-Grenze im Bereich Velle (Niederrheinische Bucht). *Newsletters in Stratigraphy* **3**, 219-241.

- Büchel, G. (1984). "Die Maare im Vulkanfeld der Westeifel, ihr geophysikalischer Nachweis, ihr Alter und ihre Beziehung zur Tektonik der Erdkruste." Unpublished Dissertation thesis, Johannes-Gutenberg Universität.
- Büchel, G., and Lorenz, V. (1982). Zum Alter des Maarvulkanismus der Westeifel. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* **163**, 1-22.
- Campbell, I. D., McDonald, K., Flannigan, M. D., and Kringayark, J. (1999). Long-distance transport of pollen into the arctic. *Nature* **399**, 29-30.
- Cande, S. C., and Kent, D. V. (1992). A New Geomagnetic Polarity Time Scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research* **97**, 13917-13951.
- Cande, S. C., and Kent, D. V. (1995). Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research* **100**, 6093-6095.
- Cepek, A. G., and Erd, K. (1975). Das Holstein-Interglazial im Raum Neuruppin - ein neues pollenstratigraphisches Richtprofil und seine quartärgeologische Bedeutung. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* **3**, 1151-1178.
- Chanda, S. (1962). Untersuchungen zur pliozänen und pleistozänen Floren- und Vegetationsgeschichte im Leinetal und im südwestlichen Harzvorland (Untereichsfeld). *Geologisches Jahrbuch* **79**, 783-844.
- Channell, J. E. T. (2006). Late Brunhes polarity excursions (Mono Lake, Laschamp, Iceland Basin and Pringle Falls) recorded at ODP Site 919 (Irminger Basin). *Earth and Planetary Science Letters* **244**, 378-393.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdottir, A. E., Jouzel, J., and Bond, G. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* **364**, 218-220.
- Dassow, W. (1987). Neue Holstein-Interglazial-Profile aus dem Quartär im Raum Leipzig. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* **15**, 195-203.
- Degering, D., and Krbetschek, M. R. (2007). Dating of Interglacial Sediments by Luminescence Methods. In "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko, M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 157-172. Developments in Quaternary Science. Elsevier, Amsterdam.
- Diehl, M., and Sirocko, F. (2007). A New Holsteinian Pollen Record from the Dry Maar at Döttingen (Eifel). In "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko,

- M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 397-416. *Developments in Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam.
- Ehlers, J. (1994). "Allgemeine und historische Quartärgeologie." Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Eissmann, L. (1975). Das Quartär der Leipziger Tieflandbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. Modell einer Landschaftsentwicklung am Rand der europäischen Kontinentalvereisung. *Schriftenreihe für Geologische Wissenschaften* **2**, 263.
- Eissmann, L., Litt, T., and Wansa, S. (1995). Elsterian and Saalian deposits in their type area in central Germany. In "Glacial deposits in North-East Europe." (J. Ehlers, S. Kozarski, and P. L. Gibbard, Eds.), pp. 439-464. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, Rotterdam.
- Emiliani, C. (1955). Pleistocene temperatures. *Journal of Geology* **63**, 538-578.
- EPICA, c. m. (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* **429**, 623-628.
- Epstein, S., and Mayeda, T. (1953). Variations of O¹⁸ content of water from natural sources. *Geochimica Cosmochimica Acta* **4**, 213-234.
- Erd, K. (1969). Das Holstein-Interglazial von Granzin bei Hagenow (Südwestmecklenburg). *Geologie* **18**, 590-599.
- Erd, K. (1970). Pollen-Analytical Classification Of The Middle Pleistocene In The German Democratic Republic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **8**, 129-145.
- Erd, K. (1973a). Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokratischen Republik. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 1087-1103.
- Erd, K. (1973b). Vegetationsentwicklung und Biostratigraphie der Dömnitz-Warmzeit (Fuhne/Saale 1) im Profil von Pritzwalk/Prignitz. *Abhandlungen des Zentralen Geologischen Instituts* **18**, 9-48.
- Erd, K. (1987). Holsteininterglaziale Ablagerungen von Rossendorf bei Dresden. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* **15**, 281-295.
- Erd, K., and Müller, A. (1977). Die Pleistozänprofile Prellheide und Wildschütz, Bezirk Leipzig, mit vollständigem Holstein-Interglazial. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* **5**, 745-765.

- Erdtman, G. (1969). "Handbook of Palynology: An Introduction to the Study of Pollen Grains and Spores." Munksgaard, Copenhagen.
- Erfurt, G., and Krbetschek, M. R. (2002). Studies on the physics of the infrared radioluminescence of potassic feldspar and on the methodology of its application to sediment dating.
- Erfurt, G., Krbetschek, M. R., Bortolot, V. J., and Preusser, F. (2003). A fully automated multi-spectral radioluminescence reading system for geochronometry and dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **207**, 487-499.
- Faegri, K. (1993). "Bestimmungsschlüssel für die nordwest-europäische Pollenflora." Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Faegri, K., and Iversen, J. (1989). "Textbook of Pollen Analysis." John Wiley & Sons, New York.
- Firbas, F. (1949). "Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, Band 1: Allgemeine Waldgeschichte." Jena.
- Firbas, F., and Rochow, M. v. (1956). Zur Geschichte der Moore und Wälder im Fichtelgebirge. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **75**, 367-380.
- Frechen, M., Sierralta, M., Oezen, D., and Urban, B. (2007). Uranium-Series Dating of Peat from Central and Northern Europe. *In* "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko, M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 93-118. Developments in Quaternary Science. Elsevier, Amsterdam.
- Frenzel, B. (1968). "Grundzüge der pleistozänen Vegetationsgeschichte Nord-Eurasiens." Franz Steiner Verlag, Wiesbaden.
- Fromm, K. (1994). Paläomagnetische Bestimmungen an Quartärsedimenten in Nordwest-Deutschland. *Geologisches Jahrbuch A* **134**, 229-257.
- Geikie, J. (1894). "The Great ice Age and its relation to the antiquity of man." Stanford, London.
- Geyh, M. A., and Müller, H. (2007). Palynological and Geochronological Study of the Holsteinian/Hoxnian/Landos Interglacial. *In* "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko, M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 387-396. Developments in Quaternary Science. Elsevier, Amsterdam.
- Gibbard, P., and van Kolfschoten, T. (2004). The Pleistocene and Holocene Epochs. *In* "A Geologic Time Scale 2004." (F. M. Gradstein, J. G. Ogg, and A. G. Smith, Eds.), pp. 441-452. Cambridge University Press, Cambridge.

- Gibbard, P. L., West, R. G., Zagwijn, W. H., Balson, P. S., Burger, A. W., Funnell, B. M., Jeffery, D. H., de Jong, J., van Kolfschoten, T., Lister, A. M., Meijer, T., Norton, P. E. P., Preece, R. C., Rose, J., Stuart, A. J., Whiteman, C. A., and Zalasiewicz, J. A. (1991). Early and Middle Pleistocene Correlations in the Southern North Sea Basin. *Quaternary Science Reviews* **10**, 23-52.
- Gistl, R. (1928). Die letzte Interglazialzeit der Lüneburger Heide pollenanalytisch betrachtet. *Botanisches Archiv* **21**, 648-710.
- Grahle, H. O. (1936). Die Ablagerungen der Holstein-See (Mar. Interglaz. I), ihre Verbreitung und Schichtenfolge in Schleswig-Holstein. *Abhandlungen der Preußischen Geologischen Landesanstalt* **172**, 1-110.
- Gramlich, G., and Werner, W. (2000). "Numerische Mathematik mit Matlab." dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg.
- GRIP, c. m. (1993). Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature* **364**, 203-208.
- Grüger, E. (1968). Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an cromerzeitlichen Ablagerungen im nördlichen Randgebiet der deutschen Mittelgebirge. *Eiszeitalter und Gegenwart* **18**, 204-235.
- Grüger, E., Jordan, H., Meischner, D., and Schille, P. (1994). Mittelpleistozäne Warmzeiten in Göttingen, Bohrung Ottostraße und Akazienweg. *Geologisches Jahrbuch A* **134**, 167-210.
- Hallik, R. (1960). Die Vegetationsentwicklung der Holstein-Warmzeit in Nordwestdeutschland und die Altersstellung der Kieselgurlager der südlichen Lüneburger Heide. *Mitteilung aus dem Geologischen Landesamt Hamburg* **32**, 326-333.
- Hays, J. D., Imbrie, J., and Shackleton, N. J. (1976). Variations in the earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science* **194**, 1121-1132.
- Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary research* **29**, 142-152.
- Hinsch, W. (1993). Marine Molluskenfaunen in Typusprofilen des Elster-Saale-Interglazials und des Elster-Spätglazials. *Geologisches Jahrbuch A* **138**, 9-34.
- Imbrie, J., Hays, J. D., Martinson, D. G., McIntyre, A., Mix, A. C., Morley, J. J., Pisias, N. G., Prell, W. L., and Shackleton, N. J. (1984). The orbital theory of pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$

- record. In "Milankovitch and Climate." (A. L. Berger, J. Imbrie, J. D. Hays, G. Kukla, and B. Saltzman, Eds.), pp. 269-305. Reidel, D.
- Iversen, J. (1958). The bearing of glacial and interglacial epochs on the formation and extinction of plant taxa. *Uppsala Universitets Arsskrift* **6**.
- Jerz, H., and Linke, G. (1987). Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie: Typusregion des Holstein-Interglazials (Berichte der SEQS 8). *Eiszeitalter und Gegenwart* **37**, 145-148.
- Kahlke, H. D. (1981). "Das Eiszeitalter." Urania-Verlag, Jena, Leipzig, Berlin.
- Knudsen, K. L. (1993). Foraminiferal Faunas in Holsteinian Deposits of the Neuwerk Area, Germany. *Geologisches Jahrbuch A* **138**, 77-95.
- Kühl, N., and Litt, T. (2007). Quantitative Time-Series Reconstructions of Holsteinian and Eemian Temperatures Using Botanical Data. In "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko, M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 239-254. Developments in Quaternary Science. Elsevier, Amsterdam.
- Langereis, C. G., Dekkers, M. J., de Lange, G. J., Paterne, M., and van Stantvoort, P. J. M. (1997). Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes. *Geophys. J. Int.* **129**, 75-94.
- Liedtke, H. (1981). "Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa." Zentralausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.
- Linke, G. (1993). Zur Geologie und Petrographie der Forschungsbohrungen qho 1-5, der Bohrung Hamburg-Billbrook und des Vorkommens von marinem Holstein im Gebiet Neuwerk-Scharhörn. *Geologisches Jahrbuch A* **138**, 35-76.
- Linke, G., and Hallik, R. (1993). Die pollenanalytischen Ergebnisse der Bohrungen Hamburg-Dockenhuden (qho 4), Wedel (qho 2) und Hamburg-Billbrook. *Geologisches Jahrbuch A* **138**, 169-184.
- Litt, T. (1994). Paläoökologie, Paläobotanik und Stratigraphie des Jungquartärs im nordmitteleuropäischen Tiefland. *Dissertationes Botanicae* **227**.
- Litt, T. (1998). Multiproxy climate reconstructions for the Eemian and Early Weichselian. *Journal Of Quaternary Science* **13**, 367-390.
- Litt, T. (1999). Bio- and chronostratigraphy of the lateglacial in the Eifel region, Germany. *Quaternary International* **61**, 5-16.

- Litt, T. (2000). Vegetation history and palaeoclimatology of the Eifel region as inferred from palaeobotanical studies of annually laminated lake sediments. *Terra Nostra* **6: International Maar Conference, Daun/Vulkaneifel**, 259-263.
- Litt, T., and Turner, C. (1993). Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie: Die Saalesequenz in der Typusregion (Berichte der SEQS 10). *Eiszeitalter und Gegenwart* **43**, 125-128.
- Lüttig, G., and Maarleveld, G. C. (1962). Über altpleistozäne Kiese der Veluwe. *Eiszeitalter und Gegenwart* **13**, 227-230.
- Lüttig, G., and Rein, U. (1954). Das Cromer- (Günz/Mindel-) Interglazial von Bilshausen (Unter-Eichsfeld). *Geologisches Jahrbuch* **70**, 159-166.
- Majewski, J. (1961). Pollenanalytische Untersuchung der Kieselgur von Klieken. *Geologie* **32**, 10-14.
- Menke, B. (1968). Beiträge zur Biostratigraphie des Mittelpleistozäns in Norddeutschland. *Meyniana* **18**, 35-42.
- Menke, B. (1969). Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an altpleistozänen Ablagerungen aus Lieth bei Elmshorn. *Eiszeitalter und Gegenwart* **20**, 76-83.
- Menke, B. (1970). Ergebnisse der Pollenanalyse zur Pleistozän-Stratigraphie und zur Pliozän-Pleistozän-Grenze in Schleswig-Holstein. *Eiszeitalter und Gegenwart* **21**, 5-21.
- Menke, B. (1975). Vegetationsgeschichte und Florenstratigraphie Nordwestdeutschlands im Pliozän und Frühquartär. Mit einem Beitrag zur Biostratigraphie des Weichsel-Frühglazials. *Geologisches Jahrbuch A* **26**, 3-151.
- Menke, B. (1976). Pliozäne und ältestquartäre Sporen- und Pollenflora von Schleswig-Holstein. *Geologisches Jahrbuch* **32**, 3-197.
- Menke, B. (1980). Wacken, Elster-Glazial, marines Holstein-Interglazial und Wacken-Warmzeit. In "Quartär-Exkursionen in Schleswig-Holstein." (G. L. Schleswig-Holstein, Ed.), pp. 26-35. Stremme, H. E., Menke, B., Kiel.
- Menke, B., and Tynni, R. (1984). Das Eeminterglazial und das Weichselfrühglazial von Rederstall/Dithmarschen und ihre Bedeutung für die mitteleuropäische Jungpleistozän-Gliederung. *Geologisches Jahrbuch* **76**.
- Meyer, K.-J. (1974). Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der holstein-zeitlichen Kieselgur von Hetendorf. *Geologisches Jahrbuch A* **21**, 87-105.

- Milankovic, M. (1920). *Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques Produits par la Radiation Solaire* (G.-V. e. Cie, Ed.). academie Yougoslavie des Sciences et des Arts de Zagreb, Paris.
- Milankovic, M. (1998). "Canon Of Insolation And The Ice-Age Problem." *Zavod za udzbenike i nastavna sredstva*, Belgrade.
- Moore, P. D., Webb, J. A., and Collinson, M. E. (1991). "Pollen Analysis." Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Müller, H. (1958). Die Altersstellung der Interglazialablagerungen bei Rosche, Liebenau und Hetendorf (Niedersachsen). *Geologisches Jahrbuch* **73**, 725-736.
- Müller, H. (1965). Eine pollenanalytische Neubearbeitung des Interglazial-Profiles von Bilshausen (Unter-Eichsfeld). *Geologisches Jahrbuch* **83**, 327-352.
- Müller, H. (1974a). Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. *Geologisches Jahrbuch A* **21**, 149-169.
- Müller, H. (1974b). Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der holstein-zeitlichen Kieselgur von Munster-Breloh. *Geologisches Jahrbuch A* **21**, 107-140.
- Müller, H. (1979). Climatic Changes During The Last Three Interglacials. In "Man's Impact on Climate." (W. Bach, J. Pankrath, and W. Kellogg, Eds.), pp. 29-41. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
- Müller, H. (1986). Altquartäre Sedimente im Deckgebirge des Salzstockes Gorleben. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* **137**, 85-95.
- Müller, H. (1992). Climate Changes During And At The End Of The Interglacials Of The Cromerian Complex. In "NATO ASI Series." (G. J. Kukla, and E. Went, Eds.), pp. 51-69. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Müller, H., and Höfle, H.-C. (1994). Die Holstein-Interglazialvorkommen bei Bossel westlich von Stade und Wanhöden nördlich Bremerhaven. *Geologisches Jahrbuch* **134**, 71-116.
- Müller, U. (2001). Die Vegetations- und Klimaentwicklung im jüngeren Quartär anhand ausgewählter Profile aus dem südwestlichen Alpenvorland. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten (TGA) Reihe D*.

- Neumann, F. (2000). "Pollenanalyse des Holsteinvorkommens in Klieken und palynostratigraphische Anwendung am Ostufer des Arendsees." Unpublished diploma thesis, Rheinische Friedrich Wilhelms Universität Bonn.
- NGRIP, c. m. (2004). High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* **431**, 147-151.
- Nitychoruk, J., Bińka, K., Ruppert, H., and Schneider, J. (2006). Holsteinian Interglacial = Marine Isotope Stage 11? *Quaternary Science Reviews* **25**, 2678-2681.
- Penck, A. (122). Die Eem-Schwungung. *Verh. Geol. Mijnbouwkundig Gen. v. Nederland en Kol.* **4**.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., and Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *nature* **399**, 429-436.
- Picard, K. (1960). Zur Untergliederung der "Saalevereisung" im Westen Schleswig-Holsteins. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* **112**, 316-325.
- Pillans, B., and Naish, T. (2004). Defining the Quaternary. *Quaternary Science Reviews* **23**, 2271-2282.
- Pirrung, B. M. (1998). Zur Entstehung isolierter alttertiärer Seesedimente in zentraleuropäischen Vulkanfeldern. *Mainzer Naturwissenschaftliches Archiv* **20**.
- Raymo, M. E., Ruddiman, W. F., Backman, J., Clement, B. M., and Martinson, D. G. (1989). Late Pliocene variation in northern hemisphere ice sheets and North Atlantic deep water circulation. *Paleoceanography* **4**, 413-446.
- Rowe, J. P., Richards, D. A., Atkinson, T. C., Bottrell, S. H., and Cliff, R. A. (1997). Geochemistry and radiometric dating of a Middle Pleistocene peat. *Geochimica et Cosmochimica* **61**, 4201-4211.
- Rowe, P. J., Atkinson, T. C., and Turner, C. (1999). U-series dating of Hoxnian interglacial deposits at Marks Tey, Essex, England. *Journal of Quaternary Science* **14 (7)**, 693-702.
- Ruddiman, W. J., McIntyre, A., and Raymo, M. E. (1986). Matuyama 41,000-year cycles: North Atlantic Ocean and northern hemisphere ice sheets. *Earth and Planetary Science Letters* **80**.

- Sánchez Goñi, M. F., Cacho, I., Turon, J.-L., Guiot, J., Sierro, F. J., Peyrouquet, J.-P., Grimalt, J. O., and J., S. N. (2002). Synchronicity between marine and terrestrial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics* **19**, 95-105.
- Sánchez Goni, M. F., Turon, J.-L., Eynaud, F., and Shackleton, N. J. (2000). Direct land/sea correlation of the Eemian, and its comparison with the Holocene: a high-resolution palynological record off the Iberian margin. *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences* **79**, 345-354.
- Sarnthein, M., Stremme, H. E., and Mangini, A. (1986). The Holstein Interglacial: Time-Stratigraphic Position and Correlation to Stable-Isotope Stratigraphy of Deep-Sea Sediments. *Quaternary Research* **26**, 283-298.
- Schmincke, H.-U., Park, C., and Harms, E. (2000). Evolution and environmental impacts of the eruption of Laacher See Volcano (Germany) 12900 a BP. *Quat. Intern.* **61**.
- Schwarz, H. P., and Grün, R. (1988). Comment on M. Sarnthein, H. E. Stremme and A. Mangini, "The Holstein Interglacial: Time-Stratigraphic Position and Correlation to Stable-Isotope Stratigraphy of Deep-Sea Sediments". *Quaternary Research* **29**, 75-79.
- Seelos, K. (2004). "Entwicklung einer numerischen Partikelanalyse-Methode auf Basis digitaler Dünnschliffaufnahmen und Anwendung der Routine auf die ELSA-HL2-Kernsequenz 6-41 m." Unpublished PhD thesis, Johannes Gutenberg University.
- Seelos, K., and Sirocko, F. (2005). RADIUS - rapid particle analysis of digital images by ultra-high-resolution scanning of thin section. *Sedimentology* **52**, 669-681.
- Seidenkrantz, M.-S. (1993). Benthic foraminiferal and stable isotope evidence for a "Younger Dryas-style" cold spell at the Saalian-Eemian transition, Denmark. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **102**, 103-120.
- Selle, W. (1954). Die Vegetationsentwicklung des Interglazials von Ober-Ohe in der Lüneburger Heide. *Abhandlungen vom Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen* **33**, 457-463.
- Selle, W. (1955). Die Vegetationsentwicklung des Interglazials vom Typ Ober-Ohe. *Abhandlungen vom Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen* **34**, 33-46.
- Selzer, G. (1936). "Die Gliederung des Lösses im westlichen Eichsfeld und im Talgebiet der oberen Leine." Stuttgart.

- Shackleton, N. J., Berger, A., and Peltier, W. R. (1990). An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* **81**, 251-261.
- Shackleton, N. J., and Opdyke, N. D. (1973). Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 105 and 106 year scale. *Quaternary Research* **3**, 39-55.
- Sirocko, F., Seelos, K., Schaber, K., Rein, B., Dreher, F., Diehl, M., Lehne, R., Jäger, K., Krbetschek, M., and Degering, D. (2005). A Late Eemian Aridity Pulse in central Europe during the last glacial inception. *Nature* **436**, 833-836.
- Sobotha, E. (1923). "Versuch einer Entwicklungsgeschichte und Charakterisierung der Landschaft des Unter-Eichfeldes nebst seinen westlichen und südlichen Randgebieten." Göttingen.
- Stachel, T., and Büchel, G. (1989). Das Döttinger Maar: Fallstudie eines großen tertiären (?) Tuffschlotes im Vulkanfeld der Hocheifel. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* **140**, 35-51.
- Straka, H. (1957). "Pollenanalyse und Vegetationsgeschichte." A. Ziemsen-Verlag - Wittenberg Lutherstadt, Kiel.
- Straka, H. (1975). Pollen und Sporenkunde: Eine Einführung in die Palynologie. In "Grundbegriffe der modernen Biologie." pp. 238. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Szafer, W. (1953). Stratygrafia plejstocenu w Polsce na podstawie florystycznej (Pleistocene stratigraphy of Poland from the floristical point of view). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* **22**, 1-99.
- Tiedemann, R., Sarnthein, M., and Shackleton, N. J. (1994). Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic $d^{18}O$ and dust flux records of Ocean Drilling Program site 659. *Paleoceanography* **9**, 619-638.
- Turner, C., and West, R. G. (1968). The subdivision and zonation of interglacial periods. *Eiszeitalter und Gegenwart* **19**, 93-101.
- Urban, B. (1978). "Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen zur Gliederung des Altquartär der Niederrheinischen Bucht." Geologisches Institut der Universität zu Köln.
- Urban, B. (1991). Mittelpleistozän im Tagebau Schöningen, LdKr Helmstedt. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* **142**, 351-372.

- Urban, B. (2007). Interglacial Pollen Records from Schöningen, North Germany. *In* "The Climate Of Past Interglacials." (F. Sirocko, M. Claussen, M. F. Sánchez Goñi, and T. Litt, Eds.), pp. 417-444. *Developments in Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam.
- Urban, B., Thieme, H., and Elsner, H. (1988). Biostratigraphie, quartärgeologische und urgeschichtliche Befunde aus dem Tagebau "Schöningen", LdKr. Helmstedt. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* **139**, 123-154.
- Urey, H. C. (1947). The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, 562-581.
- van den Bogaard, B., and Schmincke, H.-U. (1990). Die Entwicklungsgeschichte des Mittelrheinraumes und die Eruptionsgeschichte des Osteifel-Vulkanfeldes. *In* "Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas." (W. Schirmer, Ed.), pp. 166-190, Hannover.
- von Post, L. (1946). The Prospect for Pollen Analysis in the Study of the Earth's Climatic History. *New Phytologist* **45**, 198-203.
- Winkler, H., Ostrowski, R., and Wilhelm, M. (2001). "Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst." TAKT-Verlag, Paderborn.
- Wright, J. D. (2000). Global Climate Change in Marine Stable Isotope Records. *Quaternary Geochronology: Methods and Applications* **AGU Reference Shelf 4**.
- Zagwijn, W. H. (1957). Vegetation, climate and time-correlations in the Early Pleistocene of Europe. *Geologie en Mijnbouw* **19**, 233-244.
- Zagwijn, W. H. (1963). Pollen-analytical investigations in the Tiglian of the Netherlands. *Mededelingen Geologische Stichting* **16**, 49-71.
- Zagwijn, W. H. (1973). Pollenanalytic studies of Holsteinian and Saalian Beds in the Northern Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* **24**, 139-156.
- Zagwijn, W. H. (1975). Variations in climate as shown by pollen analysis, especially in the Lower Pleistocene of Europe. *Geological Journal*, 137-152.
- Zagwijn, W. H., and De Jong, J. (1984). Die Inerglaziale von Bavel und Leerdam und ihre stratigraphische Stellung im niederrheinischen Früh-Pleistozän. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* **37**, 155-169.
- Zagwijn, W. H., van Montfrans, H. M., and Zandstra, J. G. (1971). Subdivision of the "Cromerian" in the Netherlands: pollen-analysis, palaeomagnetism and sedimentary petrology. *Geologie en Mijnbouw* **50**, 41-58.

Zimmermann, S. H., Hemming, S. R., Kent, D. V., and Searle, S. Y. (2006). Revised chronology for the late Pleistocene Mono Lake sediments based on paleointensity correlation to the global reference curve. *Earth and Planetary Science Letters* **25**, 94-106.

10. Anhang

10.1. Tabellen / Fremd-, Literaturdaten

Tab. 10.1: Verzeichnis botanischer und deutscher Familien- und Gattungsnamen der in der vorliegenden Arbeit oder in der zitierten Literatur (den zitierten Profilen) aufgeführter Pflanzen. Alphabetisch geordnet nach botanischen Namen.

botanische Namen		deutsche Namen		Familienzugehörigkeit der Gattung
Familie	Gattung	Familie	Gattung	
	<i>Abies</i>		<i>Tanne</i>	Pinaceae
	<i>Acer</i>		<i>Ahorn</i>	Aceraceae
Aceraceae		Ahorngewächse		
	<i>Aesculus</i>		<i>Roßkastanie</i>	Hippocastanaceae
	<i>Alchemilla</i>		<i>Frauenmantel</i>	Rosaceae
	<i>Alisma</i>		<i>Froschlöffel</i>	Alismataceae
Alismataceae		Froschlöffelgewächse		
	<i>Alnus</i>		<i>Erle</i>	Betulaceae
Anacardiaceae		Sumachgewächse		
Apiaceae, Umbelliferae		Doldenblütengewächse		
Aquifoliaceae		Stechpalmengewächse		
Araliaceae		Efeugewächse		
	<i>Artemisia</i>		<i>Beifuß, Edelraute</i>	Asteraceae
Aspidiaceae		Schildfarngewächse		
	<i>Asplendium</i>		<i>Streifenfarn</i>	Aspleniaceae
Aspleniaceae		Streifenfarngewächse		
Asteraceae, Compositae		Astern-, Köpfigengewächse, Korbblütler		
	<i>Azolla</i>		<i>Algenfarn</i>	Azollaceae
Azollaceae		Algenfarngewächse		
	<i>Batrachium</i> (Untergattung)		<i>Hahnenfuß</i>	Ranunculaceae
	<i>Betula</i>		<i>Birke</i>	Betulaceae
Betulaceae		Birkengewächse		
	<i>Botryococcus</i>		<i>Ölalg</i>	Chlorophyceae
Brassicaceae, Cruciferae		Kreuzblütengewächse, Kreuzblütler		
	<i>Bruckenthalia</i>		<i>Ährenheide</i>	Ericaceae
Buxaceae		Buchsbaumgewächse		
	<i>Buxus</i>		<i>Buchsbaum</i>	Buxaceae
	<i>Calluna</i>		<i>Heidekraut, Besenheide</i>	Ericaceae
	<i>Campanula</i>		<i>Glockenblume</i>	Campanulaceae
Campanulaceae		Glockenblumengewächse		
Cannabaceae		Hanfgewächse		
Caprifoliaceae		Geißblattgewächse		
	<i>Carex</i>		<i>Segge</i>	Cyperaceae
	<i>Carpinus</i>		<i>Hainbuche, Weissbuche</i>	Corylaceae
	<i>Carya</i>		<i>Hickory-, Spottnuß</i>	Juglandaceae
Caryophyllaceae		Nelkengewächse		
	<i>Castanea</i>		<i>Eßkastanie</i>	Fagaceae
	<i>Cedrus</i>		<i>Zeder</i>	Pinaceae
	<i>Celtis</i>		<i>Zürgelbaum</i>	Ulmaceae
	<i>Centaurea</i>		<i>Kornblume</i>	Asteraceae, Compositae
	<i>Centaurea</i>		<i>Flockenblume</i>	Asteraceae, Compositae
Cephalotaxaceae		Kopfeibengewächse		

Ceratophyllaceae	Hornblattgewächse		
<i>Ceratophyllum</i>		<i>Hornblatt</i>	Ceratophyllaceae
<i>Chamaecyparis</i>		<i>Scheinzypresse</i>	Cupressaceae
<i>Chamaecyparis</i>		<i>Scheinzypresse</i>	Cupressaceae
Chenopodiaceae	Gänsefuß-, Meldengewächse		
Chlorophyceae	echte Grünalgen		
Cistaceae	Cistrosengewächse		
<i>Cladium</i>		<i>Schneide</i>	Cyperaceae
Compositae, Asteraceae	Astern-, Köpchengewächse, Korbblütler		
Cornaceae	Hartriegelgewächse		
<i>Cornus</i>		<i>Hartriegel</i>	Cornaceae
Corylaceae	Haselgewächse		
<i>Corylus</i>		<i>Hasel</i>	Corylaceae
Cruciferae, Brassicaceae	Kreuzblütengewächse, Kreuzblütler		
Cupressaceae	Zypressen		
<i>Cupressus</i>		<i>Zypresse</i>	Cupressaceae
Cupuliferae, Fagaceae	Buchengewächse		
Cyperaceae	Sauer-, Riedgräser		
Dispsacaceae	Kardengewächse		
Droseraceae	Sonnentaugewächse		
<i>Drosera</i>		<i>Sonnentau</i>	Droseraceae
<i>Dryas</i>		<i>Silberwurz</i>	Rosaceae
<i>Dryopteris</i>		<i>Wurmfarn</i>	Aspidiaceae
Elaeagnaceae	Ölweidengewächse		
Empetraceae	Krähenbeerengewächse		
<i>Empetrum</i>		<i>Krähenbeere</i>	Empetraceae
Ephedraceae	Meerträubelgewächse		
Equisetaceae	Schachtelhalmgewächse		
<i>Equisetum</i>		<i>Schachtelhalmgewächse</i>	Equisetaceae
<i>Erica</i>		<i>Heide, Erika</i>	Ericaceae
Ericaceae	Heidekrautgewächse		
Eucommiaceae	Guttaperchagewächse		
Fabaceae	Schmetterlingsblütler		
Fagaceae, Cupuliferae	Buchengewächse		
<i>Fagopyrum</i>		<i>Buchweizen</i>	Polygonaceae
<i>Fagus</i>		<i>Rotbuche</i>	Fagaceae
<i>Filipendula</i>		<i>Mädesüss</i>	Rosaceae
<i>Frangula</i>		<i>Schießbeere</i>	Rhamnaceae
<i>Fraxinus</i>		<i>Esche</i>	Oleaceae
<i>Galium</i>		<i>Waldmeister, Mai-, Lab-, Klebkraut</i>	Rubiaceae
Geraniaceae	Storchschnabelgewächse		
<i>Geranium</i>		<i>Storchschnabel</i>	Geraniaceae
Gramineae, Poaceae	Süßgräser, echte Gräser		
Haloragaceae	Tausendblattgewächse		
Hamamelidaceae	Zaubernussgewächse		
<i>Hedera</i>		<i>Efeu</i>	Araliaceae
<i>Helianthemum</i>		<i>Sonnenröschen</i>	Cistaceae
Hippocastanaceae	Roskastaniengewächse		
<i>Hippophae</i>		<i>Sanddorn</i>	Elaeagnaceae
<i>Hordeum</i>		<i>Gerste</i>	Poaceae, Graminae
<i>Humulus</i>		<i>Hopfen</i>	Cannabaceae
Hydrocaryaceae	Wassernussgewächse		
Hypericaceae	Johanniskraut-, Hartheugewächse		

<i>Hypericum</i>	Johanniskraut	Hypericaceae
<i>Ilex</i>	Stechpalme, Hülse	Aquifoliaceae
Isoetaceae	Brachsenkrautgewächse	
<i>Isoetes</i>	Brachsenkraut	Isoetaceae
Juglandaceae	Walnussgewächse	
<i>Juglans</i>	Walnuß	Juglandaceae
<i>Juniperus</i>	Wacholder	Cupressaceae
<i>Knautia</i>	Witwenblume	Dispsacaceae
Labiatae, Lamiaceae	Lippenblütler	
Lamiaceae, Labiatae	Lippenblütler	
<i>Larix</i>	Lärche	Pinaceae
Lemnaceae	Wasserlinsengewächse	
<i>Lemnaceae</i>	Wasserlinse	Lemnaceae
<i>Ligustrum</i>	Liguster	Oleaceae
<i>Lonicera</i>	Heckenkirsche, Geißblatt	Caprifoliaceae
Loranthaceae, Viscaceae	Mistelgewächse	
Lycopodiaceae	Bärlappgewächse	
<i>Lycopodium</i>	Bärlapp	Lycopodiaceae
Lythraceae	Blutweiderichgewächse	
<i>Lythrum</i>	Weiderich	Lythraceae
<i>Malva</i>	Malve	Malvaceae
Malvaceae	Malvengewächse	
<i>Mentha</i>	Minze	Lamiaceae, Labiatae
Menyanthaceae	Fieberkleegewächse	
<i>Menyanthes</i>	Fieber-, Bitterklee	Menyanthaceae
<i>Metasequoia</i>	Urwelt-Mammutbaum	Taxodiaceae
<i>Myrica</i>	Galgenstrauch	Myricaceae
Myricaceae	Gagelstrauchgewächse	
<i>Myriophyllum</i>	Tausendblatt	Haloragaceae
<i>Nuphar</i>	Teichrose	Nymphaeaceae
<i>Nympaea</i>	Seerose	Nymphaeaceae
Nymphaeaceae	Seerosengewächse	
Nympheaceae	Seerosengewächse	
<i>Nyssa</i>	Tulpedobaum	Nyssaceae
Nyssaceae	Tupelobaumgewächse	
Oleaceae	Ölbaumgewächse	
<i>Osmunda</i>	Königsfarn	Osmundaceae
Osmundaceae	Königsfarngewächse	
<i>Ostrya</i>	Hopfenbuche	Corylaceae
Papilionaceae		
<i>Pediastrum</i>	Grünalge	Chlorophyceae
<i>Picea</i>	Fichte	Pinaceae
Pinaceae	Kiefern-, Föhrengewächse	
<i>Pinus</i>	Kiefer	Pinaceae
Plantaginaceae	Wegerichgewächse	
<i>Plantago</i>	Wegerich	Plantaginaceae
<i>Poa</i>	Rispengras	Poaceae, Graminae
Poaceae, Gramineae	Süßgräser	
Polygonaceae	Knöterichgewächse	
<i>Polygonum</i>	Knöterich	Polygonaceae
Polypodiaceae	Tüpfelfarngewächse	
<i>Populus</i>	Pappel	Salicaceae
<i>Potamogeton</i>	Laichkraut	Potamogetonaceae

Potamogetonaceae	Laichkrautgewächse	
<i>Potentilla</i>		<i>Fingerkraut</i> Rosaceae
<i>Prunus</i>		<i>Kirsche, Pflaume, Aprikose, Pfirsich</i> Rosaceae
<i>Pseudotsuga</i>		<i>Douglastanne</i> Pinaceae
Pteridaceae	Saum-, Adlerfarngewächse	
<i>Pteridium</i>		<i>Adlerfar</i> Pteridaceae
<i>Pterocarya</i>		<i>Flügelhuss</i> Jugnadaceae
<i>Quercus</i>		<i>Eiche</i> Fagaceae
Ranunculaceae	Hahnenfußgewächse	
<i>Ranunculus</i>		<i>Hahnenfuß</i> Ranunculaceae
Rhamnaceae	Kreuzdorngewächse	
<i>Rhamnus</i>		<i>Faulbaum, Kreuzdorn</i> Rhamnaceae
<i>Rhus</i>		<i>Sumach</i> Anacardiaceae
Rosaceae	Rosengewächse	
Rubiaceae	Krapp-, Rötengewächse	
<i>Rumex</i>		<i>Ampfer</i> Polygonaceae
Salicaceae	Weidengewächse	
<i>Salix</i>		<i>Weide</i> Salicaceae
Salviniaceae	Schwimmfarngewächse	
<i>Sambucus</i>		<i>Holunder</i> Caprifoliaceae
<i>Saxifraga</i>		<i>Steinbrech</i> Saxifragaceae
Saxifragaceae	Steinbrechgewächse	
<i>Scheuchzeria</i>		<i>Blumenbinse</i> Scheuchzeriaceae
Scheuchzeriaceae	Blumenbinsengewächse	
<i>Secale</i>		<i>Roggen</i> Poaceae
<i>Selaginella</i>		<i>Moosfarngewächse</i> Selaginellaceae
Selaginellaceae	Moosfarngewächse	
<i>Sequoia</i>		<i>Küsten-Mammutbaum</i> Taxodiaceae
<i>Sequoiadendron</i>		<i>Riesen-Mammutbaum</i> Taxodiaceae
Solanaceae	Nachtschattengewächse	
<i>Solanum</i>		<i>Nachtschatten</i> Solanaceae
<i>Sorbus</i>		<i>Eberesche, Krametsbeerbaum, Els-, Mehl-, Drossel-, Vogelbeere</i> Rosaceae
Sparganiaceae	Igelkolbengewächse	
<i>Sparganium</i>		<i>Igelkolbengewächse</i> Sparganiaceae
Sphagnaceae	Torfmoosgewächse	
<i>Sphagnum</i>		<i>Torfmoose</i> Sphagnaceae
Taxaceae	Eibengewächse	
Taxodiaceae	Sumpfyzpressengewächse	
<i>Taxodium</i>		<i>Sumpfyzpresse</i> Taxodiaceae
<i>Taxus</i>		<i>Eibe</i> Taxaceae
<i>Thalictrum</i>		<i>Wiesenraute</i> Ranunculaceae
<i>Thuja</i>		<i>Lebensbaum</i> Cupressaceae
<i>Tilia</i>		<i>Linde</i> Tiliaceae
Tiliaceae	Lindengewächse	
<i>Trapa</i>		<i>Wassernuß</i> Hydrocaryaceae
<i>Triticum</i>		<i>Weizen</i> Poaceae, Graminae
<i>Tsuga</i>		<i>Schierlings-, Hemlocktanne</i> Pinaceae
<i>Typha</i>		<i>Rohrkolben</i>
Typhaceae	Rohrkolbengewächse	
Ulmaceae	Ulmengewächse	
<i>Ulmus</i>		<i>Ulme</i> Ulmaceae
Umbelliferae, Apiaceae	Doldenblütengewächse	
<i>Urtica</i>		<i>Brennnessel</i> Urticaceae

Urticaceae	Brenn-, Nesseltgewächse	
<i>Vaccinium</i>		<i>Heidel-, Preiselbeere</i> Ericaceae
Valerianaceae	Baldriangewächse	
<i>Viburnum</i>		<i>Schneeball</i> Caprifoliaceae
Viscaceae, Loranthaceae	Mistelgewächse	
<i>Viscum</i>		<i>Mistel</i> Viscaceae, Loranthaceae
Vitaceae	Weinrebengewächse	
<i>Vitis</i>		<i>Weinrebe</i> Vitaceae
<i>Zea</i>		<i>Mais</i> Poaceae, Gramineae
<i>Zelkova</i>		<i>Zelkovie</i> Ulmaceae

Tab. 10.2: Chargennummern und dazugehörige Sporengehalte von *Lycopodium*-Tabletten (Quelle: Thomas Persson, Thomas.Persson@geol.lu.se, Department of Geology, Quaternary Sciences, Sölvegatan 12, SE-223 62 LUND, Dezember 2004). Die in dieser Arbeit zum Einsatz gekommenen Chargen sind grün unterlegt.

batch no.	number of spores in 5 tablets mean \pm standard deviation	number of spores in one tablet mean \pm standard deviation (according to Maher's way of calc.)	date of manufacture	start of sale
212761		12489 \pm 491 (\pm 3.93 %)	Stockmarr, before 1980	
201890	56335 \pm 1850 (\pm 3.28 %)	11267 \pm 827 (\pm 7.34 %)	Febr 1981	
414831	60383 \pm 1892 (\pm 3.13 %)	12077 \pm 846 (\pm 7.01 %)	June 1984	Aug 1985
307862	67498 \pm 1543 (\pm 2.29 %)	13500 \pm 690 (\pm 5.11 %)	Sept 1987	Aug 1988
710961	69556 \pm 1541 (\pm 2.22 %)	13911 \pm 689 (\pm 4.95 %)	June 1990	April 1992
124961	62712 \pm 2081 (\pm 3.32 %)	12542 \pm 931 (\pm 7.42 %)	May 1994	July 1994
938934	53394 \pm 953 (\pm 1.78 %)	10679 \pm 426 (\pm 3.99 %)	Jan 1999	Febr 1999
483216	92914 \pm 3820 (\pm 4.11 %)	18583 \pm 1708 (\pm 9.19 %)	Jan 2004	Sept 2004

Tab. 10.3: Rezente klimatische Verbreitungsgrenzen verschiedener Arten, aus Zusammenstellungen in Litt (1989) und Müller (2001).

	mittlere Temperatur [°C]				mittlerer Jahresniederschlag [mm]	
	Januar		Juli		Minimal	maximal
	minimal	maximal	minimal	maximal		
<i>Abies alba</i>	-4			17-20	550	> 1400
<i>Acer monpessulanum</i>	0		17		500	1100
<i>Acer tataricum</i>	-14,5	0	18-20	22,5	300	750
<i>Aldrovanda vesiculosa</i>			18			
<i>Armeria maritima</i>	-8					
<i>Betula nana</i>			7			
<i>Buxus sempervirens</i>	0-1		17-18		650	> 1400
<i>Calluna vulgaris</i>			8			
<i>Caltha palustris</i>			8			
<i>Carex rostrata</i>			8			
<i>Carex pseudocyperus</i>			13			
<i>Ceratophyllum demersum</i>			15			
<i>Ceratophyllum submersum</i>			16			
<i>Cladium mariscus</i>	-15		15,5			
<i>Cyperus glomeratus</i>			20			
<i>Eleocharis palustris</i>			10			
<i>Eriophorum vaginatum</i>			7			
<i>Filipendula sp.</i>			10			
<i>Filipendula ulmaria</i>			8			
<i>Frangula alnus</i>			13			
<i>Hedera helix</i>	-2		15			
<i>Hippophae rhamnoides</i>			11,5			
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	-6		11,5			
<i>Ilex aquifolium</i>	0		12,5			
<i>Jasione montana</i>			11,5			
<i>Juniperus communis</i>			10			
<i>Linum perenne</i>			12			
<i>Menyanthes trifoliata</i>			8			
<i>Myrica gale</i>			10			
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>			7,5			
<i>Myriophyllum spicatum</i>			10			
<i>Myriophyllum verticillatum</i>			10			
<i>Najas flexilis</i>			15			
<i>Najas marina</i>			15			
<i>Najas minor</i>			18			
<i>Nuphar sp.</i>			13			
<i>Nymphaea alba</i>			12			
<i>Nymphaea candida</i>			12			
<i>Parnassia palustris</i>			7			
<i>Picea abies</i>	0			18		
<i>Polygonum viviparum</i>			5	20		
<i>Potamogeton filiformis</i>			8			
<i>Potentilla palustris</i>			8			
<i>Ranunculus flammula</i>			8,5			
<i>Ranunculus sect Batrachium</i>			10			
<i>Sanguisorba minor</i>	-12		12			

<i>Sanguisorba officinalis</i>			9,5			
<i>Selaginella selaginoides</i>			7	17		
<i>Solanum dulcamara</i>			13			
<i>Stratiotes aloides</i>			12			
<i>Taxus baccata</i>					"hoch"	
<i>Tilia cordata</i>			13-16			
<i>Tilia platyphyllos</i>			16-17			
<i>Tilia tomentosa</i>	-5	0,5	18-22		400	
<i>Trapa natans</i>			18			
<i>Trollius europaeus</i>			6,5			
<i>Typha angustifolia</i>			14			
<i>Typha latifolia</i>			13,5			
<i>Urtica dioica</i>			8			
<i>Viscum album</i>	-8		16			

10.2. Tabellen / Eigendaten

Tab. 10.4: Siebanalysen an Sandlagen des Kern MU 2.

Korngröße		Probenteufe [m]					
		8,65-8,80	33,15-33,30	36,35-36,50	39,20-39,40	49,10-49,30	
		Korngrößenfraktion [g]					
< 63		17,87	8,67	21,26	21,37	18,26	
63-125	[µm]	Sand	18,06	29,39	55,89	59,18	33,12
125-250			491	198,28	526,23	327,91	323,48
250-500			320	5,83	137,3	231,58	262,58
500-1000			0,68	0,09	0,91	9,94	5
1-2	[mm]	Kies	0	0	0	0,02	0,1
2-4			0	0	0	0	0
4-8			0	0	0	0	0
8-16			0	0	0	0	0
16-31,5			0	0	0	0	0
31,5-63			0	0	0	0	0
>63			0	0	0	0	0

Sonstige Daten sind auf Grund ihres Umfangs nicht in gedruckter Form online, sondern lediglich auf beiliegendem Speichermedium im Ordner „Daten“ verfügbar.

Der Ordner beinhaltet in folgender Struktur:

- [-] Daten
 - [-] µXRF
 - [-] Alters_Tiefen_Modelle
 - [-] BI_1
 - [-] DOE_3
 - [-] MU_1
 - [-] MU_2
 - [-] Kalkgehalt
 - [-] Pollenzählungen
 - [-] RADIUS
 - [-] Suszeptibilität
 - [-] Trockendichte
 - [-] Warven

die nachfolgend aufgelisteten Datensätze.

Tab. 10.5: Im Ordner „Daten“ abgelegte Datensätze.

Ordner	Datensatz	Beschreibung		
μXRF	BI_1_36,40_37,00	μXRF-Analyse der Kernmeter BI 136,40-37,00		
	BI_1_Konkretion	μXRF-Analyse einer Konkretion des Konkretionshorizonts.		
Alters_Tiefen_Modelle	BI_1_ATM_A	ATM A		
	BI_1_ATM_B	ATM B		
	BI_1_ATM_C	ATM C		
	DOE_3	DOE_3_KM_1_LPAZ_1_6a	Korrelationsmodell 1	
		DOE_3_KM_2_LPAZ_1_5b	Korrelationsmodell 2	
	MU_1	MU_1_core_loss_as_event	Kernverlust 22,00-22,26 m als Sandschüttung (<i>event</i>).	-
		MU_1_core_loss_as_event_ATM_A		ATM A
		MU_1_core_loss_as_event_ATM_B		ATM B
		MU_1_core_loss_as_event_ATM_C	ATM C	
		MU_1_core_loss_as_sedimentation	Kernverlust 22,00-22,26 m als Kieselgursedimentation.	-
		MU_1_core_loss_as_sedimentation_ATM_A		ATM A
		MU_1_core_loss_as_sedimentation_ATM_B		ATM B
		MU_1_core_loss_as_sedimentation_ATM_C	ATM C	
	MU_2	MU_2_35905_36085_&_deeper_4323_as_reworked	Tiefenbereich 35,905-36,085 m und gestörte Abschnitte unterhalb 43,23 m (→ Tab. 6.17) als <i>events</i> .	-
		MU_2_35905_36085_&_deeper_4323_as_reworked_ATM_A		ATM A
		MU_2_35905_36085_&_deeper_4323_as_reworked_ATM_B		ATM B
		MU_2_35905_36085_&_deeper_4323_as_reworked_ATM_C	ATM C	
		MU_2_35905_36085_&_deeper_4323_not_as_reworked	Ohne <i>events</i> .	-
Kalkgehalt	DOE_3_Kalkgehalt_0_25_50_75	Relativer Kalkgehalt, mittleres HCl-Zugabe ermittelt.		
Pollen-zählungen	BI_1_pollen_raw_data_counts	Pollenzählungen der Kerne BI 1, BT 1, DOE 3, MU 1 und MU 2.		
	BT_1_pollen_raw_data_counts			
	DOE_3_pollen_raw_data_counts			
	MU_1_pollen_raw_data_counts			
	MU_2_pollen_raw_data_counts			
RADIUS	BI_1_max_grain_size	ASCII-Datensatz <i>greyscale</i> : 1. Spalte: Tiefe [m], 2. Spalte: Grauwert [0 255] <i>max_grain_size</i> : 1. Spalte: Tiefe [mm], 2. Spalte: Korngröße [μm] <i>particle_number</i> : 1. Spalte: Tiefe [mm], 2-11. Spalte: Partikelanzahl [#] (20-25,4 μm 25,4-32 μm 32-40 μm 40-51 μm 51-64 μm 64-80,6 μm 80,6-121 μm 121-128 μm 128-160 μm 160-200 μm) <i>RADIUS_detection</i> : 1. Spalte: Tiefe [mm], 2. Spalte: Staub-/Löß [0 17], 3. Spalte: Organik [0 18], 4. Spalte: Ton bis Mittelsilt [0 24]		
	DOE_3_greyscale			
	DOE_3_max_grain_size			
	DOE_3_particle_number			
	DOE_3_RADIUS_detection			
	MU_1_max_grain_size			
	MU_2_max_grain_size			
	MU_2_particle_number			
Suszeptibilität	DOE_3_susceptibility	Die spezifische Suszeptibilität resultiert durch Division mit der auf die betreffenden Tiefen interpolierten Trockendichte.		
Trocken-dichte	BI_1_dry_weight	-		
	BT_1_dry_weight	-		
	DOE_3_dry_weight	-		
	MU_1_dry_weight	-		
	MU_2_dry_weight	-		
Warven	BI_1_varves	Die korrigierten Werte in den letzten drei Tabellenspalten resultieren aus der Interpolation nicht warvenzählbarer Zählabschnitte (→ 5.2.).		
	MU_1_varves			
	MU_2_varves			

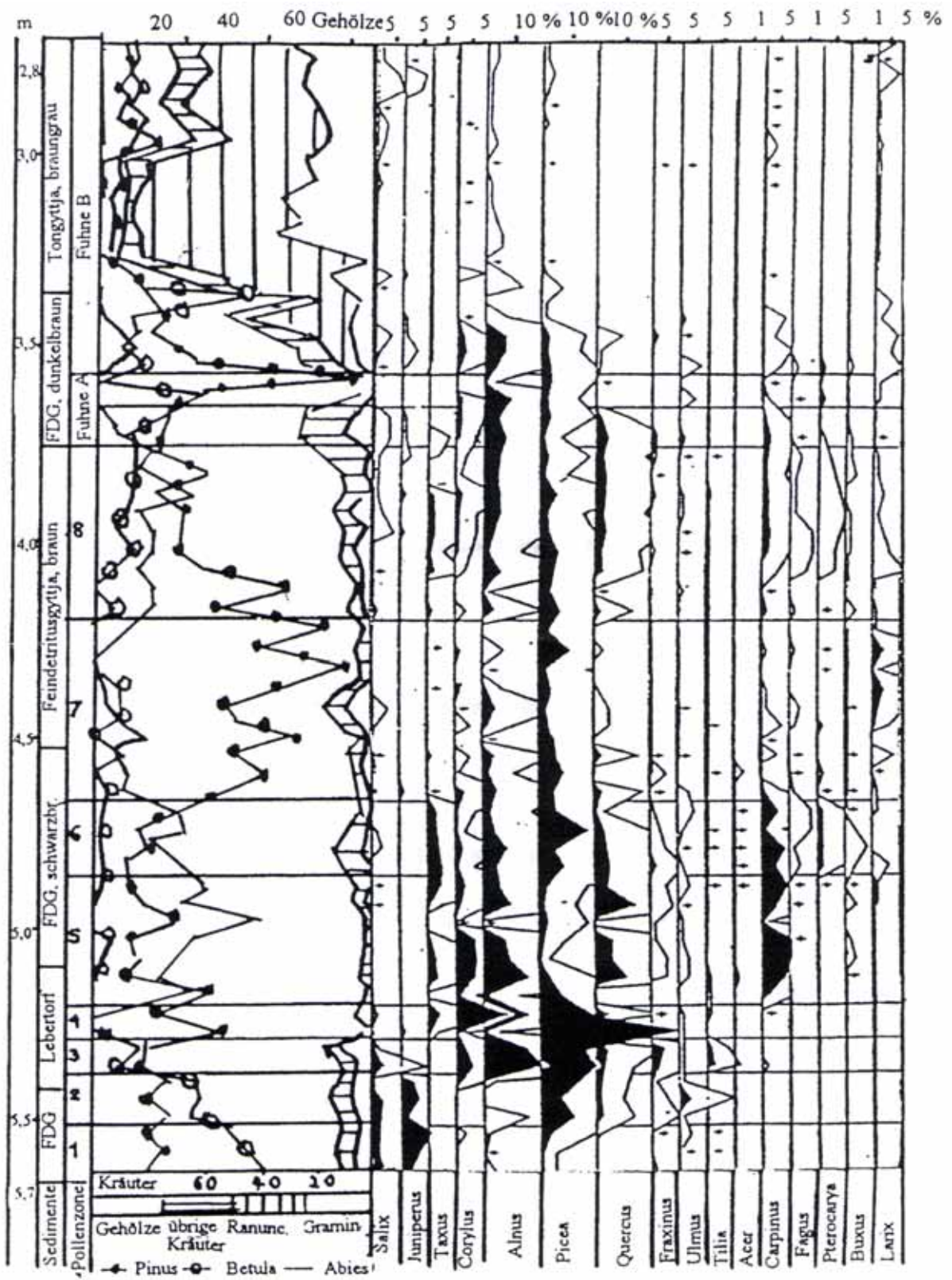


Abb. 10.2: Pollenprofil Rossendorf, Baumpollen (Erd, 1987).

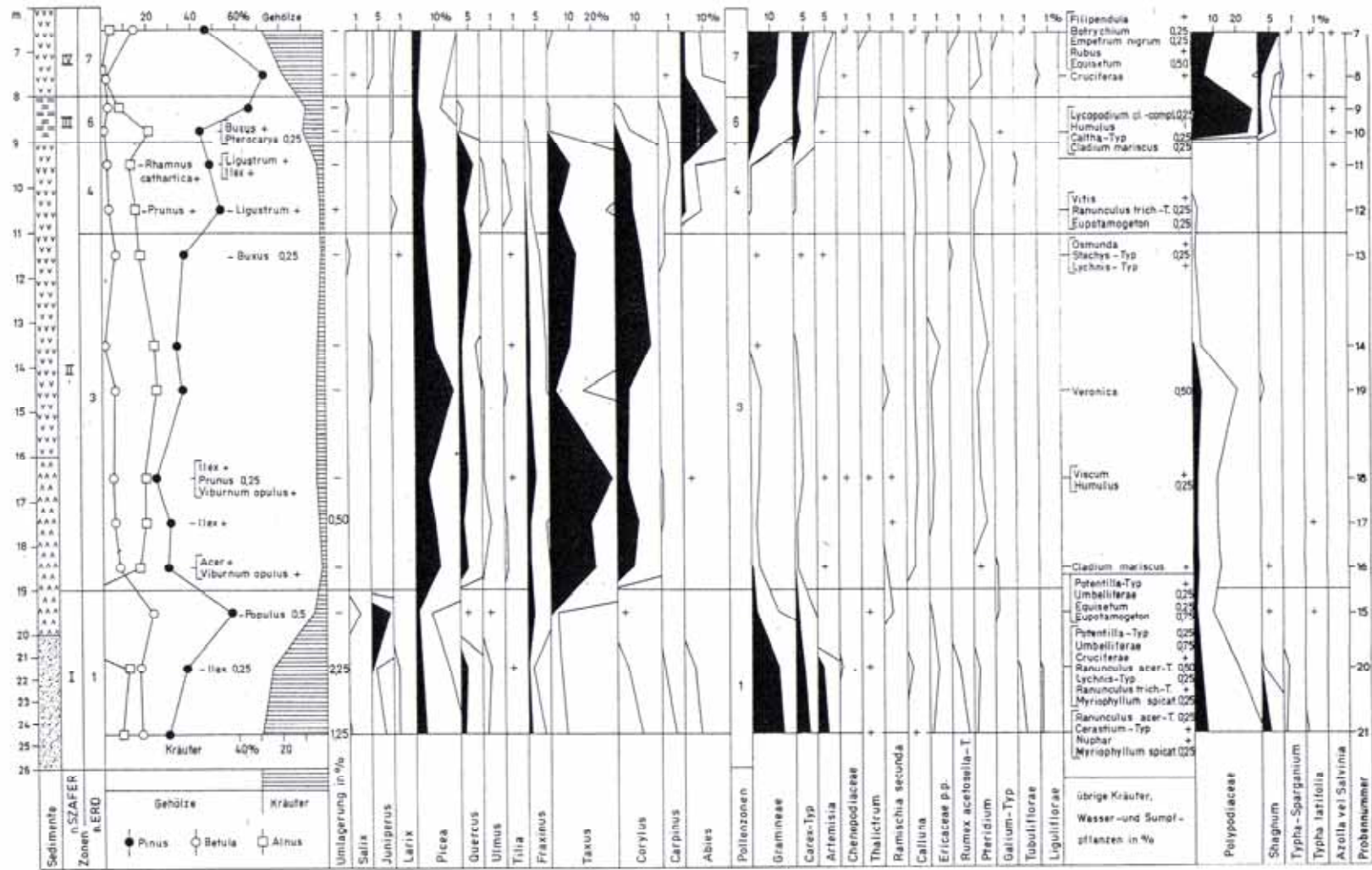


Abb. 10.4: Pollenprofil Wildschütz (Erd and Müller, 1977).

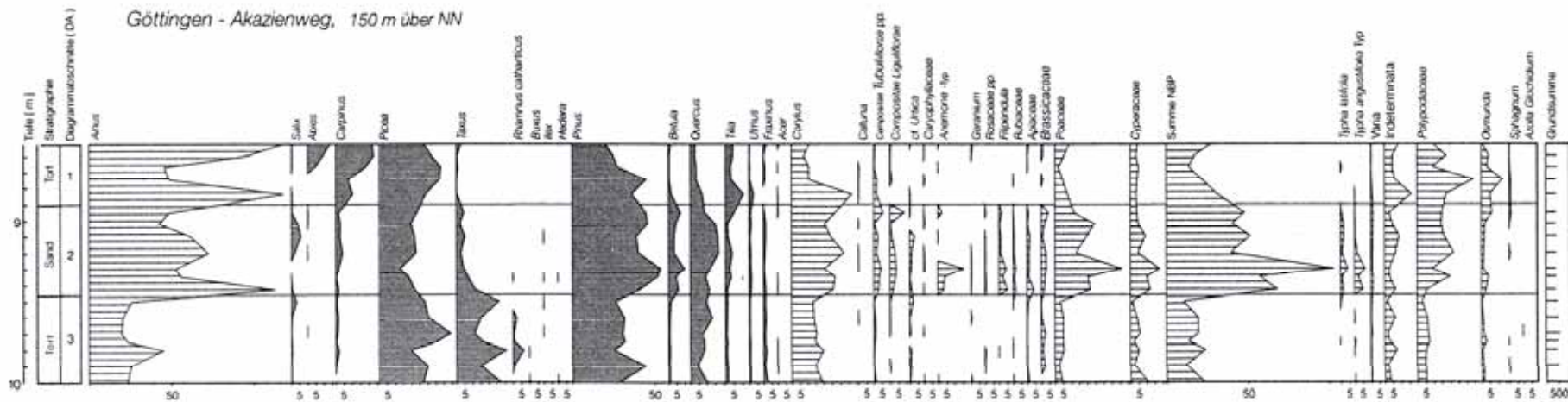


Abb. 10.5: Pollenprofil Göttingen, Akazienweg (Grüger et al., 1994). Die Diagrammabschnitte DA 1-3 entsprechen dem Übergang von Müllers Pollenzonen VIIc nach IX/X, beinhalten also die Zeit 1. Birken-Kiefern-Vorstoß (Pollenzone VIII) nach Müller (1974). Pollen in % Baumpollen, ausschließlich *Corylus* und *Alnus*.

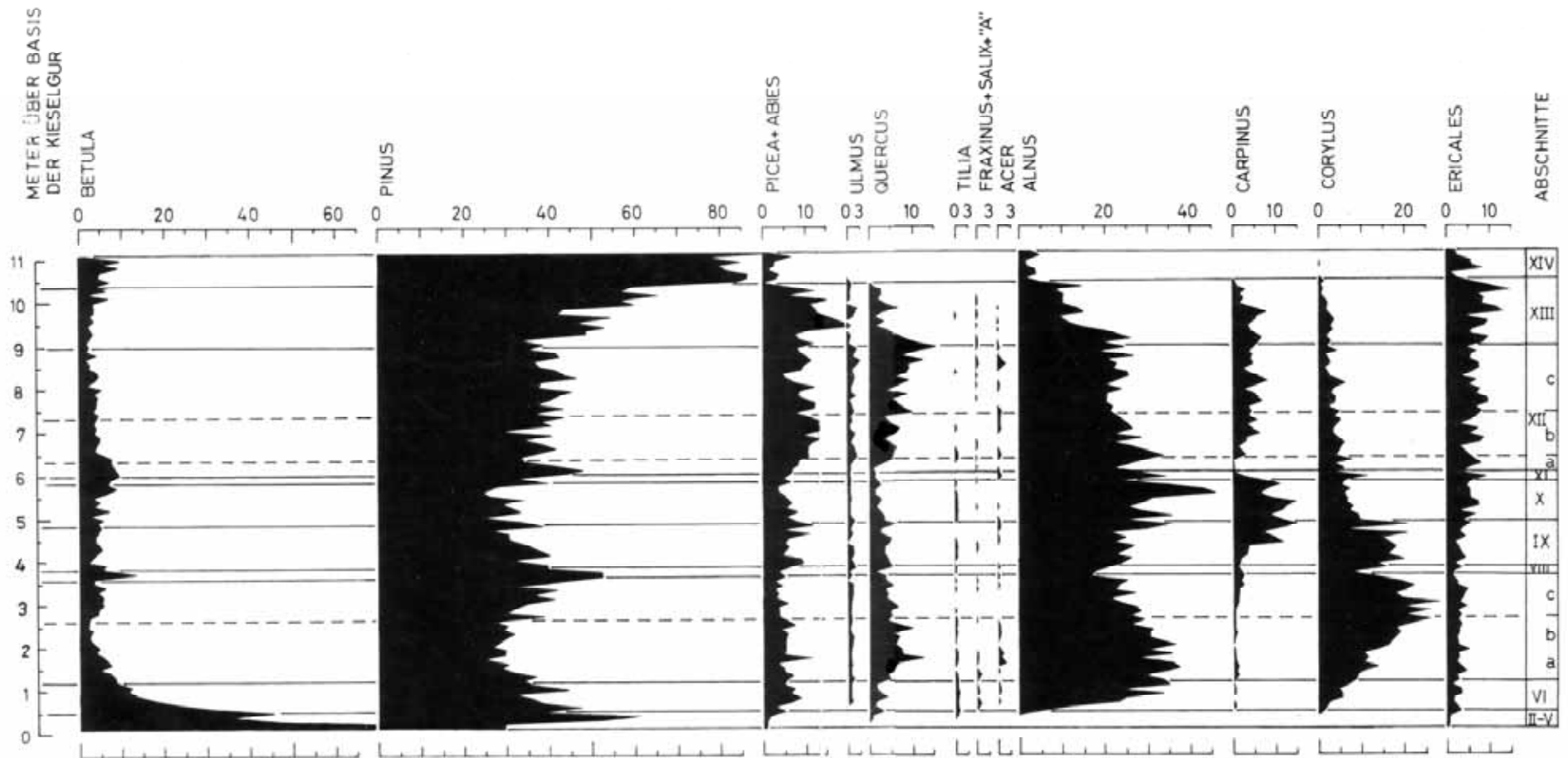


Abb. 10.6: Pollenprofil Ohe, umgezeichnet nach Gistl (1928) (freundlicher Weise bereitgestellt von Herrn Dr. Helmut Müller), später auch bearbeitet von Selle (1954).

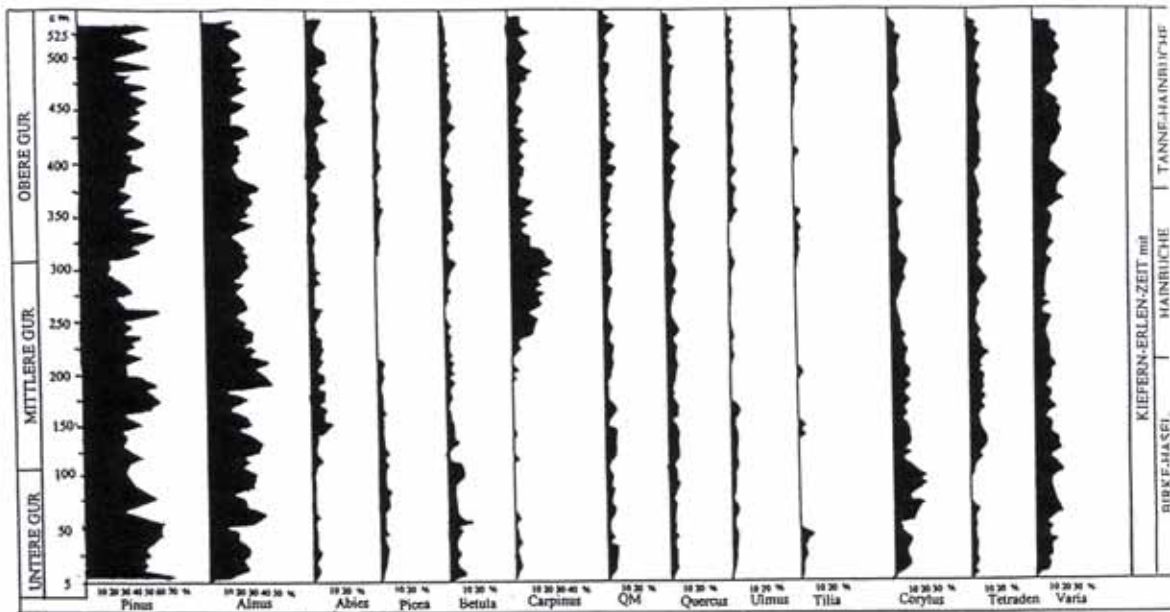
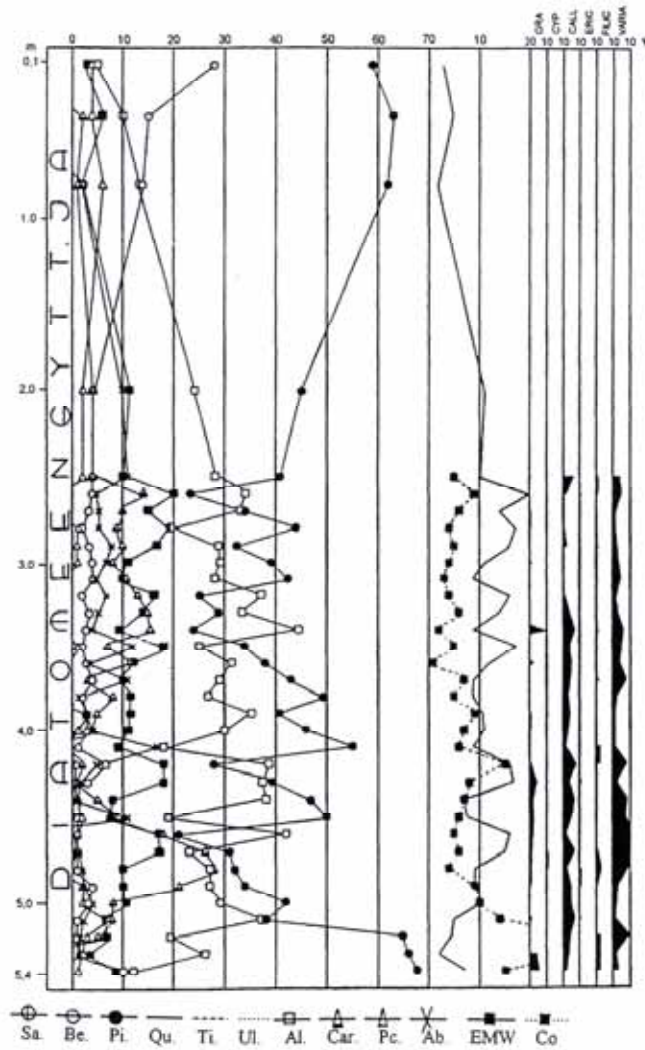


Abb. 10.7 a & b: Pollenprofile Klieken. Oben: schwer zu überschauendes Pollenprofil mit Pollenkurvensignaturen (Selle, 1955), unten: Schattenrissdiagramm nach Majewski (1961).

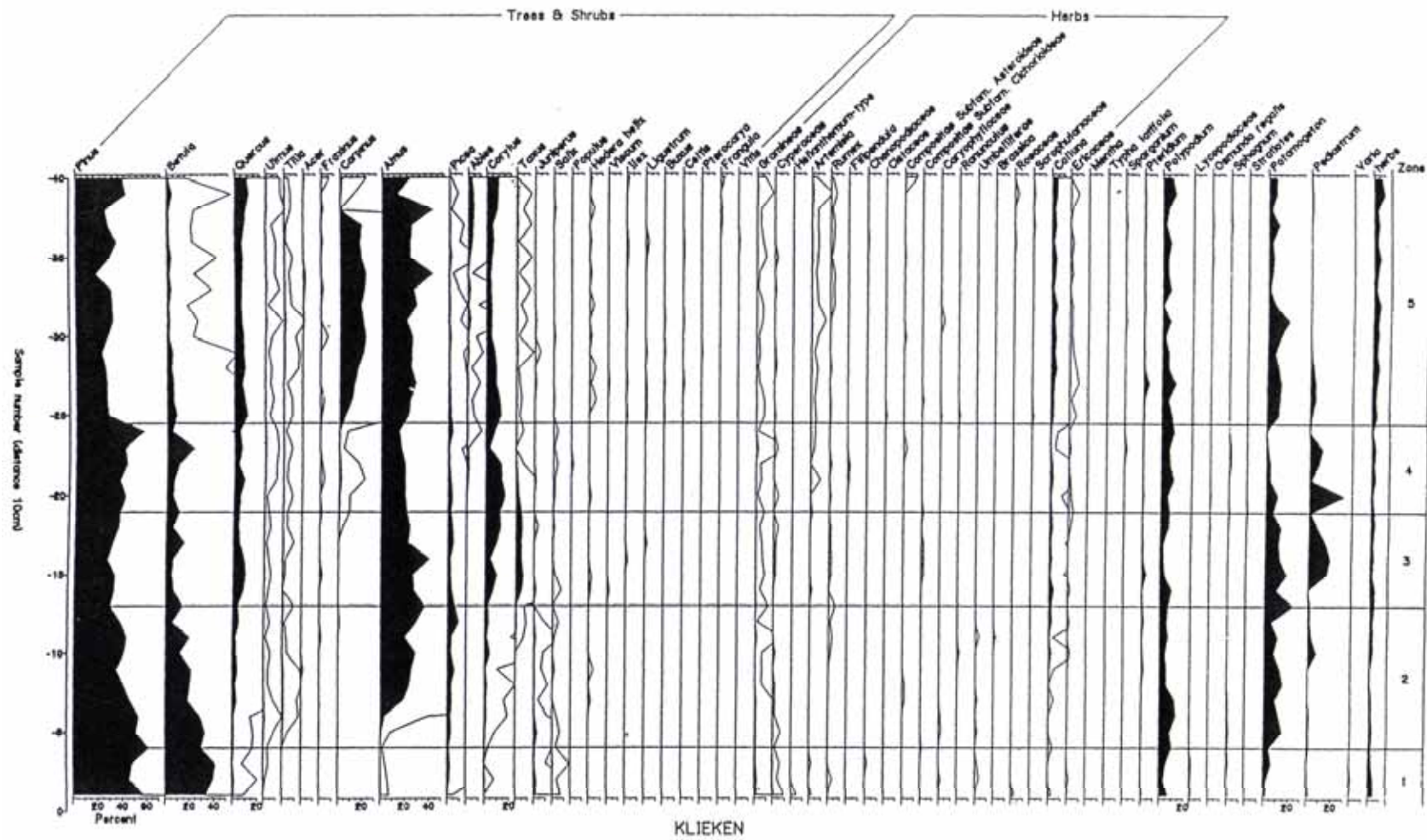


Abb. 10.7 c: Pollenprofil Klieken (Neumann, 2000).

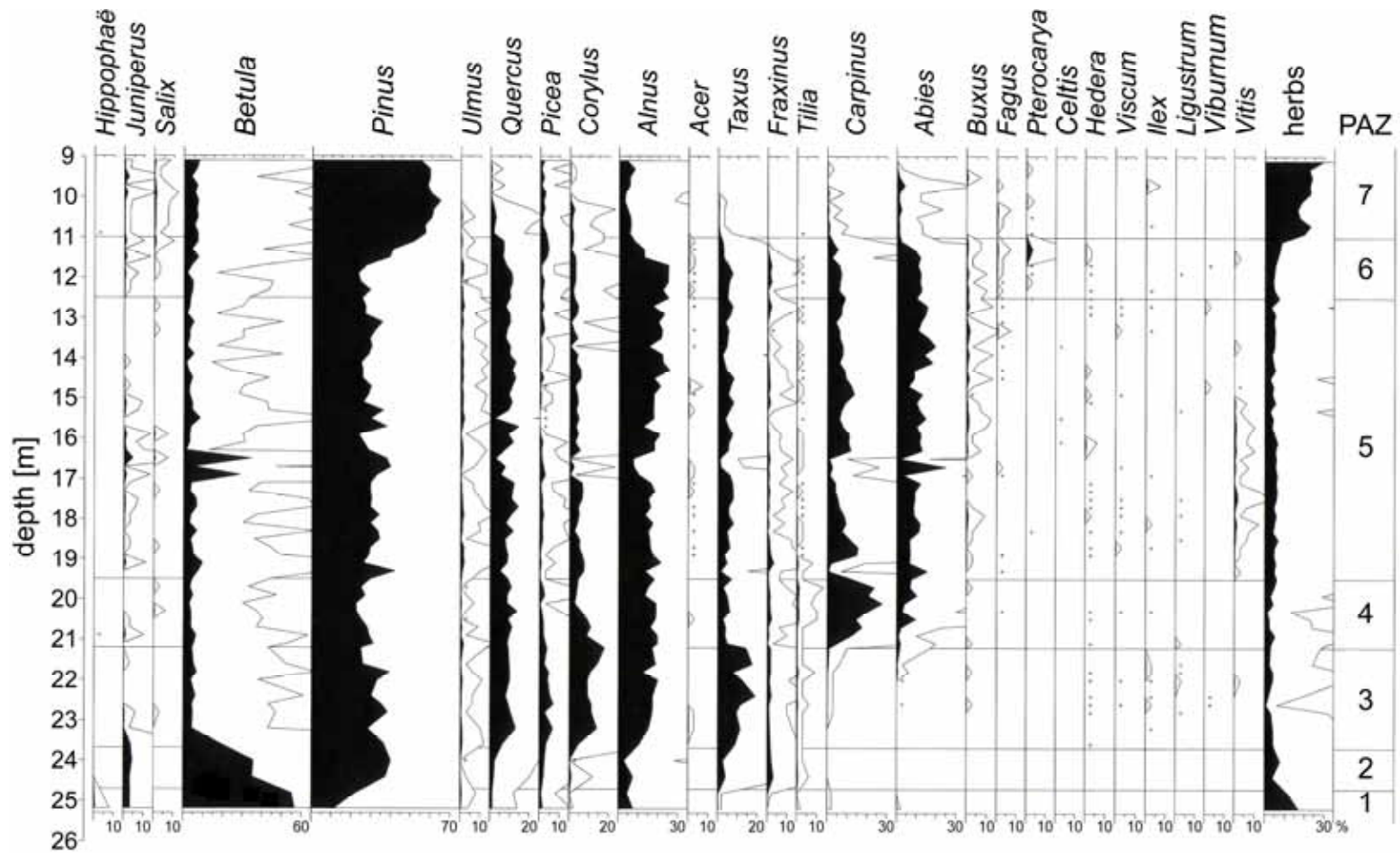


Abb. 10.9: Pollenprofil Schmerz-Gröbern, Neufassung nach Kühl und Litt (2007), Original in Eissmann et al. (1995), Pollenzonierung nach Erd.

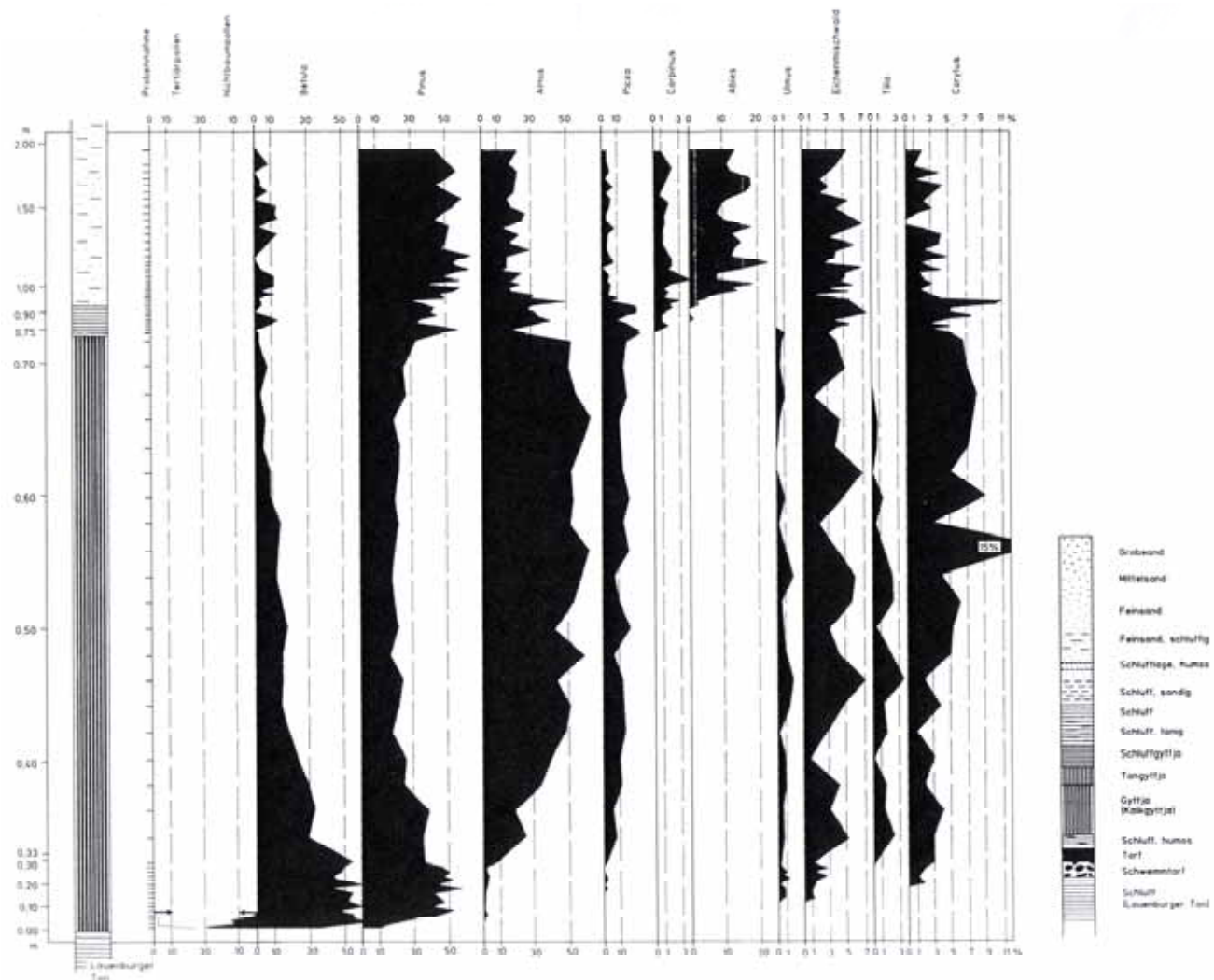


Abb. 10.10: Pollenprofil Hamburg-Hummelsbüttel (Linke, 1993), ursprünglich in Hallik (1960), später auch in Averdieck (1992).

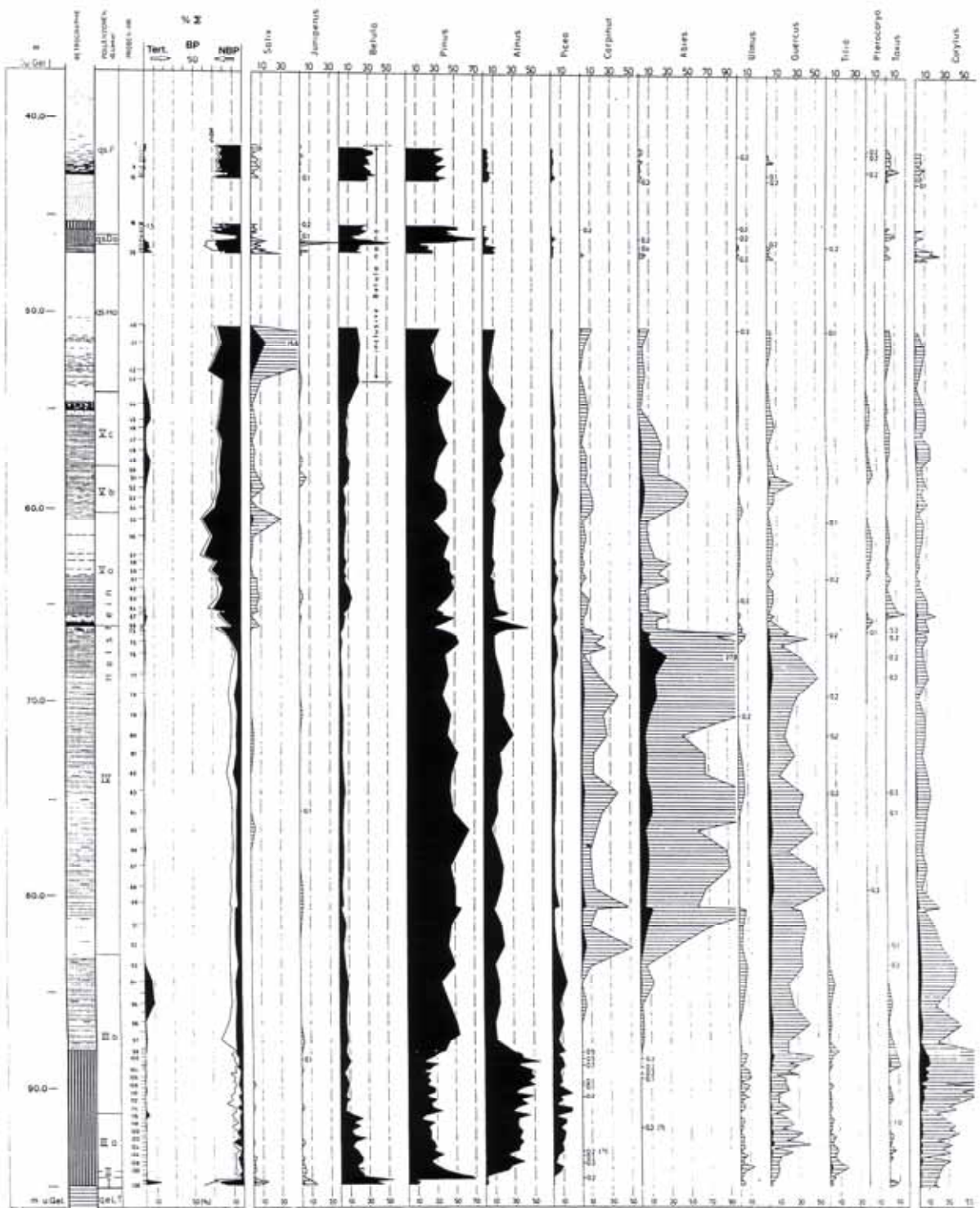


Abb. 10.11: Pollenprofil Hamburg-Dockenhuden (Linke and Hallik, 1993).

10.4. Abbildungen / Eigendaten



Abb. 10.12 a: Döttinger Maar, Panoramablick gegen Westen, mit den Bohrpositionen DOE 1-3, dem Schlackenkegel des Niveligsberg, der Ortschaft Döttingen und der Nürburg.



Abb. 10.12 b: Kernbohrung DOE 1.

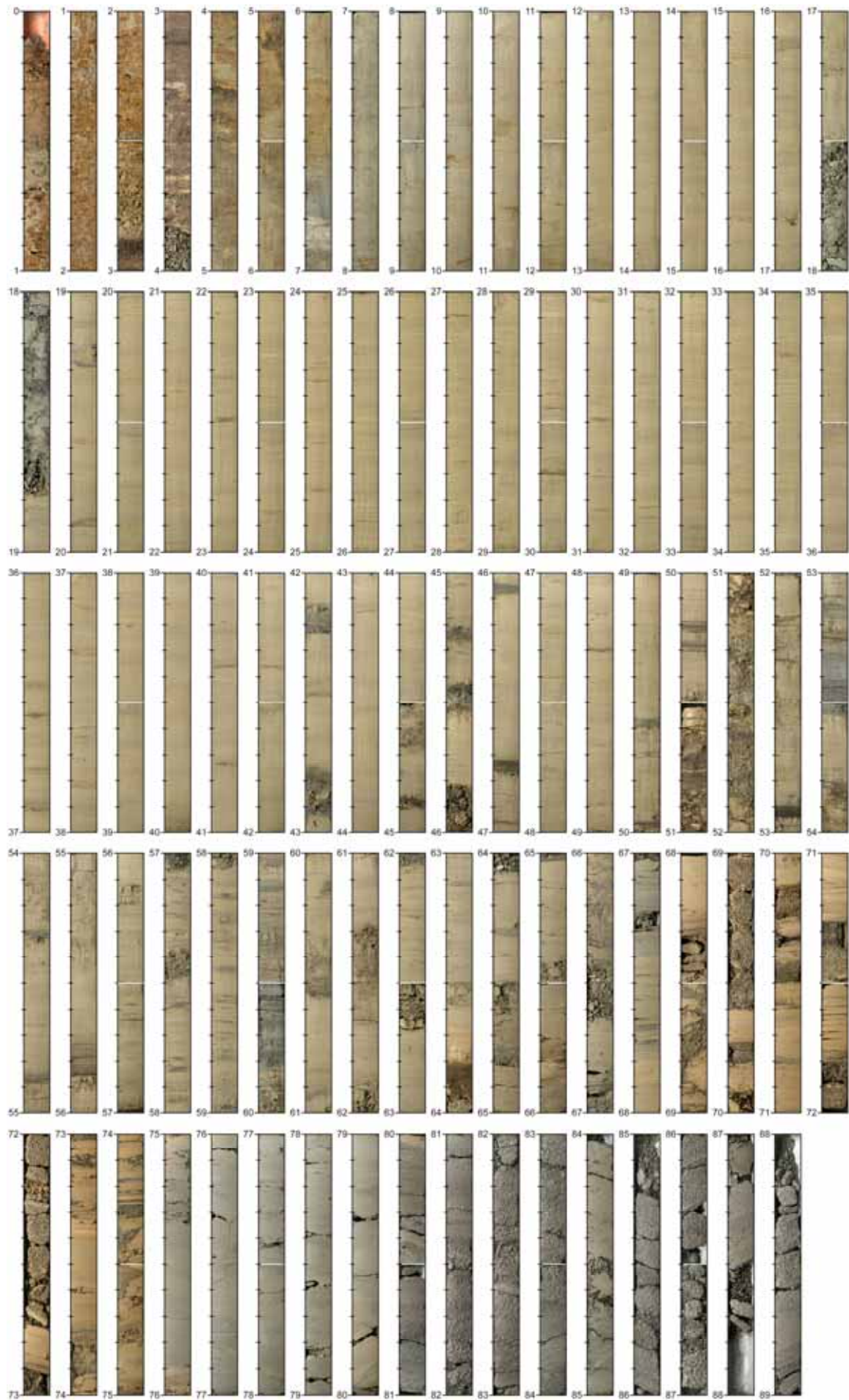


Abb. 10.13: Kern DOE 1. Teufenskala: [m].

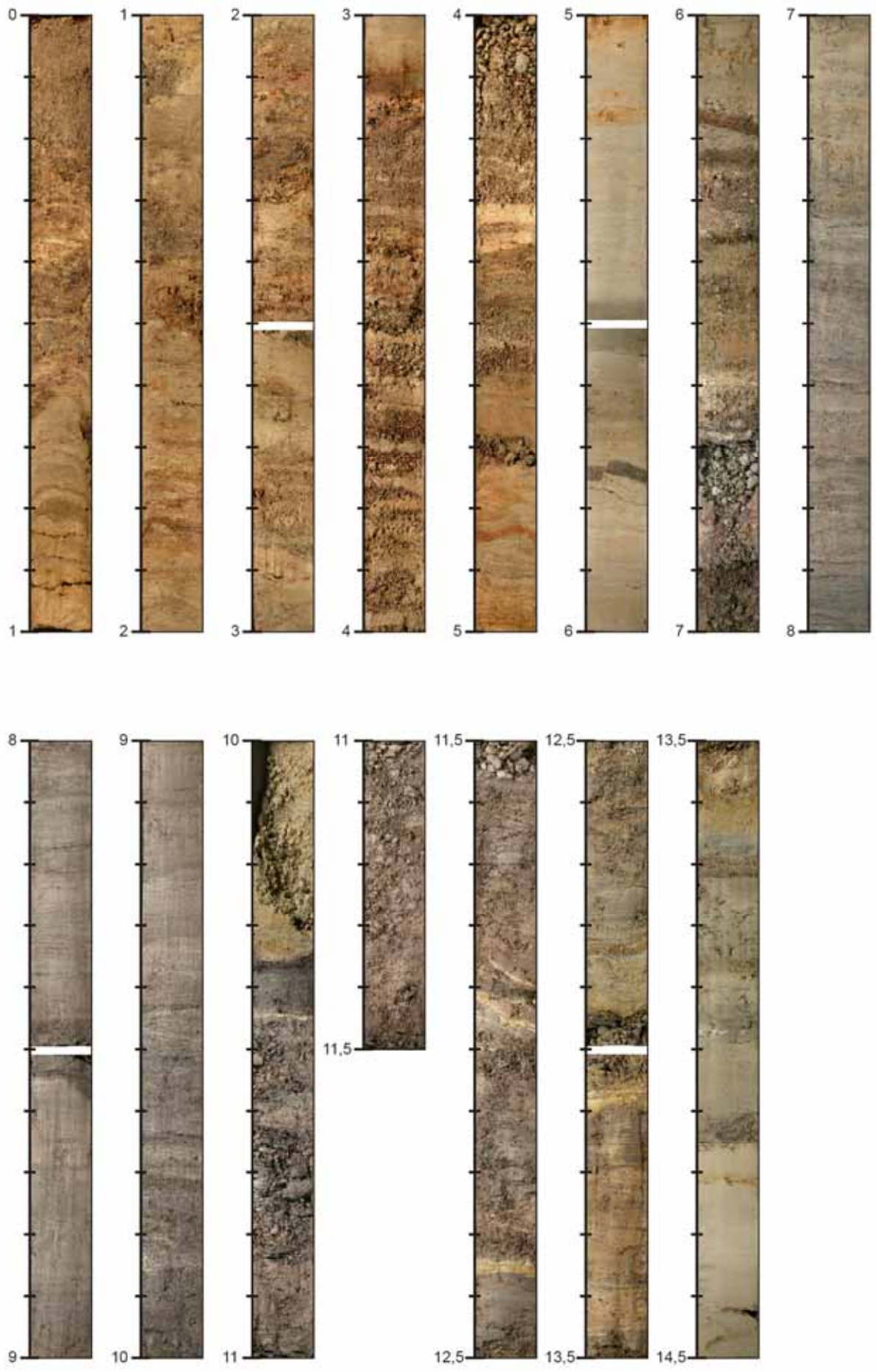


Abb. 10.14: Kern DOE 2. Teufenskala: [m].

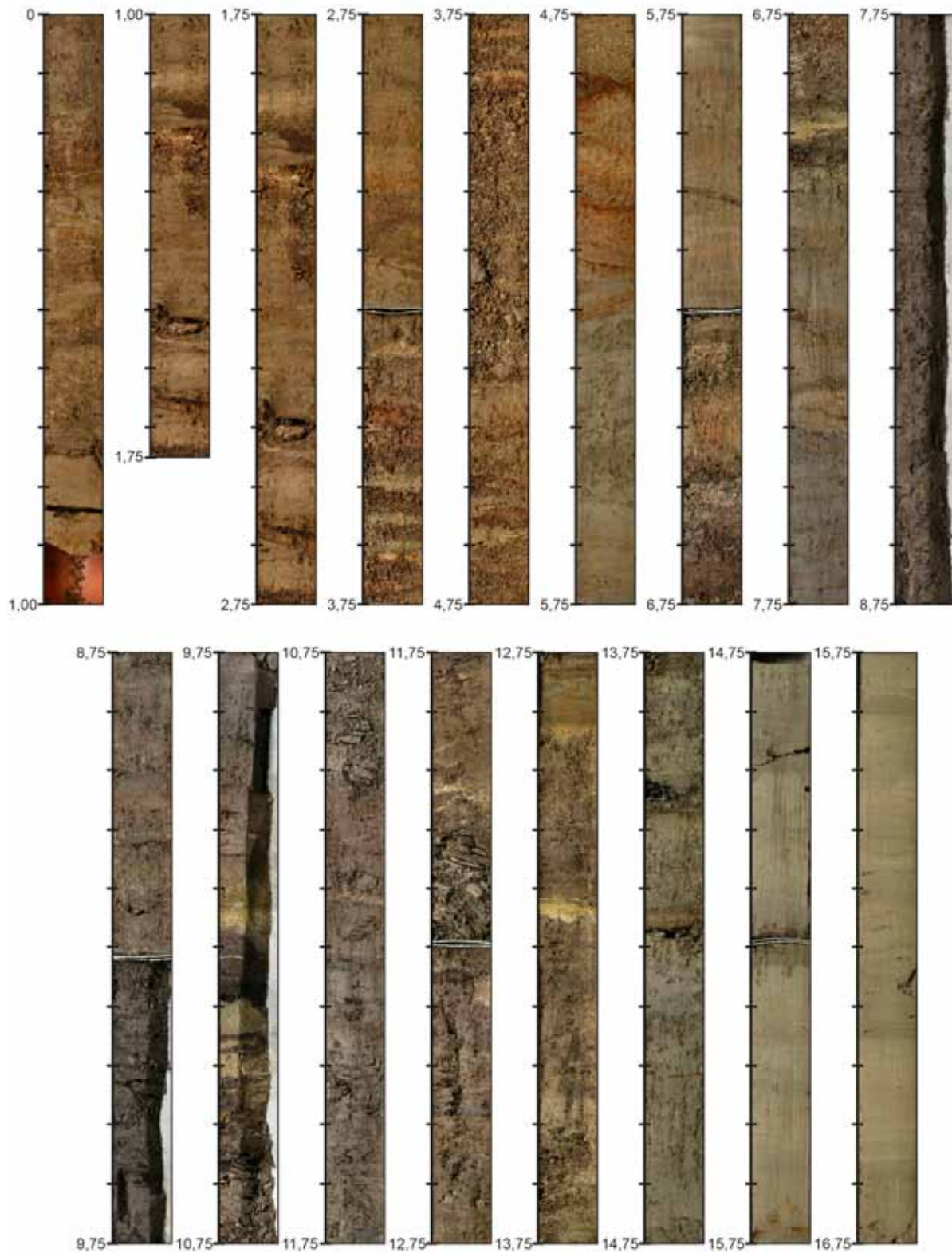


Abb. 10.15: Kern DOE 3. Teufenskala: [m].

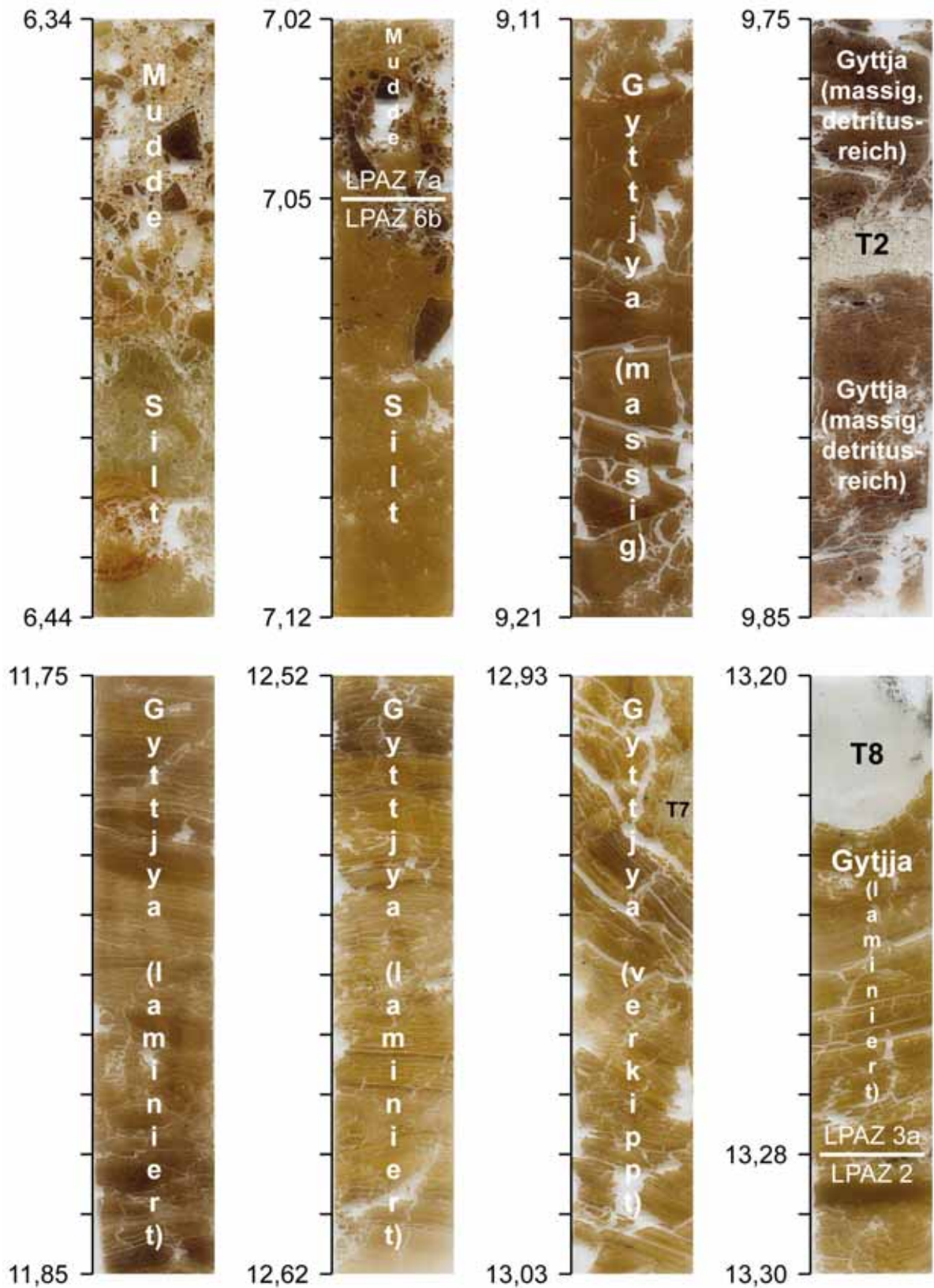


Abb. 10.16: Kern DOE 3, Dünnschliffbeispiele (Teufenkala: [m]) (LPAZ: *local pollen assemblage zone*, T: Tephra).

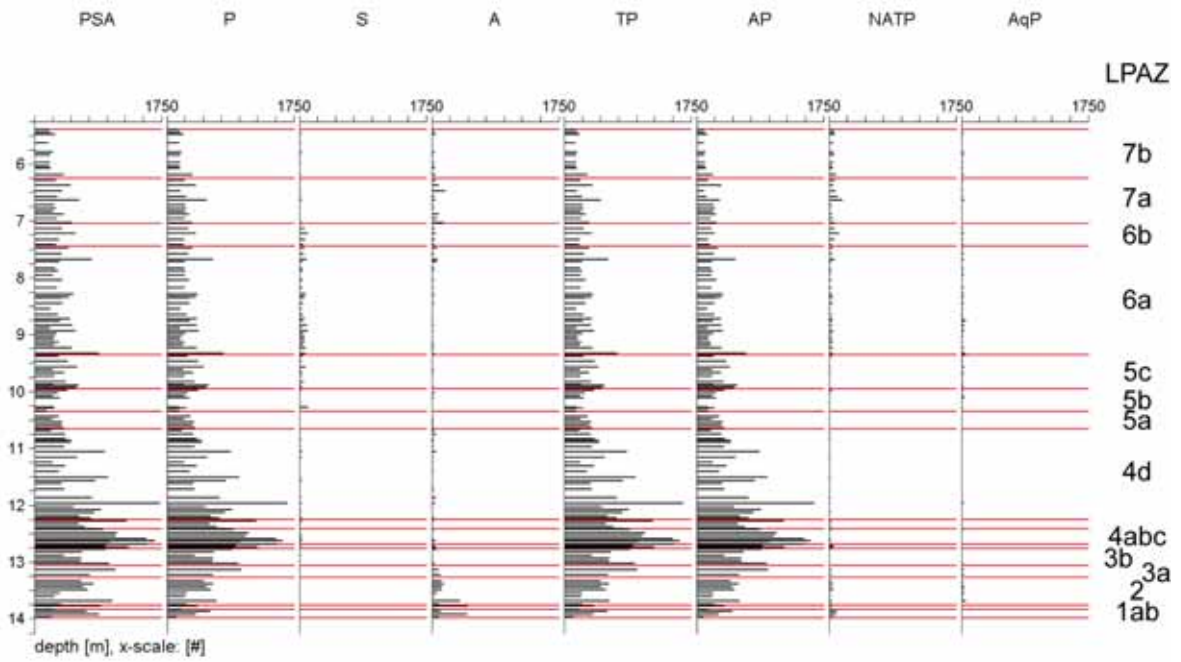


Abb. 10.17: DOE 3, Anzahl gezählter Palynomorphen. PSA: *pollen+spores+algae*; P: *pollen*; S: *spores*; A: *algae*; TP: *terrestrial pollen*; AP: *arboreal pollen*; NATP: *non arboreal terrestrial pollen*; AqP: *aquatic pollen*; LPAZ: *local pollen assemblage zone*.

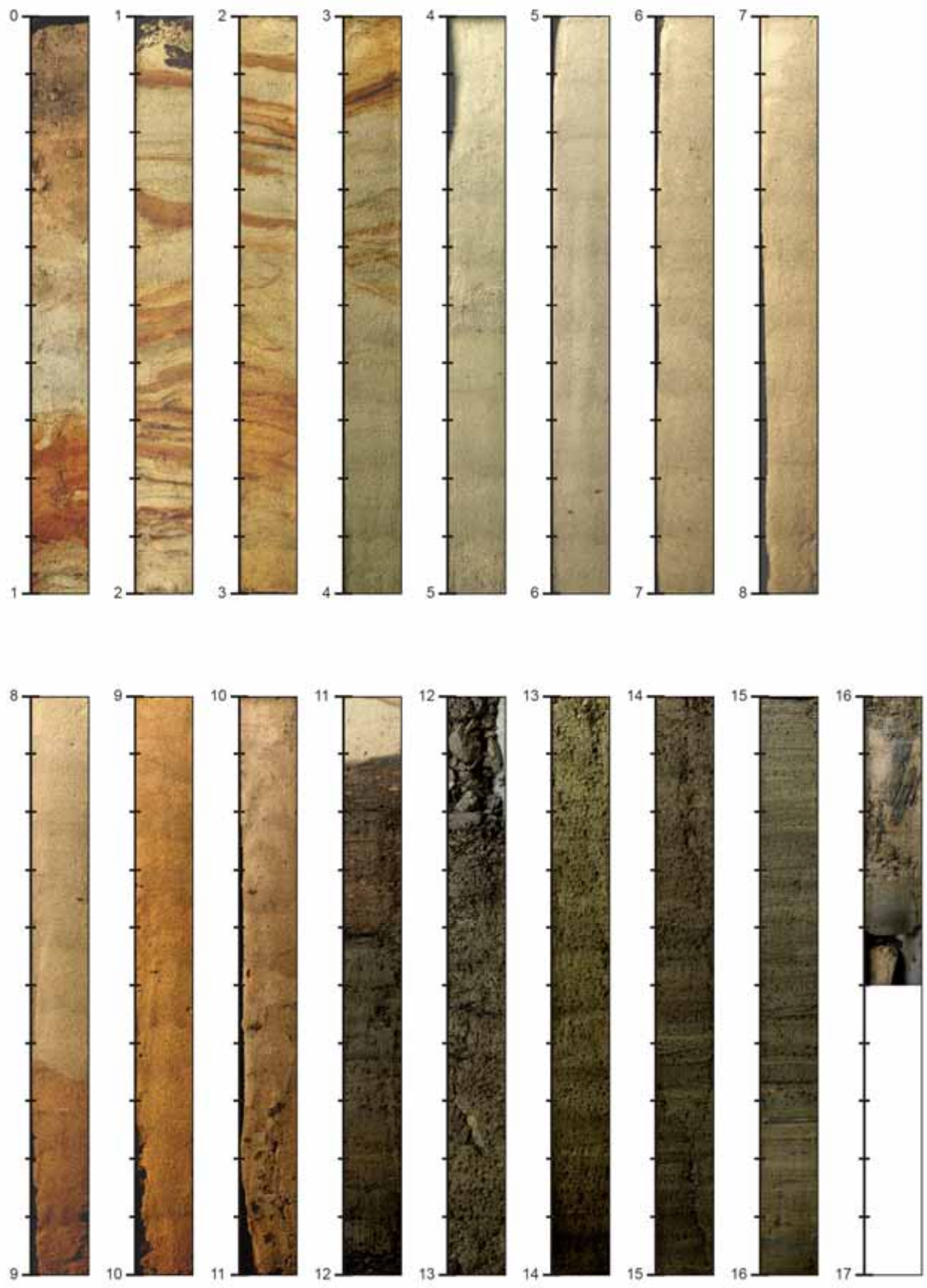


Abb. 10.18: Kern BT 1. Teufenskala: [m].



Abb. 10.19: BT 1, Anzahl gezählter Palynomorphen. PSA: *pollen+spores+algae*; P: *pollen*; S: *spores*; A: *algae*; TP: *terrestrial pollen*; AP: *arboreal pollen*; NATP: *non arboreal terrestrial pollen*; AqP: *aquatic pollen*; LPAZ: *local pollen assemblage zone*.

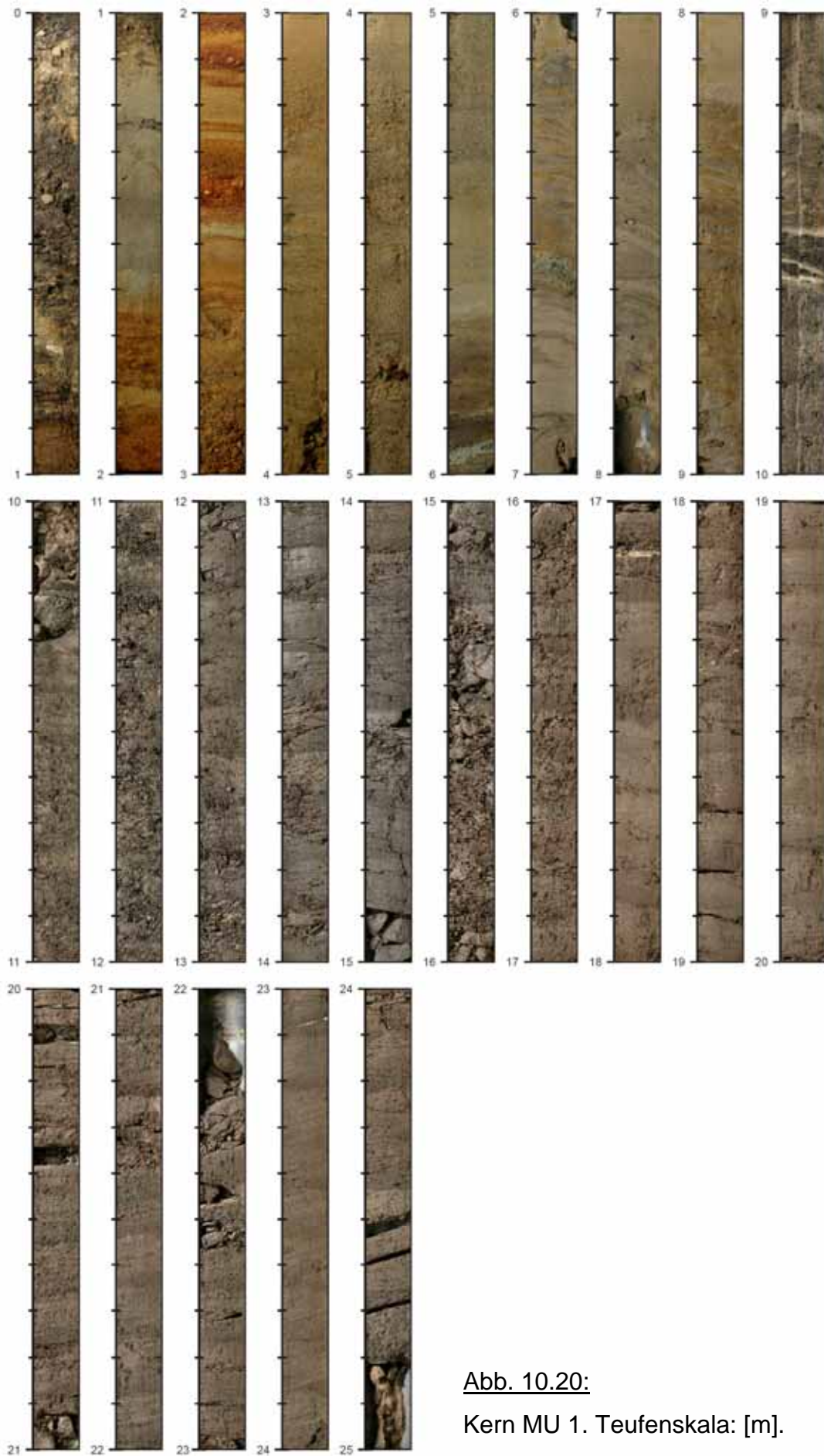


Abb. 10.20:
Kern MU 1. Teufenskala: [m].



Abb. 10.21: Kern MU 2. Teufenskala : [m].

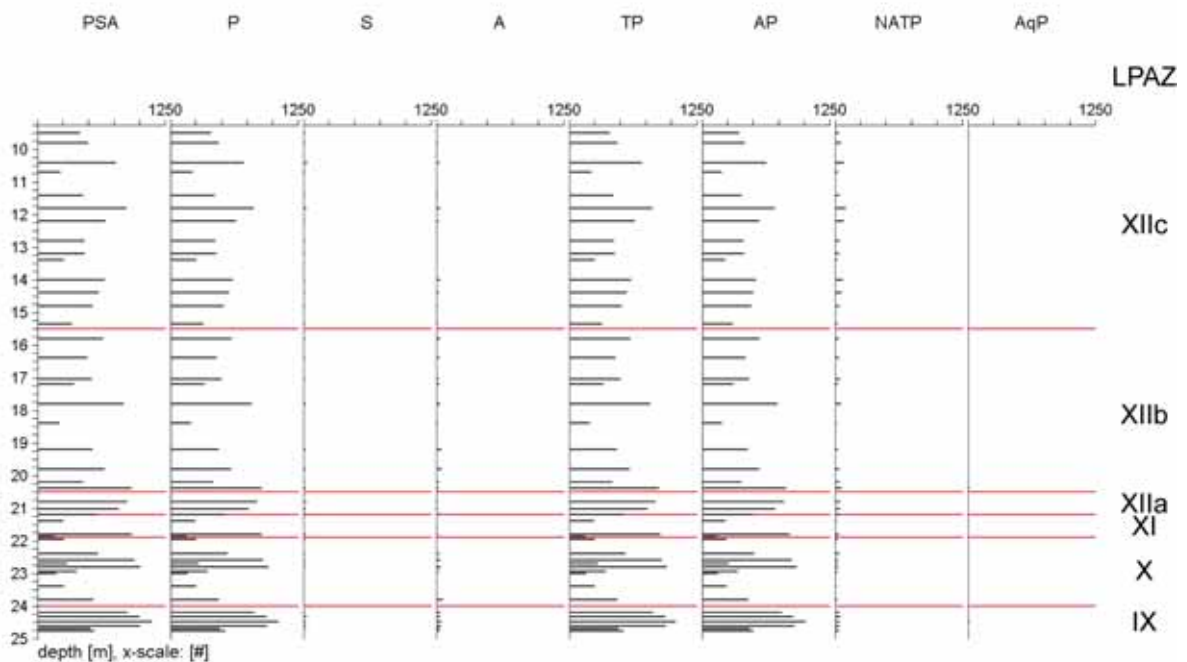


Abb. 10.22: MU 1, Anzahl gezählter Palynomorphen. PSA: *pollen+spores+algae*; P: *pollen*; S: *spores*; A: *algae*; TP: *terrestrial pollen*; AP: *arboreal pollen*; NATP: *non arboreal terrestrial pollen*; AqP: *aquatic pollen*; LPAZ: *local pollen assemblage zone*.

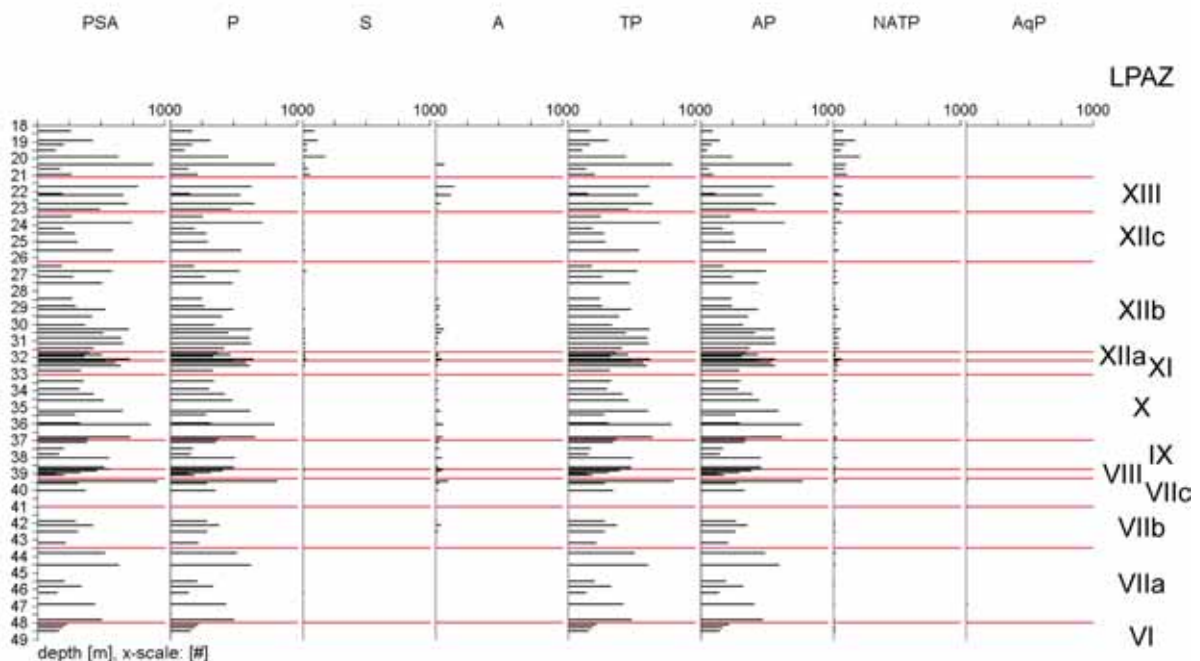


Abb. 10.23: MU 2, Anzahl gezählter Palynomorphen. PSA: *pollen+spores+algae*; P: *pollen*; S: *spores*; A: *algae*; TP: *terrestrial pollen*; AP: *arboreal pollen*; NATP: *non arboreal terrestrial pollen*; AqP: *aquatic pollen*; LPAZ: *local pollen assemblage zone*.



Abb. 10.24: Wechsel der Warvenmächtigkeit um 42,90 m Teufe in Kern MU 2.



Abb. 10.25: Von Dr. Helmut Müller zur Verfügung gestelltes Foto der Tongrube Jakobi, aus dem Jahre 1962. Blick vom Südrand des Grubengeländes nach Norden auf das ehemalige Ziegeleigebäude. Die Lage des Bohrung 1/62, die Bohrung 3/62 oder 4/62 (Bohrturm), sowie die aufgeschlossenen stratigraphischen Einheiten wurden entsprechend einer Skizze von Herrn Dr. H. Müller markiert.

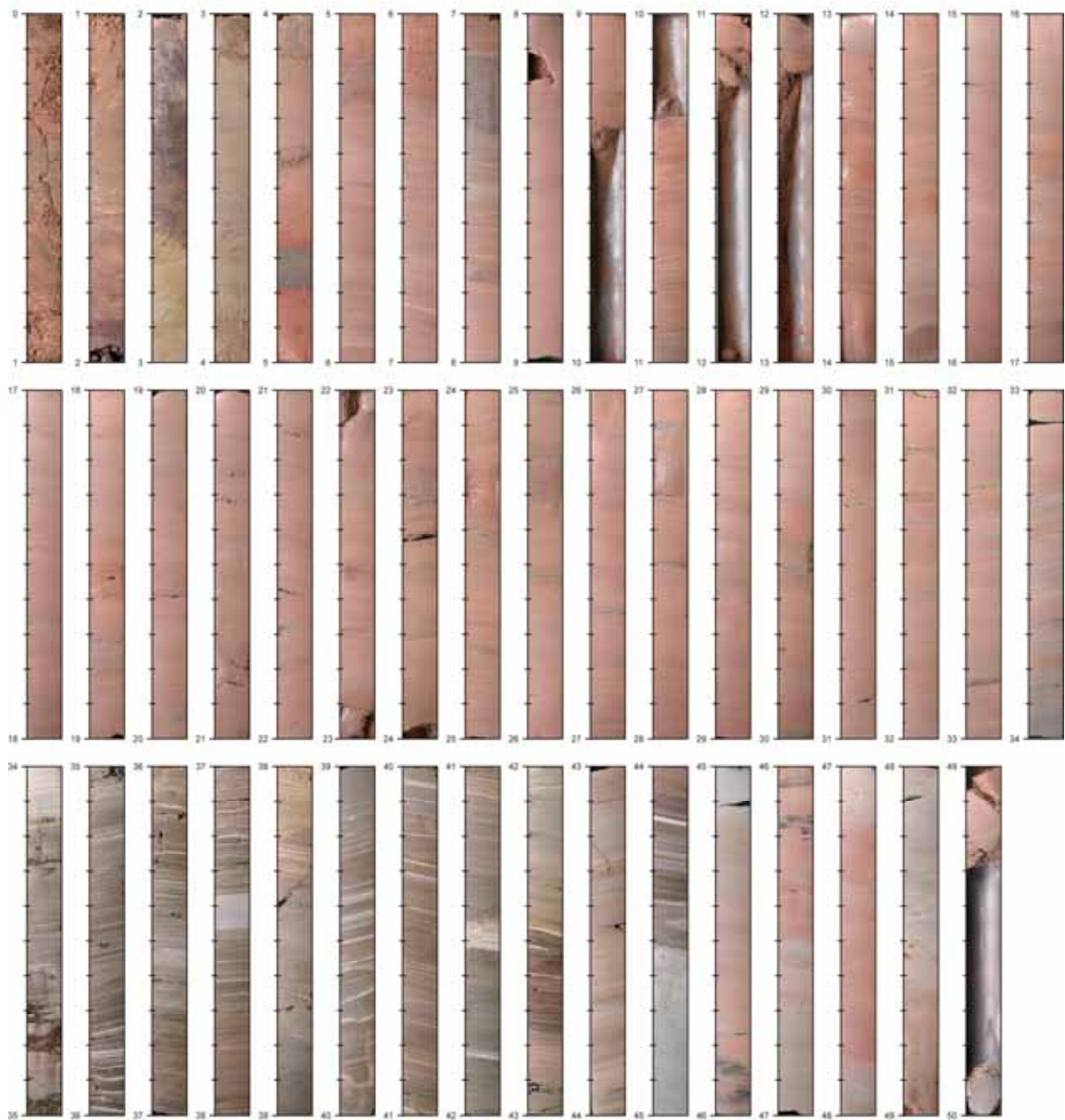


Abb. 10.26: Kern BI 1. Teufenskala: [m].

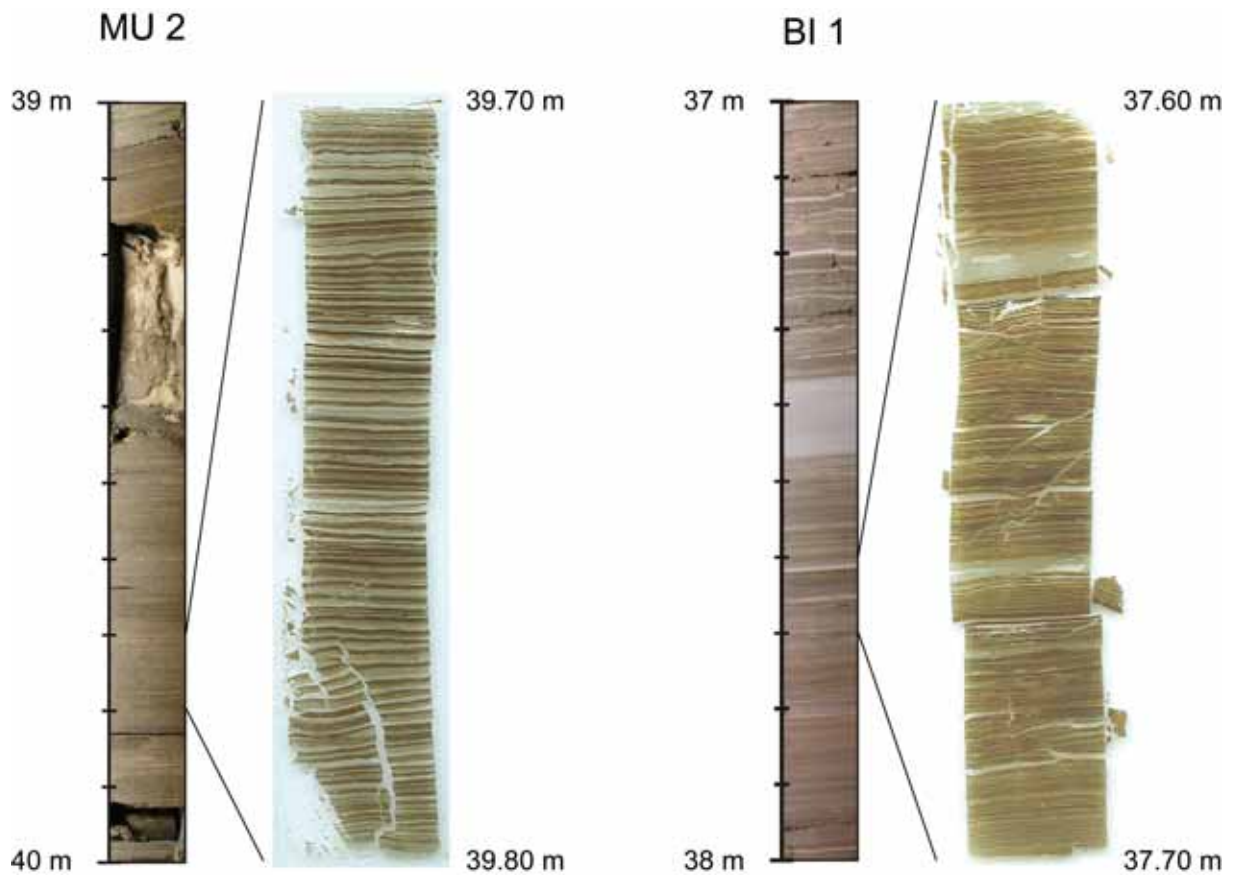


Abb. 10.27: Vergleich der Warfung von Kern MU 2 und Kern BI 1.

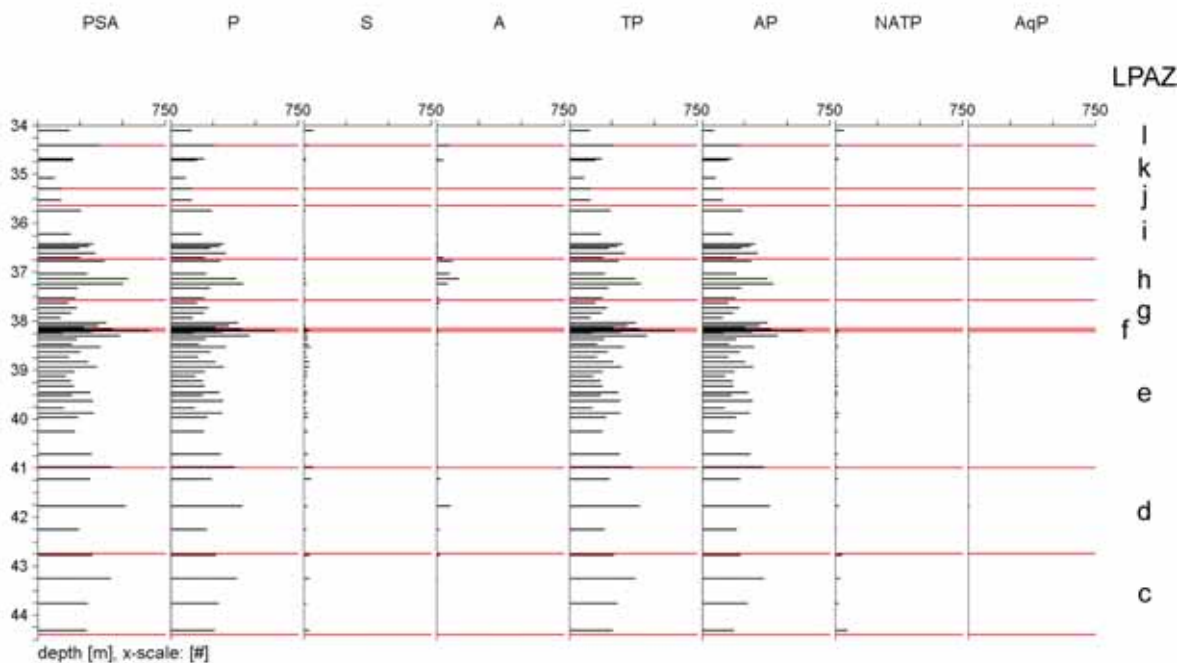


Abb. 10.28: BI 1, Anzahl gezählter Palynomorphen. PSA: *pollen+spores+algae*; P: *pollen*; S: *spores*; A: *algae*; TP: *terrestrial pollen*; AP: *arboreal pollen*; NATP: *non arboreal terrestrial pollen*; AqP: *aquatic pollen*; LPAZ: *local pollen assemblage zone*.

11. Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Deutschen Klimaforschungsprogramms (DEKLIM) ermöglicht und finanziert.

Die bearbeiteten Bohrkerne wurden von der Firma [REDACTED] abgeteuft. Die Kompetenz der Firmenleitung und des Bohrteams garantierten die stets hohe Qualität der gewonnenen Bohrkerne.

Mein Dank gilt den Betreuern dieser Arbeit, [REDACTED] und [REDACTED] für die fachliche Betreuung und für das kollegiale Arbeitsverhältnis. Bedanken möchte ich mich außerdem bei den Herren [REDACTED] und [REDACTED] sowie bei Herrn [REDACTED] für ihre Einweisung in die Pollenzählung beziehungsweise für Diskussionen und Unterstützung in palynologischen Sachbelangen.

Die vorliegende Arbeit wäre zudem nicht ohne die Mitarbeiter der institutsinternen Arbeitsgruppe Sedimentologie zustande gekommen. Hier möchte ich insbesondere meinen Kollegen [REDACTED], [REDACTED] und [REDACTED], den technischen Angestellten [REDACTED], [REDACTED] und [REDACTED], den wissenschaftlichen Hilfskräften [REDACTED], [REDACTED] und [REDACTED] und unserem Systemadministrator [REDACTED] danken.

An dieser Stelle zuletzt, aber in meinem Herzen zuerst möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Freundin [REDACTED] für ihre private Unterstützung und Liebe bedanken.

12. Lebenslauf

Markus Diehl
Diplom-Geologe, Diplom- Elektroingenieur
Gonsbachstr. 5 b
55124 Mainz

2002 – 2006	wissenschaftlicher Mitarbeiter, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
1996 – 2002	Studium der Geologie / Paläontologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
1991 – 2002	Arbeitnehmer, COWA-Service Gebäudedienste GmbH & Co KG
1985 – 1995	Studium der Elektrotechnik, Universität Kaiserslautern
1984 – 1985	Grundwehrdienst, Diez an der Lahn, Koblenz
1971 – 1984	Grundschule, Gymnasium Kaiserslautern
05.10.1965	Kaiserslautern