

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	7(2000), 1/2	S. 101–113	4 Abb., 3 Tab., 47 Lit.
----------------------------------	--------------	--------------	------------	-------------------------

# Der Mineralbestand brandenburgischer Grundmoränen als lithostratigraphischer Indikator – erste Ergebnisse der Röntgenphasenanalyse der Tillmatrix < 63 µm

JOACHIM LUCKERT & HANS ULRICH THIEKE

## 1. Einleitung

Wegen des bekannten Mangels an ausreichenden biostratigraphischen Befunden sind die Quartärgeologen im Verbreitungsgebiet der nordeuropäischen Vereisung häufig auf lithostratigraphische Informationen angewiesen. Eins der wichtigsten Anwendungsgebiete für die lithostratigraphische Arbeitsweise war und ist in Brandenburg die relative Altersbestimmung von Geschiebemergeln mit Hilfe ihres Geschiebeinhalts. Von herausragender Bedeutung für die routinemäßige stratigraphische Zuordnung insbesondere von Bohrproben ist die von CEPEK (1969, 1973) weiterentwickelte petrographische Geschiebeanalyse in der Fraktion 4 bis 10 mm. Sie war die tragende methodische Säule der Tillstratigraphie für die Lithofazieskarten Quartär der DDR im Maßstab 1 : 50 000 (CEPEK 1999).

Ähnlich wie die Verwendung von Leitgeschieben für die relative Altersbestimmung von Tillhorizonten (HESEMANN 1939, ZANDSTRA 1983, LÜTTIG zuletzt 1999) geht die Kleingeschiebeanalyse davon aus, dass aus definierten Unterschieden der petrographischen Zusammensetzung der Fein- und Mittelkiesfraktion Herkunftsgebiet, Fließrichtung und Alter der Inlandeisvorstöße grundsätzlich ableitbar sind (TGL 25 232). Mit der jahrzehntelangen, systematischen Anwendung der Geschiebestatistik wurden deren Unschärfen und Grenzen erkannt und kritisch benannt (EISSMANN 1967, 1986, WOLDSTEDT & DUPHORN 1974, v. BÜLOW, HARFF et al. 1977, EHLERS 1983, 1992, ANDERS, KRATZERT et al. 1991, LIPPSTREU, HANNE-MANN et al. 1992, THIEM & KRIBETSCHKE 1992, LIPPSTREU 1995, KÜHNER 2000). Die meisten der Anwender waren und sind sich der Faktoren bewußt, die die angestrebte regionale oder sogar überregionale Korrelierbarkeit der Ergebnisse der Kleingeschiebeanalyse stark einschränken bzw. teilweise unmöglich machen (z.B. mehrmaliges Pendeln der Eisscheide, unterschiedlicher Geschiebetransport, verschiedene Tillfazies).

Die bekannten Unsicherheiten in der kleingeschiebeanalytischen Aussage waren Veranlassung, Möglichkeiten ergänzender Untersuchungen zur Präzisierung und Unterstützung dieser für die Quartärkartierung und die angewandte Geologie bisher unverzichtbaren Methode zu finden. Aus diesem Grunde wurde im Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) ein entsprechendes Forschungsthema bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) beantragt und von 1994 bis 1996 als Förderprojekt IIC5-Schw 487/4-1,2,3 realisiert. Im Folgenden werden Methodik und Ergebnisse des

Abschlußberichtes SCHWAB, THIEKE et al. (1997) in zusammengefaßter Form ausgeführt. Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die gewährte Förderung.

## 2. Zielstellung

Die Art der limitierenden Einflüsse auf die Aussagekraft der Kleingeschiebestatistik wirft die hier nicht weiter vertiefte Frage auf, ob es überhaupt Tillkomponenten gibt, die sich der Wirksamkeit der genannten einschränkenden Faktoren teilweise oder ganz entziehen konnten. Die ferntransportierten, nordischen Grundmoränen-Grobbestandteile sind es offensichtlich nicht, auch nicht ein Teil ihrer feinkörnigen Zerfallsprodukte in Form von Schwermineralen, wie u.a. ILLERS, RUDOLPH et al. 1963, HENTSCHKE & STEPHAN 1989, KNUTH & WANSA 1990 nachgewiesen haben.

Auf Grund dieser Überlegungen konzentrierten sich die Untersuchungen auf die feinkörnige Tillmatrix als Produkt der exarativen Aufnahme von Weichsedimenten, die in und südlich der Ostseedepression die präquartäre Landoberfläche bildeten. In diesem in N-S-Richtung ca. 400 km breiten Streifen am Rande der Inlandeisplatte dominierten Prozesse der Erstaufnahme von vorwiegend tertiären Sedimenten durch das Elster(1)-Eis und der mehrfachen Wiederaufarbeitung von glaziären und interglazialen Bildungen durch jüngere Eisvorstöße.

Seit geraumer Zeit wurden im nordeuropäischen Vereisungsgebiet aus unterschiedlichen Blickwinkeln die Beziehungen zwischen Grundmoräne und Ausgangsgestein röntgenphasenanalytisch unter besonderer Berücksichtigung der Tonminerale untersucht (SOVERI 1956, McNAMARA 1966, VALETON, LÖHNERT et al. 1972, ROALDSET 1972, LINDEN 1975, ALRAWI 1976, STANKOWSKA 1976, 1979, VORTISCH 1982, HALDORSEN, JØRGENSEN et al. 1989, LINTINEN 1995, ZÖLLMER & IRION 1996, PEURANIEMI, AARIO et al. 1997). Zwar wurden Unterschiede im Mineralbestand verschieden alter Grundmoränen ausgemacht, ihre Präzisierung scheiterte bisher vor allem an der bestenfalls semiquantitativen Tonmineralanalyse.

Das Ziel des DFG-Projektes bestand darin, mineralogische Merkmale der Matrix von Grundmoränen zu finden, die als lithostratigraphische Indikatoren verwendbar sind und die im Eignungsfalle nach ausreichender statistischer Überprüfung als Routinemethode der Geschiebestatistik zukünftig zur Seite gestellt werden könnten.

Mit der im LGRB durchgeführten Röntgenphasenanalytik wurde eine quantitative Mineraldiagnostik angewandt, die die Möglichkeit eröffnete, geringe Unterschiede in der Tonmineralführung von Grundmoränen zu erkennen und anhand von Referenzproben sicherer stratigraphischer Stellung die umrissene Aufgabenstellung zu erfüllen.

### 3. Probenahme und Probenvorbereitung

Für die röntgenographischen Untersuchungen wurden 65 unverwitterte Geschiebemergelproben aus Tagesaufschlüssen und Bohrungen in der Prignitz, in Mittelbrandenburg und der Lausitz ausgewählt (Abb. 1).

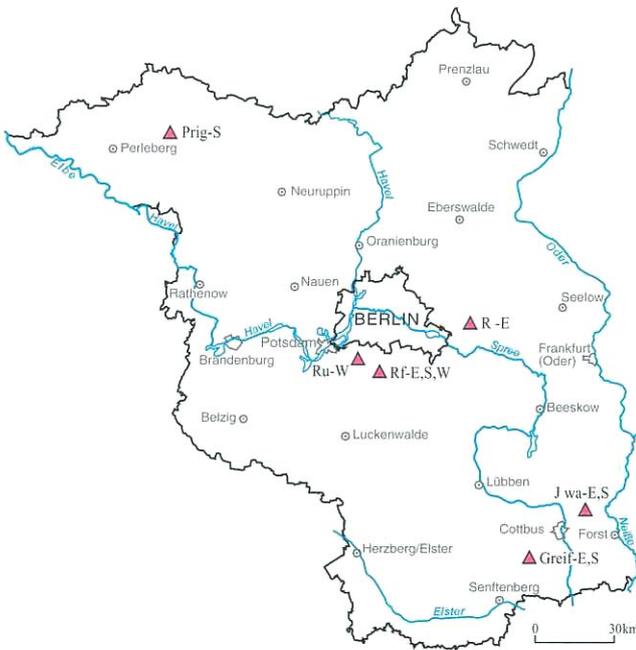


Abb. 1  
Übersicht der Probenlokationen und der stratigraphischen Probenzuordnung

*Prig-S:* Bohrung Prignitz K1E 93 (Pritzwalk, qs)

*Rü-E:* Bohrung Rüdersdorf 11/63 (qe)

*Rf-E,S,W:* Bohrungen Rieselfelder 108 u. 115  
(Berlin Süd, qe, qs, qw)

*Ru-W:* Aufschluß Ruhlsdorf (Teltow, qw)

*Jäwa-E,S:* Tagebau Jänschwalde  
(Südbrandschlauch, qe, qs)

*Greif-E,S:* Tagebau Greifenhain (Sonderschwenk  
Woschkow, qe, qs)

Durch freundliche Unterstützung der Herren Dipl.-Geologen L. Lippstreu und N. Hermsdorf (LGRB, Dezernat Geologische Kartierung) wurden an diesen Lokalitäten grundsätzlich mindestens 2 m mächtige Tillhorizonte von zwei Vereisungen sicherer stratigraphischer Zuordnung in gleicher fazieller Ausbildung (Grundmoräne bzw. basal und meltout till) und in Superposition befindlich, beprobt, um neben möglichst signifikanten mineralogischen Unterschieden auch regionale Besonderheiten der brandenburgischen Grundmoränen erkennen zu können.

Für die detaillierte Mineralbestimmung der Schluff- und Tonmatrix mußten von allen Proben die Fraktionen  $< 63 \mu\text{m}$  und  $< 2 \mu\text{m}$  abgetrennt werden. Die Fraktion  $< 63 \mu\text{m}$  und teilweise auch die Fraktion  $63\text{-}32 \mu\text{m}$  wurden durch manuelle Naßsiebung, die Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  dagegen mittels Sedimentationsanalyse nach dem Atterberg-Verfahren gewonnen.

Ca. 10 g der separierten Fraktionen wurden für die röntgenanalytischen Untersuchungen schonend per Hand in einem Sinterkorundmörser pulverfein zerkleinert,  $< 32 \mu\text{m}$  abgesiebt und homogenisiert. Die quantitativen Mischungen wurden aus 1g der Probensubstanz, 50 mg Nickelpulver ( $< 32 \mu\text{m}$ ) als innerer Standard und 40 mg gereinigtem Korkmehl ( $< 200 \mu\text{m}$ ) für eine texturarme Präparation hergestellt. Diese Mischungen wurden in speziellen Langschlitzküvetten aus Glas texturarm präpariert und im Winkelbereich von  $3\text{-}52^\circ 2\theta$  geröntgt. Außer den quantitativen Untersuchungen an allen Proben der Fraktion  $< 63 \mu\text{m}$  waren für probenspezifische Eichkurvenkorrekturen bestimmter Minerale zahlreiche quantitative Pulveraufnahmen an der Grobschluff- und Tonfraktion notwendig.

### 4. Röntgenanalytische Methodik

Die hier angewandte quantitative Mineralbestimmung nach dem Verfahren mit innerem Standard wurde als modifizierte Peakhöhenanalyse nach LANDGRAF, SCHOMBURG et al. (1977) durchgeführt. Für das Erkennen präparativ bedingter Ausreißer und zur Gewährleistung der Reproduzierbarkeit der Analysenwerte waren je Probe stets drei Aufnahmen notwendig, wobei vor jeder Aufnahme die Probe erneut homogenisiert sowie texturarm präpariert wurde. Die quantitative Bestimmung aller nachweisbaren kristallinen Phasen wurde auf der Basis einer Auswahl an probenspezifischen Eichkurven vorgenommen, die Anteile an amorpher Phase können dabei nur indirekt als Differenz zu 100% kristalliner Phase bestimmt werden. Der relative Meßfehler liegt bei diesem Verfahren im Allgemeinen unter 5%. Die Röntgenbeugungsaufnahmen wurden an einem Horizontalzählrohrgoniometer (HZG 4) unter analysenspezifischen und geräteseitig optimierten Standardbedingungen gewonnen (Cu-Ka-Strahlung, Proportionalzählrohr als Detektor).

Die Ermittlung des qualitativen Mineralbestandes der abgetrennten Fraktionen erfolgte aufgrund der meist unkomplizierten Probenzusammensetzung und röntgenanalytischer Erfahrungswerte überwiegend aus den quantitativen Aufnahmen, die Nachweisgrenzen der festgestellten Nichttonminerale variierten dabei zwischen 0,5 und 1 Masse-%. Vereinzelt waren für Identifizierungszwecke Übersichtsdiagramme notwendig, die im Winkelbereich von  $3\text{-}70^\circ 2\theta$  aufgenommen wurden.

Für die genaue Analyse der qualitativen und quantitativen Tonmineralverhältnisse mußten von der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  jeder Probe Texturpräparate angefertigt werden. Zur besseren Vergleichbarkeit und um den Nachweis von geringen Gehalten an quellfähigen Tonmineralen zu optimieren, war folgende Vorbehandlung erforderlich:

- Entfernung störender  $C_{\text{org}}$ -Anteile durch Zugabe von 10%igem  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,
- Beseitigung unerwünschter Karbonatanteile mit 20%iger Essigsäure,

- einheitliche Kationenbelegung mit  $Mg^{2+}$  durch Einwirkung von  $2n MgCl_2$ -Lösung.

Die konzentrierten Tonsuspensionen wurden nach ihrer Dispergierung auf Glasträger (Abmaße 35 x 50 mm) aufgegossen, auf denen eine mehr oder weniger vollständige Einregelung (Textur) der blättchenförmigen Tonminerale parallel zum Objektträger erfolgte, die eine wesentliche Voraussetzung insbesondere für die Bestimmung von Tonmineralen mit Wechsellagerungsstrukturen (mixed-layer-Mineralen = ml-Mineralen) ist.

Die Texturpräparate wurden im lufttrockenen Zustand, nach Behandlung mit Ethylenglykol (zwei Tage bei 80°C im Exsikkator) und nach Temperung bei 400 °C im Winkelbereich von 3-30 °2θ geröntgt. Die dabei erkennbaren charakteristischen Lage- und Formveränderungen bestimmter Tonmineralbasisreflexe erlauben genaue Aussagen zum Verhältnis von Kaolinit/Chlorit bzw. Illit/ml-Mineral sowie zu Art und Ordnungs-

grad des ml-Mineralen einschließlich des Anteils der quellfähigen Schichten im ml-Mineral (REYNOLDS 1984). In Verbindung mit den Ergebnissen aus den quantitativen Pulveraufnahmen der Fraktion < 63 µm ist eine quantitative Bestimmung der Absolutgehalte und Relativverhältnisse der Tonminerale mit einer Genauigkeit von 1-2 Masse-% routinemäßig erreichbar.

##### 5. Ergebnisse der quantitativen Röntgenphasenanalyse der Tillmatrix < 63 µm

Die mineralogische Zusammensetzung der schluffig-tonigen Matrix aller Tillproben ist in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Die lithologische Abfolge der untersuchten Profile und die genauen Probenentnahmepunkte sind bei SCHWAB, THIEKE et al. (1997) dokumentiert.

Neben den Komponenten Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Kalzit, Dolomit, Pyrit, Chlorit, Kaolinit, Illit und Muskovit konnten stets unregelmäßig geordnete Smektit-Illit-Wech-

Tab. 1 Mineralbestand in der Fraktion < 63 µm und relative Tonmineralverteilung in der Fraktion < 2 µm von Geschiebemergeln Mittelbrandenburgs und der Prignitz (Angaben in Masse-%). Die Ziffer am Ende des Probenkürzels gibt die Entnahmetiefe wieder, die in Klammern gesetzten Ziffern drücken die Aufeinanderfolge der Proben in der Bohrung bzw. im Aufschluß aus.

Proben - Nr.	Fraktion < 63 µm												Fraktion < 2 µm			
	Quarz	K-Fsp.	Plag.	Kalzit	Dolomit	Pyrit	Chlorit	Kaolinit	Illit	ml	Sm	amorph	Chlorit	Kaolinit	Illit	ml
Rf 108 - W 3	38	4	10	12	-	-	1	2	16	17	40-45	-	2	6	44	48
Rf 108 - W 4	39	4	8	10	-	-	1	2	15	16	"	5	2	7	44	47
Rf 108 - W 5	45	5	8	8	-	-	1	2	12	17	"	4	2	7	38	53
Rf 108 - S 15	36	6	7	13	4	-	2	5	8	19	50-60	-	6	15	23	56
Rf 108 - S 16	37	4	5	13	4	-	2	4	11	21	"	-	6	10	29	55
Rf 108 - S 17	33	6	5	15	5	-	2	4	11	19	"	-	6	11	30	53
Rf 108 - S 20	27	4	5	16	5	-	4	4	15	20	45-50	-	9	10	35	46
Rf 108 - S 21	27	4	5	18	5	-	4	4	15	18	40-45	-	9	11	36	44
Rf 108 - S 22	27	4	6	16	4	-	3	4	17	19	"	-	7	10	39	44
Rf 108 - E2 59	33	4	2	9	2	3	1	7	11	25	70-80	3	2	16	25	57
Rf 108 - E2 63	41	5	4	8	1	2	1	5	10	20	60-70	3	2	15	29	54
Rf 108 - E2 71	44	4	5	7	2	2	1	5	8	19	"	3	2	16	25	57
Rf 108 - E2 74	35	3	4	12	1	1	1	7	10	26	"	-	3	15	22	60
Rf 108 - E2 75	35	4	4	12	1	1	1	5	12	25	"	-	2	12	28	58
Rf 115 - S 16	31	2	4	29	2	1	2	4	8	17	50-60	-	5	14	28	53
Rf 115 - S 19	25	3	4	32	2	1	2	5	9	17	"	-	5	16	27	52
Rü 11/63 - E 2 147	33	4	4	18	1	1	1	4	11	23	60-80	-	2	11	28	59
Rü 11/63 - E 2 151	34	4	4	19	1	1	1	5	7	24	"	-	3	13	19	65
Rü 11/63 - E 2 169	35	3	4	21	2	1	1	5	9	19	"	-	3	15	26	56
Rü 11/63 - E 2 173	33	3	5	20	1	1	-	4	5	25	70-80	3	1	11	16	72
Rü 11/63 - E 1 182	35	4	5	12	8	1	-	4	6	25	60-80	-	1	11	16	72
Ru - W (6)	34	5	7	17	2	-	1	3	13	18	40-60	-	4	7	37	51
Ru - W (5)	34	6	9	15	2	-	1	3	14	16	"	-	5	7	41	47
Ru - W (4)	40	5	8	7	-	-	-	3	16	21	55	-	-	8	40	52
Ru - W (3)	40	5	8	6	-	-	-	3	14	24	40-60	-	-	7	34	59
Ru - W (2)	37	4	7	13	3	-	1	2	18	15	40-50	-	2	6	50	42
Ru - W (1)	35	6	6	14	3	-	1	2	16	11	"	6	3	7	53	37
Prig K1E93 - S (1)	30	2	5	17	4	-	3	4	17	18	40-55	-	7	10	40	43
Prig K1E93 - S (2)	30	4	6	16	5	1	3	4	15	16	30-60	-	8	10	39	43
Prig K1E93 - S (3)	31	5	5	15	3	1	2	4	16	14	40-70	4	5	12	44	39
Prig K1E93 - S (4)	29	5	5	17	4	1	2	4	12	21	40-60	-	6	9	31	54
Prig K1E93 - S (5)	28	5	6	15	5	1	2	4	14	16	"	4	6	11	38	45
Prig K1E93 - S (6)	34	8	7	14	3	1	1	4	8	20	60-70	-	4	11	23	62

ml - unregelmäßig geordnete Smektit-Illit-mixed-layer-Mineralen (ml-Mineralen)

Sm - Anteil der Smektitsschichten in den ml-Mineralen (in %)

sellagerungsminerale mit Smektit-schichtanteilen von 40-80% nachgewiesen werden. Vereinzelt waren auch Spuren von Amphibol und geringe Mengen an amorpher Phase vorhanden.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen, dass Quarz mit 25-55 Masse-% der Hauptbestandteil der Fraktion < 63 µm ist. In der Grob-schlufffraktion (63-32 µm) ist Quarz mit 60-80 Masse-% ebenfalls die dominierende Komponente. Auch in der Tonfraktion (< 2 µm) ist er mit 5-10 Masse-% vertreten, teilweise liegen die Gehalte noch deutlich höher. Daneben wurden wechselnde Anteile an kretazischen Flinten festgestellt. Diese kryptokristallinen SiO<sub>2</sub>-Konkretionen sind anhand ihrer Röntgenbeugungsspektren mineralogisch dem Quarz zuzuordnen. Sie besitzen jedoch gegenüber dem hochkristallinen Quarz (Gang-quarz, Bergkristall) eine deutlich geringere Peakintensität bei gleichzeitiger Verbreiterung der Reflexe und damit eine grö-ßere Halbwertsbreite.

In allen Proben konnten Kalifeldspat und Plagioklas in wech-selnder Menge festgestellt werden. Erwartungsgemäß kom-men erhöhte Gehalte in der Grob-schlufffraktion und nur sehr geringe Gehalte in der Tonfraktion vor. Aufgrund der charak-teristischen Hauptreflexe von Kalifeldspat (3,24 Å) und Pla-gioklas (3,20 Å, 4,04 Å) sind beide Feldspäte eindeutig nach-weisbar. Für Kalifeldspat ist eine Zuordnung zu der Varietät Orthoklas bzw. Mikroklin aufgrund der geringen Gehalte, der sehr ähnlichen Beugungsspektren und der Überlagerung der diagnostischen Beugungslinien durch Reflexe von Plagio-klas nicht möglich. Bei den Plagioklasen handelt es sich stets um die natriumreichen Vertreter Albit bis Oligoklas.

In der Matrix von Grundmoränen sind Karbonate ein wesentlicher Bestandteil der mineralogischen Zusammensetzung. Meist treten Kalzit und Dolomit gemeinsam auf, wobei die Gehalte von Kalzit stets höher sind als die von Dolomit. In einigen Geschiebemergeln sind Kalzit oder Dolomit als alleiniges Karbonat vorhanden.

Tab. 2 Mineralbestand in der Fraktion < 63 µm und relative Tonmineralverteilung in der Fraktion < 2 µm von Geschiebemergeln der Lausitz (Angaben in Masse-%). Der Großbuchstabe vor dem Bindestrich im Probenkürzel präzisiert die Probenlokalität (W, E, S = West-, Ost- und Südböschung). Die in Klammern gesetzten Ziffern und Buchstaben drücken die Aufeinanderfolge der Proben im Aufschluß aus, deren exakte Entnahmeteufe in SCHWAB, THIEKE et al. (1997) dokumentiert ist.

Proben - Nr.	Fraktion < 63 µm												Fraktion < 2 µm			
	Quarz	K-Fsp.	Plag.	Kalzit	Dolomit	Pyrit	Chlorit	Kaolinit	Illit	ml	Sm	amorph	Chlorit	Kaolinit	Illit	ml
Greif W - S 1 (8)	42	4	4	6	4	1	1	7	8	23	50-70	-	3	18	20	59
Greif W - S 1 (7)	37	4	4	8	3	1	2	8	10	23	"	-	5	18	23	54
Greif W - S 1 (6)	35	3	4	8	3	1	2	8	13	23	"	-	4	17	28	51
Greif W - E 2 (5)	42	4	1	4	-	1	-	12	13	23	70-80	-	-	25	26	49
Greif W - E 2 (4)	43	5	2	4	-	1	-	12	12	21	"	-	-	27	27	46
Greif W - E 2 (3)	43	7	2	4	-	1	-	11	11	21	"	-	-	26	26	48
Greif W - E 2 (2)	55	8	2	6	-	2	-	4	10	13	50-70	-	-	15	38	47
Greif W - E 1 (1)	34	3	-	-	-	2	-	13	15	21	70	12	-	27	31	42
Greif E - E 2 (6)	35	4	2	7	1	1	-	10	13	23	60-80	4	1	21	28	50
Greif E - E 2 (5)	39	5	2	3	-	1	-	14	12	24	"	-	-	28	24	48
Greif E - E 2 (4)	48	5	4	3	-	-	-	11	12	17	70-80	-	-	28	28	44
Greif E - E 2 (3)	39	4	2	3	-	-	-	13	11	28	70	-	-	25	22	53
Greif E - E 2 (2)	56	6	2	4	1	1	-	8	7	15	70-80	-	-	27	22	51
Greif E - E 2 (1)	55	5	2	4	1	1	-	7	6	19	60-80	-	-	22	19	59
Jäwa E - S (15)	39	5	5	10	4	-	1	5	10	17	40-60	4	4	14	32	50
Jäwa E - S (14)	37	4	5	9	3	1	2	4	14	15	40-55	6	6	11	39	44
Jäwa E - S (13)	44	5	5	10	3	1	1	4	11	13	40-60	3	3	14	37	46
Jäwa E - S (12)	44	3	6	10	3	-	2	3	12	13	"	4	5	12	40	43
Jäwa E - S (11)	42	4	5	11	4	1	2	4	15	12	40-55	-	6	12	46	36
Jäwa E - S (10)	41	4	6	9	3	1	2	4	14	16	"	-	6	11	40	43
Jäwa E - S (9)	40	5	5	9	3	1	1	5	12	15	40-65	4	3	15	38	44
Jäwa E - S (8)	38	4	5	10	4	1	2	5	13	18	40-50	-	5	13	35	47
Jäwa E - S (7)	41	5	5	10	4	1	2	4	13	15	"	-	5	13	38	44
Jäwa E - S (6)	33	7	5	10	3	-	2	4	13	17	40-65	6	5	12	35	48
Jäwa E - S (5)	41	7	4	10	4	1	1	4	13	15	"	-	3	12	39	46
Jäwa E - S (4)	39	7	4	9	3	1	1	5	12	14	50-55	5	5	14	37	44
Jäwa E - S (3)	46	8	6	-	2	1	2	5	16	14	45-50	-	5	14	44	37
Jäwa E - S (2)	56	5	6	-	1	1	1	5	14	8	"	3	4	17	50	29
Jäwa E - E 2 (1)	54	5	3	-	-	-	-	5	11	15	50-60	7	1	15	34	50
Jäwa S - E 2 (A)	36	3	3	-	-	-	-	11	15	28	60-70	4	1	19	29	51
Jäwa S - E 2 (B)	37	4	3	-	-	1	-	12	13	28	"	2	1	22	24	53
Jäwa S - E 2 (C)	37	3	4	-	-	1	-	10	14	29	"	2	1	18	26	55

ml - unregelmäßig geordnete Smektit-Illit-mixed-layer-Minerale ( ml-Minerale)  
 Sm - Anteil der Smektit-schichten in den ml-Mineralen (in %)

In der Fraktion  $< 63 \mu\text{m}$  kommen häufig Spuren von Pyrit vor, geringe Mengen an Amphibol ließen sich hingegen nur in einigen Grobschlufffraktionen anhand seines Hauptreflexes bei  $8,40 \text{ \AA}$  nachweisen. Anteile an amorpher Phase sind als  $C_{\text{org}}$  besonders in elsterkaltzeitlichen Proben vorhanden. Amorphe  $\text{SiO}_2$ -Phasen, z.B. Diatomeenreste, und die im pedogenen Bereich vorkommenden Oxide/Hydroxide von Eisen, Mangan und Aluminium können aufgrund der Probenauswahl weitestgehend ausgeschlossen werden.

Die quantitative Bestimmung von Kaolinit und der Vertreter der umfangreichen Chloritgruppe (im Folgenden kurz Chlorit genannt) erfolgte zunächst summarisch an ihrem gemeinsamen Hauptreflex bei  $7 \text{ \AA}$ , wobei den verwendeten Eichkurven die jeweiligen, aus Texturaufnahmen ermittelten, Relativanteile zugrunde gelegt wurden. Durch die Lage und Intensität ihrer charakteristischen Basisreflexe sind Kaolinit und Chlorit trotz Koinzidenz ihrer stärksten Beugungslinien stets eindeutig voneinander unterscheidbar. Für die Ermittlung der Absolut- und Relativgehalte wird das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis aus der Höhe des koinzidenzfreien (003)-Reflexes von Chlorit und der Höhe des  $7 \text{ \AA}$ -Reflexes an ethylenglykolierten Texturpräparaten bestimmt. Da bei Chlorit die Intensität seines (003)-Reflexes bei  $4,72 \text{ \AA}$  nur etwa einem Drittel der Intensität seines (002)-Reflexes bei  $7 \text{ \AA}$  entspricht, lassen sich aus der Höhe des  $7 \text{ \AA}$ -Peaks (hier überlagern sich die Hauptreflexe von Kaolinit und Chlorit) die Gehalte von Chlorit und Kaolinit anteilig berechnen. Für beide Tonminerale kann aufgrund des engen Nebeneinanders ihrer Eichkurven für Pulveraufnahmen bei gleicher Peakhöhe von sehr ähnlichen Gehalten ausgegangen werden.

Nach der Lage des (060)-Reflexes bei  $1,536 \text{ \AA}$ , die aus Pulveraufnahmen von chloritreichen Proben der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  ermittelt wurde, handelt es sich zweifelsfrei um trioktaedrischen Chlorit, der zu den eisenreichen Orthochloriten (Pyknoklorit bis Rhipidolith) gehört. Er entspricht dem IIB-Strukturtyp, der mit etwa 80% die häufigste und stabilste Form der natürlich vorkommenden Chlorite bildet. Bei annähernd konstanten d-Werten schwanken die Intensitäten der Chlorit-Basisreflexe nur unwesentlich:

hkl	d-Wert ( $\text{\AA}$ )	Intensität (%)
001	14,1	30 - 40
002	7,1	100
003	4,72	30 - 40
004	3,54	60 - 70

Die höchsten Gehalte an Kaolinit wurden in den Tills der Lausitz festgestellt (Tab. 2). Er ist dort anhand seiner Hauptreflexe bei  $7,16 \text{ \AA}$  und  $3,56 \text{ \AA}$  gut identifizierbar und aufgrund der fehlenden hkl-Reflexe zwischen diesen beiden Basisreflexen als strukturell relativ stark fehlgeordnet einzustufen.

Die Hauptmenge der Tonminerale bilden Illit und ml-Mineral (Tab. 1 und 2). Muskovit ist untergeordnet auch in der Grobschlufffraktion vorhanden, der hier vermutete Biotit konnte nicht nachgewiesen werden. Die quantitativen Bestimmungen von Illit und ml-Mineralen erfolgten zunächst summarisch, als Eichreflex wurden die Beugungslinien bei  $4,50 \text{ \AA}$

und mit Einschränkungen die bei  $2,57 \text{ \AA}$  verwendet. Da beide Linien vor allem durch Kaolinitreflexe beeinflusst werden können und die Kaolinitgehalte sowie das Illit/ml-Verhältnis in den Geschiebemergeln einer gewissen Schwankungsbreite unterliegen, wurde an ausgewählten Tonfraktionen jeder Probenlokalität eine Überprüfung bzw. Korrektur der Eichkurven vorgenommen. An Texturpräparaten wurde stets das Verhältnis Illit zu ml-Mineral aus den Intensitätsunterschieden des  $10 \text{ \AA}$ -Peaks nach Behandlung mit Ethylenglykol und nach Temperung bei  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  berechnet.

In allen untersuchten Grundmoränen sind unregelmäßig geordnete Smektit-Illit-mixed-layer-Mineralen mit einem Anteil an quellfähigen Smektitschichten von 40-80% vorhanden und bilden bis auf wenige Ausnahmen auch die Hauptkomponente der Dreischichtsilikate. Die genaue Bestimmung der ml-Mineralen basiert auf Modelldiagrammen (Abb. 2), wie sie durch REYNOLDS & HOWER (1970), REYNOLDS (1984) und MOORE & REYNOLDS (1997) für viele Kombinationen von Tonmineralen mit Wechsellagerungsstrukturen berechnet wurden. Für die Analyse von mixed-layer-Mineralen sind dabei stets

- die Art der beteiligten Komponenten zu erfassen (z.B. Smektit und Illit),
- mit dem Ordnungsgrad die vertikale Schichtenabfolge zu kennzeichnen (regelmäßige, unregelmäßige oder partiell geordnete Anordnung) und
- das Verhältnis der vorhandenen Schichtanteile auf 5-10% genau zu ermitteln.

Die auf diese Weise charakterisierten mixed-layer-Mineralen sind erst dann, trotz nomenklatorischer Unterschiede, miteinander vergleichbar.

In der Abbildung 2 sind berechnete Modelldiagramme von unregelmäßig geordneten und mit Ethylenglykol behandelten Montmorillonit-Illit-mixed-layer-Mineralen mit Illitanteilen von 20, 40, 60, und 80% dargestellt. Ab einem Gehalt von 40% quellfähiger Schichten aufwärts deutet sich allmählich der (001)-Reflex des ml-Mineralen in Form eines Schulterpeaks bei  $17 \text{ \AA}$  an. Mit zunehmendem Montmorillonitanteil wird der  $17 \text{ \AA}$ -Peak bei unveränderter Lage intensitätsstärker und schlanker. Für die (001/002)- und (002/003)-Reflexe des ml-Mineralen sind hingegen die charakteristischen Veränderungen der Peaklage von Bedeutung, anhand derer sich der Montmorillonitschichtanteil im ml-Mineral auf 5-10% genau bestimmen läßt.

Durch Pulveraufnahmen der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  mit hohen Gehalten an ml-Mineralen, deren Anteil an quellfähigen Schichten 70-80% beträgt, konnte anhand der Lage des (060)-Reflexes bei  $1,50 \text{ \AA}$  nachgewiesen werden, dass es sich um dioktaedrische Smektitschichten handelt. Da diese aus genetischen Gründen mit hoher Wahrscheinlichkeit montmorillonitisch sind, ist die im Nachfolgenden gebrauchte Bezeichnung Montmorillonit-Illit-mixed-layer-Mineral nomenklatorisch korrekt.

Für die Ermittlung der Schichtanteile in den ml-Mineralen ist die genaue Lagebestimmung des koinzidenzfreien (002/003)-Reflexes von entscheidender Bedeutung. Dieser intensitätsschwache Reflex tritt in den Röntgendiagrammen von ethylenglykolierten Texturpräparaten nicht selten verbreitert bis teil-

weise bandenförmig auf und wird durch die stets vorhandene und nicht eliminierbare Untergrundstrahlung mehr oder weniger stark beeinflusst. Die Lagebestimmung erfolgte deshalb als gewichtete Mittelwertbildung aus 5 Röntgendiagrammen, die im Winkelbereich von 11-22 °2θ aufgenommen wurden.

Die in den Tillproben nachgewiesenen ml-Mineralen unterliegen darüber hinaus bestimmten Einflußgrößen, die eine Quantifizierung des Montmorillonit-Anteils anhand der signifikanten Nebenreflexe in den angegebenen Grenzen erschweren können. Neben den gerätetechnischen, präparativen und methodischen Abhängigkeiten wird die genaue Diagnose vor allem durch

- die Höhe des ml-Mineralgehalts,
- die Koexistenz von ml-Mineralpaketen mit unterschiedlichen Anteilen an Montmorillonitschichten,
- schwankende Teilchengröße der ml-Mineralen,

- Segregationseffekte von Illit- bzw. Montmorillonitschichten in den ml-Mineralen und
- eine verringerte Gitteraufweitung der Montmorillonitzwischenschichten durch blockierende Einlagerungen beeinflusst.

Trotz festgestellter geringfügiger Abweichungen zu den berechneten Modelldiagrammen von REYNOLDS (1984) haben sich diese für die quantitative Tonmineralanalyse bewährt, da sie gegenüber anderen Modellvorstellungen bezüglich Art, Ordnungsgrad und Schichtanteil der jeweiligen ml-Mineralen die realistischsten Ergebnisse lieferten.

In der Literatur ist gelegentlich die antiquierte Auffassung anzutreffen, dass der nach Behandlung mit Ethylenglykol auftretende 17 Å-Reflex bereits als Indiz für das Vorhandensein von Smektit angesehen werden kann (z. B. RUPPERT &

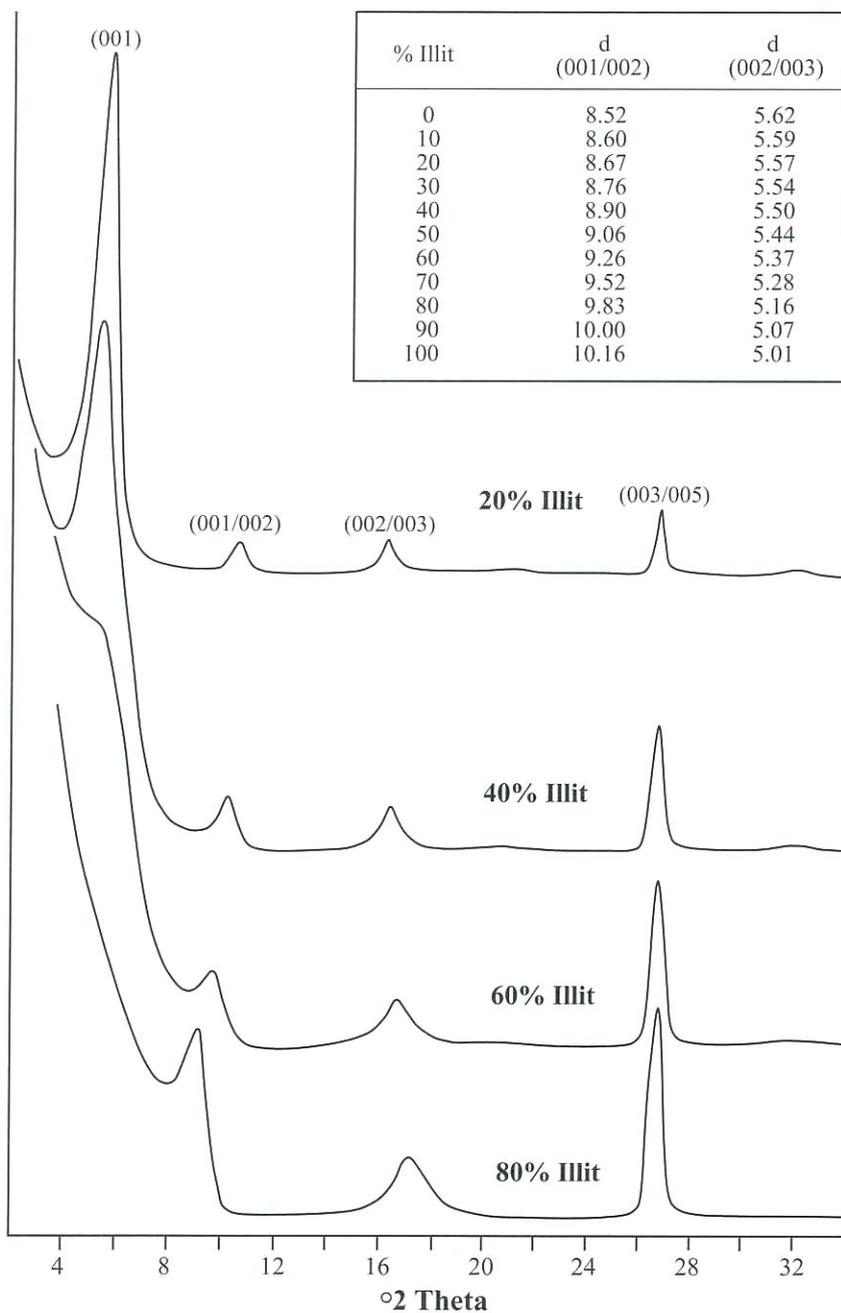


Abb. 2  
Berechnete Diffraktogramme unregelmäßiger Wechsellagerungen von Illit und Montmorillonit nach Behandlung mit Ethylenglykol nach REYNOLDS (1984).

SCHNEIDER 1975, HELING 1988). Wenn nicht überprüft wird, ob ein Vertreter der Smektitgruppe als 100% quellfähiges Tonmineral oder eine unregelmäßige Wechsellagerung von Smektit- und Illitschichten mit quellfähigen Anteilen von 40 bis < 100% vorliegt, kommt es zu tonmineralogischen Fehldeutungen. Die Ursachen dafür liegen nicht nur in mangelnder Tiefgründigkeit, sondern auch in der strukturellen Kompliziertheit dieser Mineralgruppe, deren Erforschungsgeschichte zu unterschiedlichen kristallographischen Modellen und Nomenklaturen führte.

**6. Bewertung der mineralogischen Unterscheidungsmerkmale**

Die nur wenig differenzierten Mineralspektren aller 65 Proben lassen quantitative Unterschiede zwischen Elster (qe)-, Saale (qs)- und Weichsel (qw)-kaltzeitlichen Tills erkennen. In Auswertung der röntgenographischen Daten werden die nachfolgenden vier Häufigkeitsparameter als mineralogische Unterscheidungsmerkmale näher beschrieben:

- die Plagioklas- und Kalifeldspat-Anteile in der Fraktion < 63 µm,
- die Dolomit- und Kalzit-Anteile in der Fraktion < 63 µm,
- die relativen Chlorit- und Kaolinit-Anteile in der Fraktion < 2 µm,
- die Montmorillonit-Anteile in den ml-Mineralen.

Die Schwankungsbreite der Mineralgehalte, die für eine stratigraphische Unterscheidung verwendet werden kann, ist in der Tabelle 3 dargestellt; die wenigen Ausreißer blieben unberücksichtigt. Auf eine statistische Bearbeitung mußte vor allem aus Gründen der dafür zu geringen Probenzahl verzichtet werden.

Außer den eindeutigen Unterschieden zwischen verschiedenen alten Grundmoränen konnten auch Unterschiede gleichaltriger Tills zwischen den Regionen Lausitz und Mittelbrandenburg/Prignitz nachgewiesen werden (Abb. 3), die auf-

grund der einheitlichen mineralogischen Zusammensetzung der dort untersuchten Tills gleicher stratigraphischer Einstufung als Homogenbereiche ausgehalten wurden.

**6.1 Plagioklas und Kalifeldspat**

Die Abbildung 3 verdeutlicht, dass Plagioklas und Kalifeldspat, die fast immer gemeinsam vorkommen, von den jungen zu den alten Geschiebemergeln und regional von Nord nach Süd tendenziell abnehmen.

In den qw-Tills ist der Anteil an Plagioklas meist höher als der von Kalifeldspat, was auf den verstärkten Eintrag von frischem nordischem Material zurückgeführt wird. Dagegen ist in den qe-Tills der Lausitz eine deutliche Dominanz von Kalifeldspat (Kf) zu beobachten, die durch seine relative Verwitterungsresistenz im Vergleich zu Plagioklas begründet ist (STÖRR, KUZVART et al. 1978) sowie durch Kf-reiche Schotter, die aus dem Iser- und Riesengebirge stammen (WOLF & SCHUBERT 1992).

In der Lausitz lassen sich bereits anhand der Feldspatmengeverhältnisse die qe-Mergel von den qs-Mergeln deutlich voneinander abgrenzen. In Mittelbrandenburg und in den weiter nördlich gelegenen Verbreitungsgebieten ist dies jedoch nicht mehr möglich, hier erlaubt das gemeinsame Häufigkeitsfeld (Abb. 3) nur eine Unterscheidung von den plagioklasreicheren qw-Mergeln.

**6.2 Dolomit und Kalzit**

Ein wesentliches petrographisches Merkmal von Geschiebemergeln ist ihr Karbonatgehalt. Karbonate gehören in der Fraktion < 63 µm meist zu den Hauptbestandteilen, wobei der Kalzit im Vergleich zum Dolomit häufig deutlich überwiegt (Tab. 1 und 2). Ähnlich wie bei den Feldspatanteilen ist auch bei den Karbonaten eine tendenzielle Abnahme von den jungen zu den alten Grundmoränen und regional von Nord nach Süd zu erkennen (Abb. 3).

Tab. 3 Schwankungsbreite der für die stratigraphische Unterscheidung von Grundmoränen ausgehaltenen mineralogischen Komponenten in Masse-% (n ist die Anzahl der untersuchten Proben).

Diagnostisches Merkmal	Elster – Till (n = 25)	Saale – Till (n = 31)	Weichsel – Till (n = 9)
Plagioklas- und Kalifeldspat-Anteile in der Fraktion < 63 µm	0 - 5 3 - 8	4 - 10 2 - 8	6 - 10 4 - 9
Dolomit- und Kalzit-Anteile in der Fraktion < 63 µm	0 - 2 0 - 25	2 - 5 0 - 32	0 - 3 6 - 17
relative Chlorit- und Kaolinit-Anteile in der Fraktion < 2 µm	0 - 3 11 - 28	3 - 9 9 - 18	0 - 5 6 - 8
Montmorillonit-Anteil im ml - Mineral	50 - 80	40 - 70	40 - 60

Fast alle qs-Tills haben Dolomitgehalte von 2-5 Masse-%. In den qe-Tills liegen diese dagegen mit durchschnittlich 0-2 Masse-% niedriger, jedoch wurde in der Probe (Rü 11/63 - E1 182) mit 8 Masse-% Dolomit ein markanter Ausreißer festgestellt. In diesem Fall handelt es sich um eine Grundmoräne des Elster(1)-Vorstoßes, die im Bereich der Salzstruktur Rüdersdorf die hier anstehenden dolomitreichen Triassedimente aufgearbeitet hat. Die wenigen mesozoischen Aufragungen haben für die Zusammensetzung der Tillmatrix nur lokale Bedeutung, da die Hauptmenge des Dolomits in der Fraktion < 63 µm aus den paläozoischen und mesozoischen Kalken des Ostseeraumes stammt.

Die Kalzitgehalte in den qe- und qs-Mergeln variieren zwischen 0 und 32 Masse-%. Innerhalb einer stratigraphischen Einheit der regionalen Homogenbereiche liegen die Kalzitgehalte jedoch relativ eng beieinander (Tab. 1 und 2). Weiterhin wird sichtbar, dass die niedrigsten Kalzitgehalte in der Lausitz vorhanden sind, was im Wesentlichen auf glaziäre Abreicherungs-effekte und die primäre Karbonatarmut der exarativ aufgenommenen Tertiärsedimente zurückzuführen ist.

Unter den qw-Mergeln sind sowohl dolomitfreie als auch solche mit Gehalten von 2-3 Masse-% anzutreffen. Diese meist geringmächtigen Geschiebemergel wurden gletscherrandnah

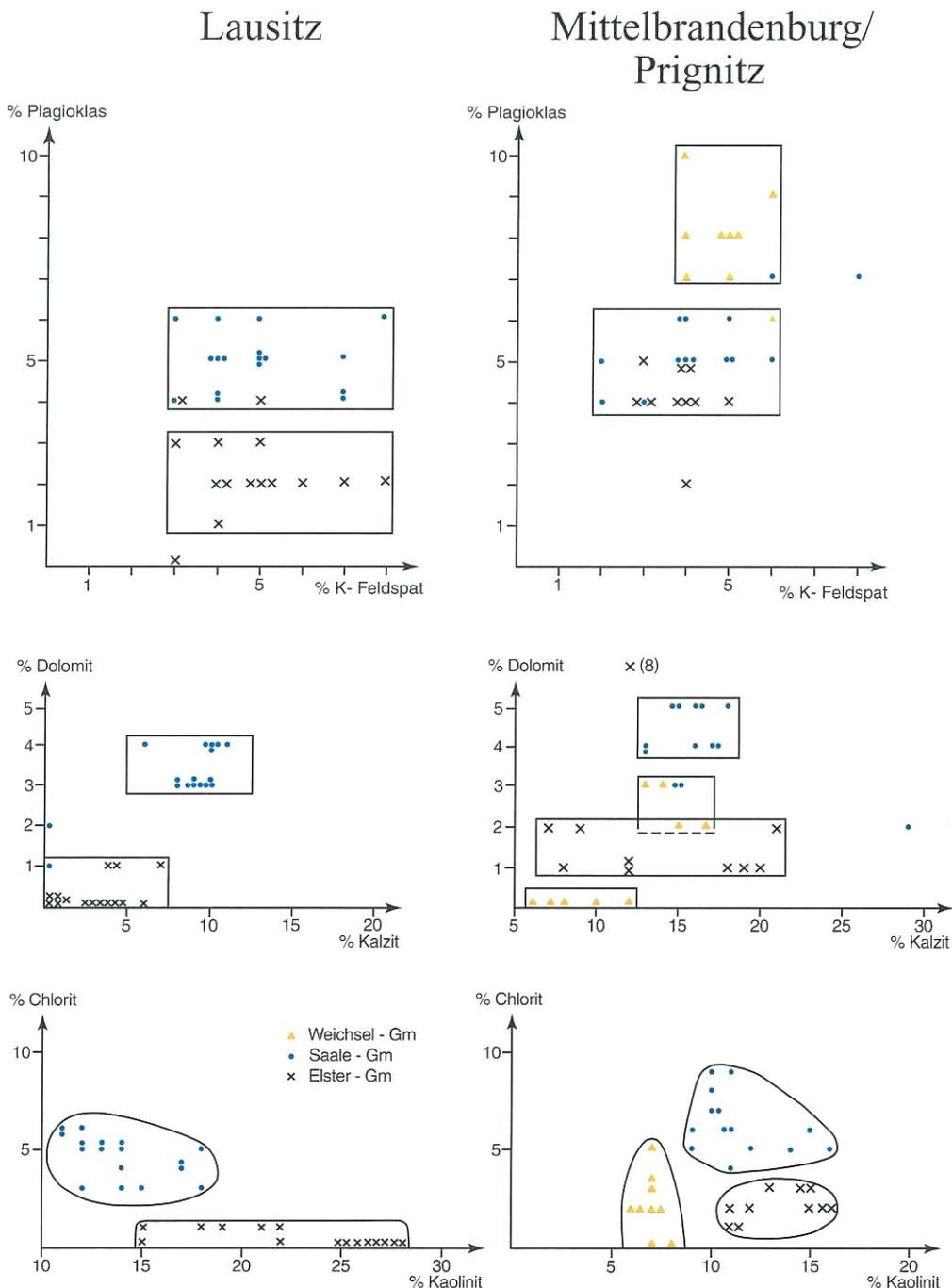


Abb. 3  
Häufigkeitsverhältnisse ausgewählter Minerale der Fraktion < 63 µm in Masse-% aus Geschiebemergeln der drei norddeutschen Vereisungen in den unterschiedenen Regionen.

gebildet und besitzen gegenüber den mächtigen Setztills, wie im Bereich der westlichen Ostseeküste, eine abweichende mineralogische Zusammensetzung.

### 6.3 Chlorit und Kaolinit

Während Kaolinit in allen Tillproben nachgewiesen werden konnte, fehlt Chlorit in den qe-Mergeln der Lausitz fast immer. Die Absolutgehalte von Kaolinit in der Fraktion  $< 63 \mu\text{m}$  schwanken in Abhängigkeit von der stratigraphischen Zugehörigkeit und ihrer regionalen Lage zwischen 2-14 Masse-% (Tab. 1 und 2). Die Absolutgehalte von Chlorit (bis 4 Masse-%) sind in der Fraktion  $< 63 \mu\text{m}$  fast aller Proben im Vergleich zu Kaolinit jedoch deutlich geringer.

Um die geringfügigen Gehaltsunterschiede von Kaolinit und Chlorit in der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  besser hervorzuheben, wurde ihre Häufigkeit auf 100% Tonminerale normiert. Anhand dieser relativen Chlorit-Kaolinit-Anteile werden Unterschiede zwischen den Grundmoränen der drei Hauptvereisungen regional wie überregional deutlich (Abb. 3). Im Vergleich zu den Karbonat- und Feldspat-Mengenverhältnissen ist hier jedoch ein entgegengesetzter Trend erkennbar. Während eine tendenzielle Abnahme des Kaolinitgehalts von den alten zu den jungen Tills und regional von Süd nach Nord zu beobachten ist, zeigen die Chloritgehalte eine räumlich und zeitlich umgekehrte Tendenz.

Die Geschiebemergel der Elsterkaltzeit sind durch hohe Kaolinit- und niedrige Chloritgehalte gekennzeichnet. Die höchsten relativen Kaolinitgehalte sind mit 15-28 Masse-% in der Lausitz vorhanden, während Chlorit hier allenfalls in Spuren ( $\leq 1$  Masse-%) vorkommt. Ursache dafür ist die großflächige Aufarbeitung der tiefgründig verwitterten präglazialen Landoberfläche am Nordrand des Böhmisches Massivs.

In Mittelbrandenburg besitzen die qe-Tills Relativgehalte von 11-16 Masse-% Kaolinit und 1-3 Masse-% Chlorit. Die Tonmineralverhältnisse deuten hier im Gegensatz zu denen der Lausitz auf aufgearbeitete marine Tertiärtonne und deren primäre, fazieskontrollierte Chloritverteilung hin (FELDHAUS & STÖRR 1978). Die qs-Tills weisen mit 10-16 Masse-% etwa den gleichen relativen Kaolinitgehalt auf wie die qe-Tills, die relativen Chloritgehalte liegen dagegen mit 5-9 Masse-% deutlich höher als in den qe-Tills und belegen einen Trend in der Chloritführung, der sich im Weichselglazial fortsetzt.

Die geringe Anzahl der untersuchten mittelbrandenburgischen qw-Tills besitzt einen relativen Kaolinitgehalt von 6-8 Masse-%, die Anteile von Chlorit variieren zwischen 0-5 Masse-%. In die Projektarbeiten wurden weichselzeitliche Profile aus dem Bereich der westlichen Ostseeküste (ca. 50 Proben vom Stohler Kliff bei Kiel und aus Bohrungen im Deponieobjekt Schönberg) einbezogen. Analog zu den Ergebnissen von LINTINEN (1995) und PEURANIEMI, AARIO et al. (1997) konnten Zusammenhänge zwischen den relativen Chloritgehalten und verschiedenen Tillfazies festgestellt werden (LUCKERT, PIOTROWSKI et al. 1997).

In den ausgehaltenen Homogenbereichen von Lausitz und Mittelbrandenburg/Prignitz ist nach dem bisherigen Kenntnisstand das Chlorit-Kaolinit-Mengenverhältnis als mineralogisches Unterscheidungsmerkmal zwischen qe-, qs- und qw-Grundmoränen gut geeignet.

### 6.4 Anteil der quellfähigen Schichten in den unregelmäßig geordneten Montmorillonit - Illit - mixed - layer - Mineralen

Die Hauptmenge der Tonminerale in den untersuchten Geschiebemergeln sind unregelmäßig geordnete Montmorillonit-Illit-mixed-layer-Mineralen mit einem Anteil von quellfähigen Schichten zwischen 40 und 80% (Tab. 1 und 2). Der relative Gehalt an ml-Mineralen, normiert auf 100% Tonminerale, schwankt zwischen 29 und 72 Masse-% und beträgt meist 40 bis 60 Masse-%. Er ist gegenüber dem Gehalt an Illit fast immer höher, die Ausnahmen beschränken sich auf wenige sandreiche qs- und qw-Tills. Die Untersuchungsergebnisse zeigen die Tendenz, dass der Anteil an Montmorillonitschichten im ml-Mineral von Elster- über Saale- zu Weichsel-Geschiebemergeln tendenziell abnimmt:

qe-Till	50-80%
qs-Till	40-70%
qw-Till	40-60%

Parallel zu diesem Trend ist eine Abnahme des ml-Mineralgehalts sowie häufig eine Zunahme des Illitgehalts zu beobachten.

In der Abbildung 4 sind beispielhaft für alle untersuchten Geschiebemergelproben charakteristische Texturaufnahmen der Tonfraktionen nach Behandlung mit Ethylenglykol dargestellt. In der Bohrung Rf 108 ist der selten günstige Fall gegeben, dass Geschiebemergel der drei Vereisungen in einer Bohrung vorhanden und damit direkt miteinander vergleichbar sind. Als sinnvolle Ergänzung wurde das Diffraktogramm eines qe(1)-Geschiebemergels aus der Bohrung Rü 11/63 hinzugefügt.

Anhand von Intensitäts-, Lage- und Formveränderungen der charakteristischen Basisreflexe sind hier die quantitativen Unterschiede in der Tonmineralzusammensetzung der betrachteten Geschiebemergelproben deutlich zu erkennen. Es lassen sich die Gehaltsveränderungen von Illit aus der Höhe seines koinzidenzfreien Reflexes bei  $10 \text{ \AA}$  direkt ablesen, beim Chlorit ist dafür die Peakhöhe bei  $4,72 \text{ \AA}$  geeignet. Ist Chlorit nur in Spuren oder gar nicht vorhanden, wie in der Lausitz, können die unterschiedlichen Gehalte an Kaolinit aus der Peakhöhe des  $7 \text{ \AA}$ -Reflexes entnommen werden. Auch Quarz ist durch seinen ersten Reflex bei etwa  $10,5^\circ 2\theta$  noch deutlich nachweisbar und konnte dadurch als interner Standard für die unterschiedlich behandelten Texturpräparate genutzt werden.

Hervorzuheben ist die Bedeutung des (001)-Reflexes der ml-Mineralen (Abb. 4). Seine Intensität wird vom ml-Mineralgehalt und vom Anteil der quellfähigen Schichten im ml-Mineral bestimmt. Dabei spielen die quellfähigen Schichten eine dominierende Rolle, deren Anteil sich anhand der von REYNOLDS (1984) berechneten Modelldiffraktogramme meist aus der Lage des koinzidenzfreien (002/003)-Reflexes bestimmen läßt (Abb. 2).

## 7. Diskussion der Ergebnisse

In allen untersuchten Geschiebemergeln treten annähernd die gleichen mineralischen Bestandteile auf. Die geringen quantitativen Unterschiede zwischen den verschiedenen stratigraphischen Till-Einheiten sind mit Hilfe einer sorgfältig durchgeführten quantitativen Röntgenphasenanalyse erkennbar und werden lithostratigraphisch gedeutet.

Von den Tonmineralen sind in der Tillmatrix stets unterschiedliche Mengen an Chlorit, Kaolinit, Illit und unregelmäßig geordnete Montmorillonit-Illit-mixed-layer-Mineralen mit einem Montmorillonitschichtanteil von 40-80% vorhanden. Zusammen mit Illit tritt stets etwas Muskovit auf, monomineralische

Vertreter der Smektitgruppe wurden nicht nachgewiesen. Die in pleistozänen Sedimenten vermeintlich festgestellten Smektitte beruhen auf einer röntgenanalytischen Fehlinterpretation des 17 Å-Reflexes und auf tonmineralogisch unkorrekten Verallgemeinerungen. Als mögliche Unterscheidungskriterien zwischen den verschiedenen alten Geschiebemergeln wurden das Chlorit-Kaolinit-Mengenverhältnis und die Veränderungen im Montmorillonitschichtanteil der ml-Mineralen herausgearbeitet.

An Nichttonmineralen konnten stets unterschiedliche Mengen an Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Kalzit, Dolomit, Pyrit und amorpher Phase nachgewiesen werden. Als weiteres dia-

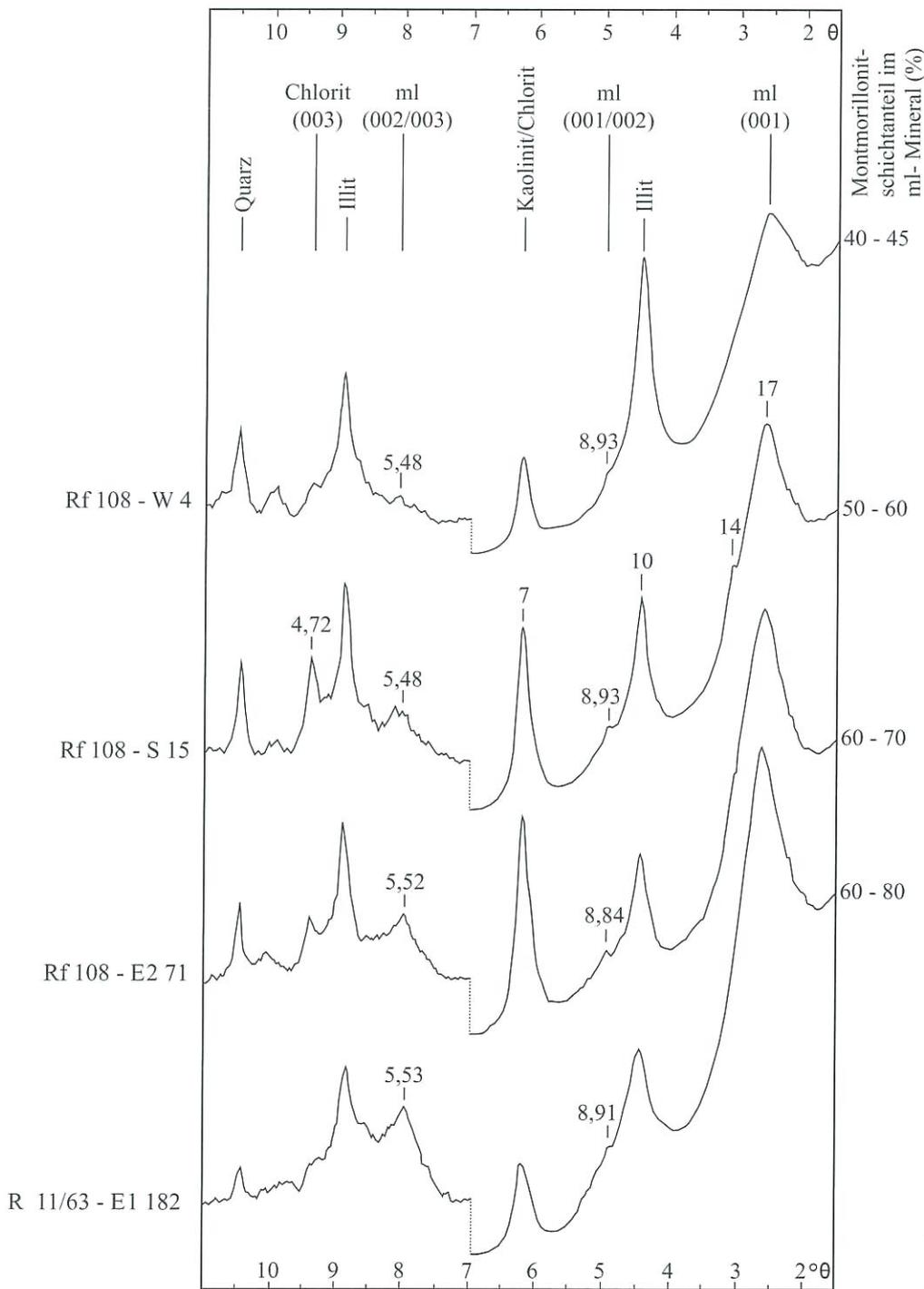


Abb. 4  
Röntgentexturaufnahmen  
der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  aus  
Geschiebemergeln Mittel-  
brandenburgs nach Be-  
handlung mit Ethylengly-  
kol (d-Wert in Å).  
rechte Diagrammhälfte:  
Impulszählrate 1000 Imp./s  
linke Diagrammhälfte:  
Impulszählrate 300 Imp./s

gnostisches Kriterium zur lithostratigraphischen Unterscheidung der Geschiebemergelhorizonte der Elster-, Saale- und Weichselkaltzeit wurden das Kalifeldspat-Plagioklas- und das Dolomit-Kalzit-Mengenverhältnis getestet. Die Karbonat- und Feldspatanteile zeigen eine tendenzielle Abnahme von den jungen zu den alten Geschiebemergeln und regional von Nord nach Süd in den betrachteten Tillabfolgen des Untersuchungsgebietes. Beide Kriterien sind besonders gut in der Lausitz anwendbar.

An der Zusammensetzung der tonig-schluffigen Geschiebemergelmatrix sind all diejenigen Gesteine und Ablagerungen beteiligt, die durch die exarative Wirkung der Inlandeisvorstöße aufgearbeitet wurden, insbesondere jedoch die im Ostseeraum und Norddeutschen Tiefland anstehenden Tertiärtonne, wie ein Vergleich mit deren mineralogischer Zusammensetzung (u.a. HENNING 1971, LANDGRAF 1971, FELDHAUS & STÖRR 1978) bestätigt.

Auf der Grundlage der vorhandenen Datenbasis (ca. 500 Analysen an 65 Proben) lassen sich anhand der relativen Chlorit-Kaolinit-Anteile in der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  sowohl regional wie überregional die Tills der drei Hauptvereisungen unterscheiden. Die Ursachen dafür werden in der generellen Abnahme des Kaolinitgehaltes in tertiären festländischen Verwitterungsbildungen von Süden nach Norden und in der nachfolgenden mehrmaligen glaziären Wiederaufarbeitung der tonig-schluffigen Tillmatrix gesehen. Während die Gletscher der Elsterkaltzeit vor allem die kaolinitreichen aber chloritfreien obersten Verwitterungsbildungen erodierten, führte in der Saalekaltzeit der verstärkte Eintrag unverwitterter und damit chloritreicherer Gesteine aus Fennoskandien (paläozoische Schiefer) zu deutlich höheren Chloritgehalten. Diese Art der Materialzufuhr setzte sich in veränderter Form in der Weichselkaltzeit fort, da jüngere Bildungen zunehmend südliches Material und nichtglaziäre Sedimente enthalten können. Darüber hinaus befanden sich kaolinithaltige Bildungen, außer in älteren glaziären Sedimenten, kaum noch im weichselkaltzeitlichen Erosionsniveau.

Die günstigsten Möglichkeiten einer lithostratigraphischen Zuordenbarkeit mit Hilfe des Mineralbestandes der Tillmatrix werden in der postelsterglazialen Verdünnung der Sedimentkomponenten gesehen, die durch die exarative Wirkung der ältesten Inlandeisvergletscherung auf das präglaziale Relief in die Grundmoräne aufgenommen wurden. Während das vorstoßende elsterkaltzeitliche Eis sowohl die überwiegend marinen ml-dominierten Tertiärtonne als auch die chloritfreien, kaolinitreichen Verwitterungsbildungen aufbereitete, erfolgte durch die Nachschüttsedimentation des zurücktauenden Inlandeises eine im Wesentlichen flächenhafte Konservierung des präglazialen Untergrundes. In den nachfolgenden mehrfachen Vereisungsphasen konnten zwangsläufig nur noch geringfügige qualitative und quantitative Veränderungen des Mineralbestandes der glazialen Aufarbeitungsprodukte vor sich gehen. Vorwiegend nordischer Glazialschutt, der lithostratigraphisch deutbare mineralogische Indikationen hinterließ (Kalzit, Dolomit, Chlorit), verdünnte den durch das Tertiär geprägten tonmineralogischen Ausgangszustand elsterkaltzeitlicher Sedimente.

Im Vergleich zu außerbrandenburgischen Proben (ca. 580 Analysen an 84 Proben), die ebenfalls im Projektrahmen untersucht wurden, konnte in Brandenburg eindeutig nachgewiesen werden, dass in den Grundmoränen von Elster über Saale- zur Weichselkaltzeit der Gehalt an ml-Mineralen und der Montmorillonitschichtanteil darin gerichtet abnimmt.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass die Geschiebemergelmatrix sowohl ferntransportierte lithostratigraphische Indikatormineralen aufweist (Kalzit, Dolomit, Chlorit) als auch aus präpleistozänen Weichsedimenten aufgenommene Minerale, deren Verdünnungsgrad sich ansatzweise für stratigraphische Aussagen eignet. Diese für das Land Brandenburg gültige Erkenntnis läßt sich wahrscheinlich prinzipiell auf das gesamte norddeutsche Vereisungsgebiet übertragen, jedoch ist für weitergehende Folgerungen der bisherige Untersuchungsumfang nicht ausreichend.

An einer systematischen Verdichtung der brandenburgischen Befunde wird im LGRB gearbeitet. Sie umfaßt die mineralogische Kennzeichnung von Grundmoränen stadialer Eisvorstöße als auch die des Einflusses lokaler untergrundbezogener Faktoren. Erst wenn stadiale Bildungen flächendeckend und statistisch abgesichert mineralogisch unterschieden werden können, ist die gesuchte Ergänzung oder gar ein methodischer Ersatz der traditionellen Kleingeschiebeanalyse gefunden. Ungeachtet der derzeit bekannten Einwände sollte man davon ausgehen, dass mit zunehmender Verbesserung der quantitativen Phasenanalyse sowie weiterer Einsichten in die Glazialdynamik und glaziären Sedimentationsprozesse die Aussichten wachsen, auch sehr geringfügige mineralogische Unterschiede der Grundmoränen erkennen und lithostratigraphisch anwenden zu können.

### Zusammenfassung

Im Rahmen eines DFG-Projektes wurde im LGRB die Matrix  $< 63 \mu\text{m}$  von stratigraphisch sicher eingestuften Grundmoränen Brandenburgs und angrenzender Gebiete röntgenphasenanalytisch untersucht. An 65 Proben aus dem Land Brandenburg wurde der Mineralbestand der Tillmatrix unter besonderer Berücksichtigung der Tonmineralanteile quantitativ bestimmt, kritisch bewertet und prozessbezogen diskutiert. Der beschriebene methodische Ansatz ist an Tills der drei norddeutschen Glazialzeiten getestet worden.

Die Veränderungen der Häufigkeitsrelationen von Plagioklas zu Kalifeldspat, Dolomit zu Kalzit, Chlorit zu Kaolinit sowie des Montmorillonitschichtanteils im mixed-layer-Mineral sind in der Lausitz, in Mittelbrandenburg und der Prignitz als lithostratigraphischer Indikator für elster-, saale- und weichselkaltzeitliche Grundmoränen grundsätzlich geeignet.

Die tillstratigraphische Differenzierungsmöglichkeit liegt im Wesentlichen in einem Verdünnungseffekt, der sich während des postelsterglazialen Erosions- und Sedimentationsgeschehens einstellte. Er betraf vor allem den Mineralbestand der tonig-schluffigen Sedimente, die durch die exarative Wirkung des elsterkaltzeitlichen Inlandeises auf das präglaziale Relief in die Tillmatrix aufgenommen wurden.

## Summary

Within the scope of a DFG-project the matrix < 63 µm of stratigraphical undoubtedly defined tills of Brandenburg and adjacent areas was analyzed through x-ray diffraction by the Geological Survey of Brandenburg. The mineral mode of the till matrix of 65 samples of ground moraines of the Land Brandenburg was quantitatively determined, critically evaluated and process-based discussed. The described methodic approach was tested on tills of the three glaciations of Northern Germany.

The changes of frequency relations of plagioclase to potassium feldspar, dolomite to calcite, chlorite to kaolinite as well as of the quantity of the layers of montmorillonite in the mixed-layer-minerals are basically appropriate as lithostratigraphic indicator of ground moraines in the Lusatia, Middle Brandenburg and the Prignitz.

The possibility of a tillstratigraphical discrimination is based essentially on a dilution effect during the post-Elsterian erosional and depositional events. The dilution affected mainly the mineral mode of the clayish-silty sediments incorporated in the tillmatrix by exarative impact of the Elsterian inlandice on the preglacial relief.

## Danksagung

Die Verfasser danken den Herren Dipl.-Geologen Norbert Hermsdorf und Dr. Thomas Höding für die kritische Durchsicht des Manuskripts und anregende Diskussionen sowie Herrn Kartographie-Ing. Detlef Mehlau für die digitale Bearbeitung der Abbildungen.

## Literatur

- AL-RAWI, D. (1976): Zur Tonmineralführung glazigener Gesteine aus Möllenhagen (Geschiebemergel, Bändertone) und Storkow (Bänderton), Bezirk Neubrandenburg. – *Z. geol. Wiss.* **4**, S. 1369-1377, Berlin
- ANDERS, T., KRATZERT, P. & A. KÜHL (1991): Statistische Analysemethoden zur Beschreibung und Klassifizierung von Datenkollektiven, angewandt auf die Geschiebezählung. – *Z. f. angew. Geologie* **37**, 2, S. 70-75, Berlin
- BÜLOW, W. v., HARFF, J. & U. MÜLLER (1977): Gedanken zur Auswertung von Geschiebeanalysen an Hand numerisch klassifizierter Zählergebnisse der Stoltera (Kreis Rostock). – *Z. geol. Wiss.* **5**, 1, S. 39-49, Berlin
- CEPEK, A. G. (1969): Zur Bestimmung und stratigraphischen Bedeutung der Dolomitgeschiebe in den Grundmoränen im Nordteil der DDR. – *Geologie* **18**, 6, S. 657-673, Berlin
- CEPEK, A. G. (1973): Zur stratigraphischen Interpretation des Quartärs der Stoltera bei Warnemünde nach neuen Geschiebeanalysen. – *Z. geol. Wiss.* **1**, 10, S. 1155-1171, Berlin
- CEPEK, A. G. (1999): Die Lithofazieskarten Quartär 1 : 50 000 (LKQ 50) – eine Erläuterung des Kartenkonzepts mit Hinweisen für den Gebrauch. – *Brandenburgische geowiss. Beiträge* **6**, 2, S. 3-38, Kleinmachnow
- EHLERS, J. (1983): Different till types in North Germany and their origin. – In: EVENSON, E. B., SCHLÜCHTER, Ch. & J. RABOSSA (1993): *Tills & related deposits.* – S. 61-80, Rotterdam (Balkema)
- EHLERS, J. (1992): Origin and distribution of red tills in North Germany. – *Sveriges Geol. Undersökning, Ser. Ca 81*, S. 97-105, Oslo
- EISSMANN, L. (1967): Rhombenporphyrgeschiebe in Elster- und Saalemoränen des Leipziger Raumes. – *Mauritianum* **5**, S. 37-46, Altenburg
- EISSMANN, L. (1986): Quartärgeologie und Geschiebeforschung im Leipziger Land mit einigen Schlußfolgerungen zu Stratigraphie und Vereisungsablauf im Norddeutschen Tiefland. – *Altenburger Naturwiss. Forsch.* **3**, S. 105-133, Altenburg
- FELDHAUS, D. & M. STÖRR (1978): Die Tonmineralparagenesen der Tertiärsedimente der DDR. – *Schriftenr. geol. Wiss.*, **11**, S. 35-45, Berlin
- HALDORSEN, S., JØRGENSEN, P., RAPPOL, M. & P. A. RIEZEBOS (1989): Composition and source of the clay-sized fraction of Saalian till in The Netherlands. – *Boreas* **18**, S. 89-97, Oslo
- HELING, D. (1988): Tone und Siltsteine. – In: FÜCHTBAUER, H. (Hrsg.): *Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie Teil II.* – S. 185-232, Stuttgart (Schweizerbart)
- HENNING, K.-H. (1971): Mineralogische Untersuchung des eozänen Tones der Lagerstätte Friedland (Bezirk Neubrandenburg). – *Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss.*, **B**, **16**, 1, S. 5-39, Berlin
- HENTSCHKE, U. & H.-J. STEPHAN (1989): Schwermineralanalyse von Geschiebemergeln, ein Hilfsmittel für die Moränenstratigraphie? Diskussion anhand von Zählungen aus Schleswig-Holstein. – *Eiszeitalter u. Gegenwart* **39**, S. 19-28, Hannover
- HESEMANN, J. (1939): Diluvialstratigraphische Geschiebeuntersuchung zwischen Elbe und Rhein. – *Abh. naturwiss. Ver. Bremen* **31**, 2, S. 247-285, Bremen
- ILLERS, K., RUDOLPH, H. & R. SEIM (1963): Korngrößen- und Schwermineralanalyse der Geschiebemergel der Stoltera bei Warnemünde. – *Geologie* **12**, 8, S. 889-916, Berlin
- KNUTH, G. & S. WANSA (1990): Ergebnisse der Schwermineralanalysen von Tills bei Gräfenhainichen. – *Mauritiana* **12**, 3, S. 465-476, Altenburg
- KÜHNER, R. (2000): Sedimentfolgen und Lagerungsverhältnisse im quartären Deckgebirge des Tagebaus Welzow-Süd. – *Brandenburgische geowiss. Beiträge* **7**, 1, Kleinmachnow
- LANDGRAF, K.-F. (1971): Mineralogische Untersuchung des mitteloligozänen Tones der Lagerstätte Malliß (Bezirk Schwerin, DDR). – *Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss.*, **B**, **16**, 4, S. 437-474, Berlin
- LANDGRAF, K.-F., SCHOMBURG, J., STÖRR, M. & H. ZWAHR (1977): Praktische Erfahrungen bei der quantitativen mineralogischen Phasenanalyse tonmineralogischer Gesteinsproben. – *Wiss. Z. d. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, XXVI, Math.-Naturwiss. Reihe*, 1/2, S. 67-78, Greifswald
- LINDEN, A. (1975): Till petrographical studies in an Archean bedrock area in southern central Sweden. – *Striae* **1**, S. 1-57, Uppsala
- LINTINEN, P. (1995): Origin and physical characteristics of till fines in Finland. – *Geol. Surv. Finl., Bull.* **379**, 83 S., Espoo
- LIPPSTREU, L. (1995): Brandenburg. – In: BENDA, L.: *Das Quartär Deutschlands.* – S. 116-143, Berlin (Borntraeger)

- LIPPSTREU, L., HANNEMANN, M., HERMSDORF, N., JORTZIG, H. & H. U. THIEKE (1992): Neue Ergebnisse zur Gliederung der quartären Schichtenfolge im Deckgebirge des Braunkohlenfeldes Jänschwalde (Niederlausitz) – ein Beitrag zur Gliederung der Saale-Kaltzeit. – Unveröff. Exkursionsmaterialien zum 2. Internationalen Arbeitstreffen zur Neogeodynamischen Karte, Okt. 1992, LGRB Kleinmachnow
- LUCKERT, J., PIOTROWSKI, J. A. & H. U. THIEKE (1997): Mineralogische und sedimentpetrographische Befunde zu den Tillfazies am Stohler Kliff/Kieler Bucht. – *Terra Nostra*, 97/2, S. 139, Posterabstract, Sediment '97, Köln
- LÜTTIG, G. (1999): Geschiebestatistische Anmerkungen zur Quartärstratigraphie des nordischen Vereisungsgebietes. – *Eiszeitalter u. Gegenwart* 49, S. 144-163, Hannover
- McNAMARA, M. (1966): The paragenesis of Swedish glacial clays. – *Geol. Fören. Förh.* 87, S. 441-454, Stockholm
- MOORE, D. M. & R. C., JR., REYNOLDS, (1997): X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. – 378 S., Oxford (Univ. Press)
- PEURANIEMI, V., AARIO, R. & P. PULKKINEN (1997): Mineralogy and geochemistry of the clay fraction of till in northern Finland. – *Sedim. Geology* 111, H. 1-4, S. 313-327, Amsterdam
- ROALDSET, E. (1972): Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Numedal area, southern Norway. – *Norsk geol. Tidsskr.* 52, S. 335-369, Oslo
- REYNOLDS, R. C., JR. (1984): Interstratified clay minerals. – In: BRINDLEY, G. W. & G. BROWN (eds.): *Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification.* – Mineralogical Soc., S. 249-303, London
- REYNOLDS, R. C., JR. & J. HOWER (1970): The nature of interlayering in mixed-layer Illit-montmorillonites. – *Clays & Clay Minerals*, 18, S. 25-36, New York
- RUPPERT, F.-R. & W. SCHNEIDER (1975): Hinweise auf Zusammenhänge zwischen der Genese des Lauenburger Tons (Elster-Glazial) und den Salzstrukturen Norddeutschlands aufgrund tonmineralogischer Untersuchungen. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, S. 606-627, Stuttgart
- SCHWAB, G., THIEKE, H. U. & J. LUCKERT (1997): Mineralogische Untersuchungen zur Lithostratigraphie von Geschiebemergelhorizonten im Land Brandenburg. – Abschlußbericht DFG-Projekt II C 5 Schw 487/4-1,2,3, 66 S., LGRB, Kleinmachnow
- SOVERI, U. (1956): The mineralogical composition of argillaceous sediments of Finland. – *Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. A, III*, 48, S. 1-32, Helsinki
- STANKOWSKA, A. (1976): Clay minerals in glacial tills of the Polish territory. – *Adam Mickiewicz Univ. Poznan, Ser. Geogr.*, 12, S. 49-54, Poznan
- STANKOWSKA, A. (1979): Stratigraphic and regional variation of glacial tills in Poland on the base of clay mineral investigations (poln.). – *Adam Mickiewicz Univ. Poznan, Ser. Geogr.*, 17, 223 S., Poznan
- STÖRR, M., KUZVART, M. & J. NEUZIL (1978): Age and genesis of the weathering crust of the Bohemian Massif. – *Schriften. geol. Wiss.*, 11, S. 265-281, Berlin
- TGL 25 232 (1971): Fachbereichsstandard Geologie: Analyse des Geschiebestandes quartärer Grundmoränen, Bl. 1-6. – ZGI, Berlin
- THIEM, G. & M. KRBETSCHKE (1992): Geschiebestatistische Untersuchungsergebnisse an Grundmoränen im Raum westlich Spremberg (Niederlausitz). – *Z. geol. Wiss.* 20, 5/6, S. 593-601, Berlin
- VALETON, I., LÖHNERT, E. & F. KHOO (1972): Genese pleistozäner Rottone im Raum Hamburg. – *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg* 41, S. 171-184, Hamburg
- VORTISCH, W. (1982): Clay mineralogical studies of some tills in northern Germany. – *Geologica et Palaeontologica*, 15, S. 167-192, Marburg
- WOLDSTEDT, P. & K. DUPHORN (1974): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. – 500 S., Stuttgart (Köhler)
- WOLF, L. & G. SCHUBERT (1992): Die spätertären bis elsterzeitlichen Terrassen der Elbe und ihrer Nebenflüsse und die Gliederung der Elster-Kaltzeit in Sachsen. – *Geoprofil*, 4, 43 S., Freiberg
- ZANDSTRA, J. G. (1983): A new subdivision of crystalline Fennoscandian erratic pebble assemblages (Saalian) in the Central Netherlands. – *Geol. en Mijnb.* 62, S. 455-469, 's-Gravenhage
- ZÖLLMER, V. & G. IRION (1996): Tonminerale des Nordseeraumes, ihr Verteilungsmuster in kreidezeitlichen bis pleistozänen Sedimentabfolgen und in den Oberflächensedimenten der heutigen Nordsee. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 190, 72 S., Frankfurt a. M.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Joachim Luckert  
Dr. Hans Ulrich Thieke  
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
Brandenburg  
Stahnsdorfer Damm 77  
14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 146