

RA 356
(22)

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Radaktion: J.-P. Groetzner

Heft 22

Die Feldspatgehalte quartärzeitlicher Sande Niedersachsens

von

Michael Hüser

Hannover 1982

Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover	22	ISSN 0440-2812	81 S., 19 Abb. 6 Tab., 1 Taf.	Hannover Dezember 1982
-------------------------------------	----	----------------	----------------------------------	---------------------------

Die Feldspatgehalte quartärzeitlicher Sande Niedersachsens

von dem Fachbereich Erdwissenschaften

der Universität Hannover

zur Erlangung des Grades eines

DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation

von

Dipl. Geologen Michael Hüser

geboren am 9.10.52 in Hannover

1982

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Radaktion: J.-P. Groetzner

Heft 22

Die Feldspatgehalte
quartärzeitlicher Sande
Niedersachsens

von
Michael Hüser

Diss. nat. 1.1.4

UB/TIB Hannover 89
114 995 303



Hannover 1982

Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover	22	ISSN 0440-2812	81 S., 19 Abb. 6 Tab., 1 Taf.	Hannover Dezember 1982
-------------------------------------	----	----------------	----------------------------------	---------------------------

1 Beilage in der Tasche

Referent: Prof. Henningsen

Korreferent: Prof. Johannes

Tag der Promotion: 18.2.82

DIE FELDSPATGEHALTE QUARTÄRZEITLICHER SANDE NIEDERSACHSENS

(mit 19 Abb., 6 Tab., 1 Taf. in Tasche)

von

MICHAEL HÜSER⁺⁾

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT	4
0. VORWORT	6
1. EINLEITUNG	7
1.1. Problemstellung	7
1.2. Chemie und Mineralogie der Feldspäte	9
1.3. Verwitterung von Feldspäten	10
1.4. Feldspäte in Sanden	11
1.5. Lage des Arbeitsgebietes	13
1.6. Probennahme	14
1.7. Geologische Einstufung der Probenentnahmepunkte	15
2. METHODEN DER FELDSPATBESTIMMUNG	20
2.1. Probenvorbereitung	21
2.2. Mikroskopische Bestimmung	22
2.3. Schwereretrennung	23
2.4. Elektrostatische Verfahren	24
2.5. Flotation	26
2.6. Röntgenographische Methoden	28
2.7. Chemische Analysen	34
2.8. Bestimmung durch Anfärben	35
3. ERGEBNISSE DER DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN	39
3.1. Mikroskopische Bestimmung	39
3.2. Schwereretrennung	41
3.3. Elektrostatische Verfahren	43
3.4. Flotation	46
3.5. Röntgenographische Bestimmung	47
3.6. Chemische Analysen	50
3.7. Bestimmung durch Anfärben	51

⁺⁾ Anschrift des Verfassers: Dr. Michael Hüser c/o
Institut für Geologie und
Paläontologie, Universität Hannover
Callinstrasse 30, 3000 Hannover 1

	<u>Seite</u>
4. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	66
4.1. Methodik	66
4.2. Feldspatführung der quartärzeitlichen Sande Niedersachsens	70
4.3. Wirtschaftliche Bedeutung der in den niedersächsischen quartärzeitlichen Sanden ermittelten Feldspatgehalte	74
5. ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN	75

ZUSAMMENFASSUNG

373 Proben aus quartärzeitlichen Sanden Niedersachsens wurden auf ihre qualitative und quantitative Feldspatzusammensetzung untersucht. Die Proben stammen aus allen Teilen Niedersachsens und repräsentieren einen Querschnitt der verschiedenen stratigraphischen und genetischen, quartärzeitlichen Lockergesteinsserien, die in Niedersachsen anzutreffen sind.

Im einzelnen wurden 14 Proben aus dem Altpleistozän, 60 aus der Elster-Kaltzeit, 247 aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit, 13 aus dem Warthe-Stadium der Saale-Kaltzeit, 23 aus der Weichsel-Kaltzeit und 20 aus dem Holozän untersucht.

7 verschiedene Untersuchungsmethoden - Polarisationsmikroskopie, röntgenographische Diffraktometeraufnahmen, chemische Analysen, Flotation, Elektrostatik, Schweretrennung und Anfärbeverfahren - wurden zur Bestimmung der qualitativen und quantitativen Feldspatgehalte ausprobiert. Als die geeignetsten Verfahren erwiesen sich die Polarisationsmikroskopie, die röntgenographische Diffraktometeraufnahme, die chemische Analyse und das Anfärben. Mit der letztgenannten Methode wurden die Feldspatgehalte aller 373 Proben bestimmt, weil dieses Verfahren die im Verhältnis zum Zeitaufwand besten Ergebnisse erbrachte.

Als wesentliche Ergebnisse sind festzuhalten:

- Die niedersächsischen quartärzeitlichen Sande weisen nur geringe Feldspatgehalte auf. Im Durchschnitt aller 373 Proben ergibt sich ein Gehalt von 4,4 Gew.-% K-Feldspäten und 0,8 Gew.-% Plagioklasen.
- Alle untersuchten Sande haben eine ähnliche qualitative Feldspatzusammensetzung. Es kommen monokline und triklin K-Feldspäte vor, die meist sehr reich an $KAlSi_3O_8$ (>80Gew.-%) sind. K-Feldspäte mit perthitischer Internstruktur sind selten. Die Plagioklasse besitzen hohe $NaAlSi_3O_8$ -Gehalte. Neben Albit und Oligoklas konnte vereinzelt $Ande_3Si_8$ nachgewiesen werden. Anorthitreichere Plagioklasse kommen nicht vor.
- In allen Proben ist der Gehalt an K-Feldspäten größer als der der Plagioklasse.

- Die Feldspatgehalte der Sande hängen von deren Alter und deren Genese ab. Im Durchschnitt besitzen in Sanden derselben genetischen Herkunft ältere meist geringere Feldspatgehalte als jüngere. Glazifluviatil- und Beckensande haben in Abhängigkeit vom Alter durchschnittlich höhere Feldspatgehalte als fluviatil oder äolisch gebildete Sande. Dennoch können anhand des Feldspatgehaltes einer Einzelprobe keine Aussagen über Stratigraphie und Genese dieses Sandes gemacht werden, da die durchschnittlichen Unterschiede der Feldspatgehalte zwischen den stratigraphischen und genetischen Einheiten nur gering sind und die Schwankungsbreiten der Feldspatgehalte in den Einzelproben zu groß sind.
- Von sehr großer Bedeutung für die Feldspatführung der quartärzeitlichen Sande Niedersachsens ist deren Korngrößensammensetzung. Im Bereich der Korngrößenfraktion 0.40 - 1.00 mm liegt ein Minimum der Feldspatgehalte von durchschnittlich 3,2 Gew.-%. In den gröberen und feineren Fraktionen sind die Gehalte deutlich höher. Die höchsten Gehalte sind im Bereich von 0.125 - 0.20 mm festzustellen (durchschnittlich 6,8 Gew.-%). Feinsande besitzen daher in der Regel höhere Feldspatgehalte als Mittel- und Grobsande. Die Ursache für diese Korngrößenabhängigkeit ist im Verwitterungsverhalten der Feldspäte zu suchen.
- Regionale Unterschiede der Feldspatgehalte der Sande sind in Niedersachsen nicht festzustellen.
- Im Vergleich zu den skandinavischen Liefergesteinen, aus deren Abtragungsprodukten sich der Großteil der quartärzeitlichen niedersächsischen Lockergesteinssedimente zusammensetzt, besitzen die Sande nur noch einen Bruchteil des ehemals vorhandenen Feldspatgehaltes. Da in den Liefergesteinen Plagioklase und K-Feldspäte ungefähr gleich stark vertreten sind, in den Sanden aber generell die K-Feldspäte überwiegen, müssen die vorkommenden K-Feldspäte verwitterungsresistenter als die Plagioklase sein. Von den Plagioklasen sind die albitreichen am stabilsten, da nur noch diese in den Sanden angetroffen wurden.
- Eine wirtschaftliche Bedeutung als Feldspatlagerstätte besitzen die quartärzeitlichen Sande Niedersachsens nicht. Wegen ihres hohen Quarzgehaltes sind sie aber gut als Betonzuschlag, für die Kalksandsteinherstellung oder für sonstige Zwecke im Bauwesen zu verwenden, sofern nicht andere unerwünschte Beimengungen vorhanden sind.

ABSTRACT: The feldspar contents of 373 samples from quaternary sands of Lower Saxony (West Germany) were determined. The samples were taken in all parts of Lower Saxony and represent a selection of quaternary sediments of different age and genetic origin. 7 different methods of investigation were tested to determine the content of feldspar both qualitative and quantitative. Polarizing microscopy, x-ray diffractometry, chemical analysis and staining fit these aims best.

The most important results of these investigations are:

- The quarternary Lower Saxonian sands have an average content of 4.4 weight-% potassium feldspars and 0.8 weight-% plagioclase.
- All tested samples have a similar qualitative feldspar composition. There are monocline, tricline and - more rare - perthitic potassium feldspars with a rather high (greater 80 %) $KAlSi_3O_8$ content. From the plagioclase feldspars only albite, oligoclase and little andesine were indicated.
- The potassium feldspar content is higher in each sample than the plagioclase content.
- The feldspar content depends on age and genetic origin of each sand. Generally spoken the feldspar content lessens with increasing age. Glaciofluvial and basin sands usually have a higher feldspar content than fluvial or aeolian sands of the same age.
- The feldspar content is highly influenced by grain size composition. A minimum of feldspar content lies between 0.4 and 1.0 mm grain size. Fine sands usually have a higher feldspar content than coarse sands. The reason for this phenomenon is weathering.
- There are no regional differences in the amount of feldspar content.
- The feldspar content is not high enough for commercial mining.

O. VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Prof. Dr. D. Henningsen und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (Hannover) und ist ein umfassender Auszug meiner Dissertation. Sie paßt sich in den Rahmen der am Geologischen Institut der Universität Hannover durchgeführten Arbeiten zur Sedimentpetrographie und Technischen Gesteinskunde ein.

Begonnen wurde mit dem Projekt im Februar 1979. Die Probenahme wurde in den Sommern 1979 und 1980 durchgeführt.

Bei der Durchführung der Arbeit wurde mir von vielen Seiten Hilfe gewährt:

Bei Herrn Prof. Henningsen und allen übrigen Institutsangehörigen möchte ich mich für die zahlreichen Anregungen, nützlichen Diskussionen und bei der Laborarbeit gewährten Hilfen bedanken. Weiterhin wurde ich vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (Hannover) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover) unterstützt. Meinen Dank möchte ich den dort tätigen Herren Adamcik, Dr. Besang, Dr. Eckhardt, Dr. Ludwig, Dr. K.-D. Meyer und Dr. Zirkendörfer aussprechen. Bei der Flo-tation und den elektrostatischen Untersuchungen halfen mir die

Firma Henkel (Düsseldorf) und die Firma Gebr. Dorfner o.H.G. (Hirschau/Bayern).

Dem Minister für Wissenschaft und Kunst, der das Forschungsvorhaben aus Mitteln des niedersächsischen Zahlenlottos (Aktenzeichen: Kap. 1302 Tit. 685 06/07) förderte, verdanke ich die finanzielle Unterstützung, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Die Zähltabellen zu den untersuchten Proben und weitere detaillierte Informationen zu den Probeentnahmepunkten sind in diese Arbeit nicht übernommen worden. Sie sind in der Dissertationsschrift (erhältlich in der Bibliothek des geol. Inst. der Universität Hannover) einsehbar.

1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Das niedersächsische Flachland wird in weiten Teilen von quartärzeitlichen Sanden und Kiesen bedeckt. Diese Ablagerungen bilden die Grundlage für einen Teil der Steine und Erden-Industrie, die in ihren Betrieben einige tausend Mitarbeiter beschäftigt und einen wichtigen wirtschaftspolitischen Faktor für Niedersachsen darstellt.

Trotz dieser wirtschaftlichen Bedeutung ist über die mineralogische Zusammensetzung der quartärzeitlichen Sande relativ wenig bekannt. Allgemein wird für Niedersachsen von einem hohen Quarzgehalt der Sande ausgegangen. Daneben kommen an anorganischen Bestandteilen Feldspäte, Karbonate, Glimmer, Ton- und Schwerminerale vor. Genauere Untersuchungen gibt es nur wenig.

HASCHEMI FARD (1977:50,53) ermittelte für quartärzeitliche Sande im Osten Hannovers einen Gehalt von 80 - 94 Gew.-% Quarz. OPPERMANN (1969:3-9) gibt den durchschnittlichen Anteil an Quarzmineralen für Niedersachsen mit 80 bis über 95 Gew.-% an. Der Feldspat- und Karbonatsgehalt soll jeweils 1 Gew.-% nicht übersteigen. ASCHKESCH (1975: Anlage 2) fertigte chemische Analysen von Sanden aus dem mittleren Niedersachsen an. Rechnet man seine Analysenwerte stöchiometrisch um, kommt man auf ca. 9 Gew.-% Feldspatanteil in den quartären Sanden, bei einem SiO_2 -Gehalt von rund 90 Gew.-%. GRAUPNER (1970:215-222) untersuchte einige Sand-

vorkommen. Danach schwanken die K-Feldspatgehalte zwischen 0 und 15 Gew.-%. Die Erläuterungen zu den GK 25 von Niedersachsen enthalten so gut wie keine Daten über die Feldspatführung der quartärzeitlichen Sande.

Es verwundert, daß über die mineralogische Zusammensetzung der Sande und insbesondere die Höhe der Feldspatgehalte nur so wenig Angaben vorliegen, obwohl OPPERMANN (1969:4) in seiner Arbeit für die Kalksandsteinindustrie schreibt:

"Mit Sicherheit wird aber bei der hydrothermalen Behandlung die Bildung der Hydrosilikate durch die Feldspäte beeinflusst, so daß allgemein mit verringerten Druckfestigkeiten (der Kalksandsteine) gerechnet werden kann." Des weiteren ist Feldspat ein wichtiger Grundstoff für die keramische Industrie. Für die Herstellung bestimmter Spezialgläser werden feldspatreiche Sande benötigt. Im Zeichen allgemeiner Rohstoffverknappung könnten sich die Sande Niedersachsens mit ihren Feldspat- und Schwermineralgehalten als wichtige Rohstoffreserve erweisen.

Unklar ist auch, inwieweit Feldspäte das sogenannte Alkalitreiben im Beton beeinflussen. Zwar ist nach SMOLCYK (1973:64) Feldspat im Betonzuschlag als unbedenklich einzustufen, aber nach STEIN (1978) ist eine Beeinflussung des NaOH-Testverfahrens zur Prüfung auf reaktionsfähige Bestandteile durch Feldspat denkbar. Im übrigen ist immer noch nicht genau geklärt, welche Faktoren auf das Alkalitreiben im Beton einwirken und wie diese Reaktion abläuft. Es ist daher möglich, daß bei einer bestimmten, kritischen Zusammensetzung des Betons die Feldspäte mit ihren Alkalimetallen Natrium und Kalium einen Einfluß ausüben können.

Aus allen diesen Gründen schien es sinnvoll, eine systematische Untersuchung der Feldspatgehalte verschiedener regionaler und stratigraphischer Vorkommensbereiche in Niedersachsen durchzuführen. Dabei sollte geklärt werden:

- welche Feldspäte kommen in den quartärzeitlichen Sanden vor und welchen quantitativen Anteil haben sie daran
- gibt es regionale, stratigraphische, Korngrößen- und sedimentationsabhängige Unterschiede der Feldspatgehalte

- mit welchen Methoden der Feldspatbestimmung können diese Aufgaben am besten und mit einem vertretbaren Zeitaufwand durchgeführt werden?

1.2. Chemie und Mineralogie der Feldspäte

Feldspäte sind als mengenmäßig häufigste Mineralgruppe zu schätzungsweise 60 - 65 Gew.-% am Aufbau der äußeren Erdkruste beteiligt (TRÖGER 1969:645). Innerhalb ihrer Gruppe unterscheiden sie sich durch verschiedene Natrium-, Kalium- und Calciumgehalte und damit korrespondierend wechselnde Aluminium- und Siliziumanteile. Die Kalium- und Natrium-reichen Mitglieder, die einen sehr geringen Gehalt an Calcium aufweisen können, werden als Alkalifeldspäte, die Calcium- und Natrium-reichen Mitglieder, die sehr wenig Kalium einbauen können, als Plagioklase bezeichnet (s. Abb. 1).

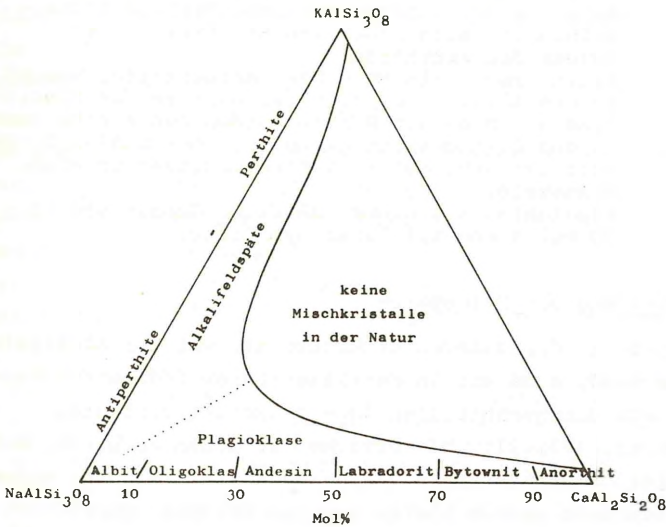


Abb. 1: Chemismus der Feldspäte im Dreiecksdiagramm

Ausführliche Beschreibungen zum Chemismus, der Struktur und den weiteren Merkmalen finden sich unter anderem bei TRÖGER (1969:645-762) und DEER et.al. (1966:281-338). Für meine Arbeit von Bedeutung sind folgende Feldspatvarietäten:

- K-Feldspat Sammelbegriff für alle Alkalifeldspäte mit überwiegendem $KAlSi_3O_8$ -Gehalt.
- Mikroklin fast reiner Kaliumfeldspat mit trikliner Symmetrie.
- Perthit und Antiperthit Alkalifeldspat mit unterschiedlichen Kalium- und Natriumgehalten, in dem durch Entmischungsvorgänge des vorher ungeordneten Minerals Lagen von Na-Feldspat (Perthit) oder K-Feldspat (Antiperthit) in den jeweils anderen eingebaut sind.
- "Orthoklas" der Name "Orthoklas" wird in verschiedenen Versionen gebraucht (s. TRÖGER 1969:677). In der petrographischen Literatur wird im allgemeinen "Orthoklas" neben Sanidin und Adular (diesen auch einbeziehend) als eine weitere, optisch monokline Form von K-Feldspat verstanden, dessen optische Variationsbreite je nach Autor etwas verschieden ausfällt. In Anlehnung an diese Definition wurden in der vorliegenden Arbeit alle diejenigen K-Feldspäte als "Orthoklase" bezeichnet, die je nach Untersuchungsmethode (Mikroskopie oder röntgenographische Diffraktometeraufnahmen) eine monokline Struktur zeigten (außer den Perthiten).
- Albit Albit gehört als End- bzw. Anfangsglied sowohl zu den Alkalifeldspäten als auch zu den Plagioklasen. In dieser Arbeit wurden die Albite immer zu den Plagioklasen gerechnet. Der $NaAlSi_3O_8$ -Gehalt ist ≥ 90 Mol %. Albite besitzen trikliner Symmetrie.
- Oligoklas Plagioklas mit einem $NaAlSi_3O_8$ -Gehalt von 70 - 90 Mol % und trikliner Symmetrie.

1.3. Verwitterung von Feldspäten

Obwohl Feldspäte in der äußeren Erdkruste die weitaus häufigste Mineralgruppe sind, sind sie in den klastischen Sedimentgesteinen nur noch mit durchschnittlich 14 - 15 Gew.-% vertreten (PETTIJOHN et.al. 1972:37). Die Ursache ist darin zu sehen, daß Feldspäte unter atmosphärischen Bedingungen viel leichter aufgelöst und umgewandelt werden können als zum Beispiel Quarz. Von zahlreichen Autoren (siehe z.B. PLUMLEY (1948); HAYES (1962); ENGELHARDT (1973:264); MRAZEK (1974); BASU (1976) und andere) ist festgestellt worden, daß diese Umwandlungen und Lösungserscheinungen stattfinden bei:

- der Verwitterung des Ausgangsmaterials
- dem Transport
- der Diagenese.

Experimente haben gezeigt, daß die Veränderung der Feldspatminerale dabei von vielen Faktoren abhängt. Einige sollen hier genannt werden:

- der pH-Wert und die Temperatur der umgebenden Flüssigkeit
- die Natur und die Konzentration der Ionen in der umgebenden Flüssigkeit
- die Kornform, die Kristallstruktur und die chemische Zusammensetzung der Feldspäte.

1.4. Feldspäte in Sanden

Einige Beispiele für die Feldspatgehalte in sandigen Lockersedimenten gibt die Tab. 1. Nach Tab. 1 sind albitreiche Plagioklasse (Albit, Oligoklas, Andesin), "Orthoklas" und Mikroklin die häufigsten Feldspatminerale in Sanden. Das Verhältnis Plagioklasse zu K-Feldspäten ist ungefähr 1. Eine ähnliche Feldspatzusammensetzung ist in sandigen Festgesteinen festgestellt worden. Zahlreiche petrographische Arbeiten belegen das Vorherrschende albitreicher Plagioklasse und K-Feldspäte. Albit, Oligoklas, Andesin und Mikroklin, "Orthoklas" sind demnach die verwitterungsresistentesten Feldspäte.

Der Feldspatgehalt eines Sandes oder Sandsteines hängt von folgenden Faktoren ab:

- der petrographischen Zusammensetzung der Liefergesteine. Sind im Liefergebiet glaziäre, feldspatreiche Lockersedimente vorhanden, wie im Norden der USA, sind die Abtragungsprodukte wie zum Beispiel Schelfsande auch sehr feldspatreich (MCMASTER & GARRISON 1966). Weiter südlich sind die Feldspatgehalte in den Sanden viel geringer, weil hier im Liefergebiet keine glaziären Lockersedimente anstehen (GILES & PILKEY 1965; FIELD & PILKEY 1969).
- den Klimabedingungen während der Abtragung, des Transports und der Sedimentation (siehe z.B. BASU (1976)).
- dem Transportmedium. Geschiebelehne und Geschiebemergel weisen meist hohe Feldspatgehalte auf. Schnelle Flüsse tragen zu einer verstärkten Zerstörung der Feldspäte bei, langsame nicht oder nur in geringem Maße (HAYES 1962).
- der Transportweite und -schnelligkeit.

Gebiet / Stratigraphie Autor	Detritus - Gehalt in Gew.- oder Vol.% an Plagioklas K-Feldspat		Bemerkungen
Mecklenburg (DDR) / Quartär SABBAN (1897)	9		Dünen- und andere quartär- zeitliche Sande. K-Feldspäte und albitreiche Plagioklasse.
Mississippi (USA) / rezent RUSSELL (1936 : 130 - 134)	10	8	Flußsande. Vor allem Oligoklas und Andesin; Mikroklin, wenig "Orthoklas".
Illinois (USA) / Quartär WILLMAN (1942)	19		Fluß-, Dünen- und glaziflu- viatile Sande. Überwiegend albitreiche Plagioklasse.
Rheintal / Quartär KOLDEWIJN (1955 : Abb. 2)	2	10	Flußsande. Sonst keine ge- nauen Angaben.
Golfküste (USA) / rezent HSU (1960 : 389)	9		Fluß- und Strandsande. Über- wiegend Albit und K - Feld- spat.
Golfküste (USA) / Pleistozän HSU (1960 : 391)	4		Fluß- und Strandsande. Über- wiegend Albit und K - Feld- spat.
Missouri (USA) / Holozän HAYES (1962 : Tab. 1)	18	20	Flußsande. Sonst keine gena- uen Angaben.
Schweiz / Quartär LÜTHY et. al. (1963 : 136)	40		Glazifluviatile Sande. Albit- reiche Plagioklasse und K - Feldspat.
Ostküste der USA / Holozän GILES & PILKEY (1965 : 906)	1	3	Strand-, Dünen- und Fluß- sande. Sonst keine genauen Angaben.
Ostküste der USA / Holozän MCMASTER & GARRISON (1966 : 1134)	11 - 30		Schelfsande. Albitreiche Plagioklasse und K - Feld- späte.
Fiji - Inseln / Holozän DICKINSON (1968 : 123)	12	2	Dünensande. Vulkanische Insel. Noch viel Feldspat in Gesteins- fragmenten. Sonst keine Aussagen.
Ostküste der USA / Holozän FIELD & PILKEY (1969 : 2099)	2	3	Sande vom Küstenschelf und Kontinentalabhang, Fluß- und Dünensande. Albitreiche Pla- gioklasse und "Orthoklas".
Alpenrhein (Schweiz) / rezent HAHN (1969 : 256)	10	2	Flußsande. Verschiedene Pla- gioklasse (Albit - Labradorit).
Sylt (BRD) / Pliozän + Pleistozän ANWAR (1974 : 46)	9	18	Pliozäner "Kaolinsand"(fluvi- atil). Vor allem "Orthoklas".
Niedersachsen (BRD) / Pleistozän ASCHKESCH (1975)	18	14	Geschiebemergel. Plagioklas und "Orthoklas".
Niedersachsen (BRD) / Pleistozän ASCHKESCH (1975)	4	5	Fluviatile und glazifluviatile Sande. Chemische Analysen.
Appalachen (USA) / Holozän BASU (1976 : 698)	5	18	Flußsande. Albitreiche Plagi- oklasse, "Orthoklas" und Mikro- klin.

Gebiet / Stratigraphie Autor	Detritus - Gehalt in Gew.- oder Vol. % an Plagioklas K-Feldspat		Bemerkungen
Rocky Mountains (USA) / Holozän BASU (1976 : 698)	24	10	Flußsande. Verschiedene Plagioklasse, "Orthoklas", wenig Mikroklin.
Kalifornien (USA) / rezent COMBELICK & OSBORNE (1977 : 899)	13	14	Fluß- und Strandsande. Albit - Andesin, "Orthoklas".
Gesamte USA / rezent CHARLES & BLATT (1978 : 428)	5	5	Flußsande. Chemische Analysen. Danach albitreiche Plagioklasse.
Nebraska (USA) / rezent BREYER & BART (1978 : 1315)	17	8	Flußsande. Sonst keine Angaben.
Nicobaren (Indien) / Tertiär INGERSOLL & SUCZEK (1979 : 1222)	19	9	Fluß- und Schelfsande. Vulkanisches Ausgangsmaterial.

Tab. 1: Feldspatgehalte in Sanden und Lockersedimenten.

(Alle Werte sind abgerundet. Die Angaben der Autoren wurden teilweise umgerechnet, um Durchschnittswerte zu erhalten. Wo nur chemische Analysen vorlagen, wurden die K_2O - und Na_2O -Gehalte ausschließlich den Feldspäten zugeschlagen. Bei den CaO -Gehalten wurde erst der Karbonatanteil errechnet. Der Rest wurde den Plagioklassen zugeordnet.)

- dem Reliefunterschied zwischen Herkunftsgebiet und Ablagerungsgebiet (siehe z.B. PLUMLEY 1948).
- der Diagenese (siehe z.B. ENGELHARDT 1973:265).

Viele Autoren stellen eine Abhängigkeit der Feldspatgehalte von der Korngröße fest. Aufgrund ihrer guten Spaltbarkeit und der geringen Verwitterungsresistenz sind Feldspäte (bevorzugt Plagioklasse) in der Feinsandfraktion stärker angereichert als in der Mittel- oder Grobsandfraktion. Bei schlecht klassierten Sedimenten wie zum Beispiel Grauwacken und Arkosen kann auch der umgekehrte Fall eintreten.

1.5. Lage des Arbeitsgebietes

Niedersachsen hat eine Fläche von 47430 km² (FISCHER-WELTALMANNACH 1981:247). Von daher war es von vornherein klar, daß eine

Beprobung nur stichpunktartig durchgeführt werden konnte. Um das Arbeitsgebiet etwas weiter einzugrenzen, habe ich bis auf 4 Ausnahmen die Probennahme auf das Gebiet des niedersächsischen Flachlandes beschränkt. Das Arbeitsgebiet wird daher im Süden von den Mittelgebirgen begrenzt, was ungefähr der Linie Helmstedt - Braunschweig - Hildesheim - Osnabrück - Nordhorn entspricht. Im Westen wird die Grenze des Arbeitsgebietes durch das holländische Staatsgebiet, im Norden durch die Nordsee, im Nordosten durch die Elbe und im Osten durch die DDR-Grenze markiert (s. Abb. 2).

1.6. Probennahme

Zum überwiegenden Teil wurden die Proben in Sandgruben gewonnen, weil dort die stratigraphischen und genetischen Verhältnisse am besten zu beurteilen sind. Bohrgut und Saugbaggerproben wurden nur dort genommen, wo die geologische Herkunft eindeutig geklärt war.

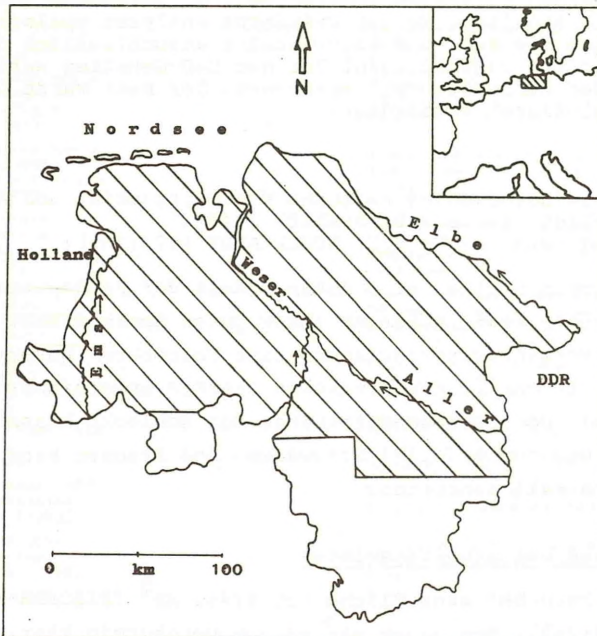


Abb. 2: Übersichtskarte von Niedersachsen. Arbeitsgebiet schraffiert.

Bevorzugt wurden solche Sandgruben aufgesucht, die schon in der Literatur beschrieben worden sind. Ausgehend von diesen Sand- und Kiesgruben wurden dann in der näheren und weiteren Umgebung andere Aufschlüsse beprobt, über die bisher keine geologischen Untersuchungen vorliegen. Anhand des Kiesbestandes, des Auftretens von Geschiebelehm und weiteren Merkmalen konnten dann auch diese Proben stratigraphisch und genetisch sicher eingestuft werden. Weitergehende Untersuchungen, wie z.B. Kieszählungen zur Bestimmung des theoretischen Geschiebezentrums usw. wurden wegen des dafür erforderlichen Zeitaufwandes nicht durchgeführt. In problematischen Fällen wurden daher keine Proben genommen.

Aus diesen Gründen konnte die Beprobung auch nicht rasterartig durchgeführt werden. Bestimmte Gebiete, die ausführlich durch geologische Karten und andere Untersuchungen beschrieben worden sind (z.B. TK 25:2117, Bl. Schwanewede; das Gebiet der Dammer Berge usw.) wurden bevorzugt. Dennoch wurde darauf geachtet, aus allen Gebieten Niedersachsens Probenmaterial zu erhalten. Dieses Ziel konnte weitgehend erreicht werden. Auf Taf. 1 (in Tasche) ist die regionale Verteilung der Probenentnahmepunkte dargestellt. Zusätzlich ist die stratigraphische Einstufung der Proben angegeben.

In Abhängigkeit von den unterschiedlichen stratigraphischen, genetischen und sedimentologischen Parametern wurden in jedem Aufschluß 1 bis maximal 6 Proben genommen. Die Beprobung erfolgte dabei an einer frisch aufgeschlossenen Wand nach Art einer Schlitzprobe. Senkrecht zum Streichen des Sedimentkörpers wurde mit dem Spaten ein Schlitz mit einer Länge bis zu 2 m gezogen und das dabei aufgeschürfte Material als Probe genommen. Im Durchschnitt kamen so 1 - 2 kg Sediment je Probe zusammen (s. Abb. 3). Durch dieses Verfahren wurde eine weitgehend repräsentative Probennahme gewährleistet.

1.7. Geologische Einstufung der Probenentnahmepunkte

In Niedersachsen werden Kiese und Sande hauptsächlich aus glazifluviatilen und fluviatilen Sedimenten gewonnen. Die meisten Proben stammen aus den dadurch geschaffenen Aufschlüssen. Im einzelnen wurden Proben von folgenden stratigraphischen Einheiten genommen (Taf. 1 (in Tasche) zeigt die stratigraphische

Einstufung der Probenentnahmepunkte):

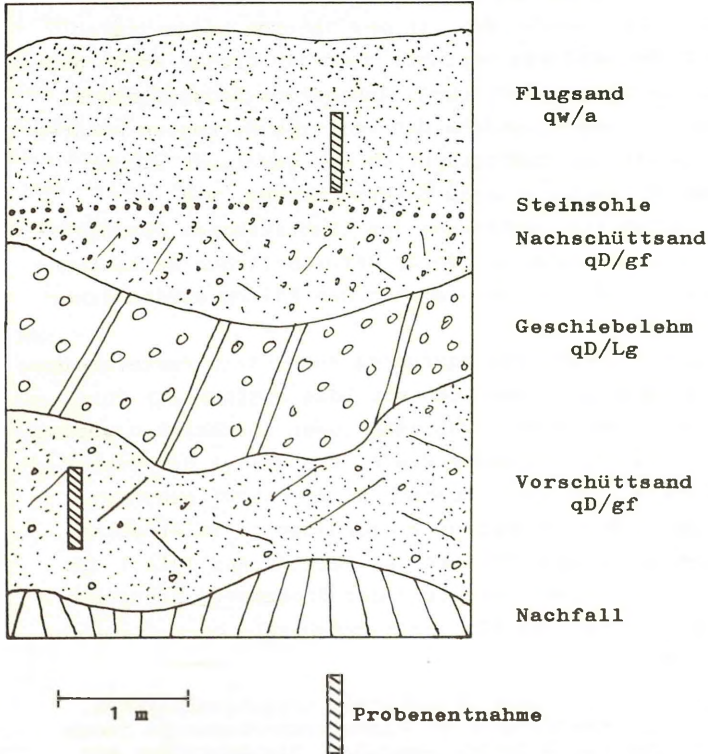


Abb. 3: Probenpunkt 216 als Beispiel für die Probenentnahme.

a) t_{pl}^{+}) = Pliozän

4 Proben wurden aus pliozänzeitlichem Sedimentmaterial genommen. Im Emsland und westlich Zetel kommen marine Glimmerfeinsande an der Oberfläche vor, die pliozänes Alter besitzen. Typisch für diese Sande sind nach BIJLSMA & CLEVERINGA (1970:7) bioturbate Strukturen (Grabgänge). Ein weiteres Vorkommen fluviatiler

+) Alle Symbole nach dem von LOOK & VINKEN (1971) herausgegebenen Buch für die elektronische Datenverarbeitung.

pliozänzeitlicher Sande befindet sich auf TK 25:2726, Bl. Garlstorf (Datierung nach mdl. Mitteilung von K.-D. MEYER, evt. Günz-Zeit).

b) qp(a) = Altpleistozän

Mit Altpleistozän sind alle quartären Sedimente gemeint, die vor der Elster-Kaltzeit entstanden sind. In verschiedenen Gebieten Niedersachsens sind solche Serien aufgeschlossen. Insgesamt wurden 14 Proben mit altpleistozänem Sedimentmaterial genommen.

Im Emsland stehen Schichten des sogenannten Hattem-Komplexes an (mdl. Mitteilung von K.-D. MEYER). LÜTTIG et.al. (1962:232-235) und ZANDSTRA (1971), die diesen Komplex in den Niederlanden untersuchten, geben an, daß die Hattem-Fazies in die Enschede-Formation eingeschaltet ist und zur Zeit des Menapiums abgelagert wurde. Proben, die kurz oberhalb der Kiesbänke des Hattem-Komplexes genommen wurden, müssen demnach altpleistozänes Alter besitzen.

Desweiteren wurden Proben aus dem Raum Leer (Saugbaggerprobe, mit sehr großer Wahrscheinlichkeit Altpleistozän nach mdl. Mitteilung von GROETZNER), Lingen-Süd (GRAHLE 1961:555-557), Berge (MEYER 1980:90 und RICHTER 1961:543-544), Kokenwahlde (MEYER 1980:97) und Hanstedt (nach mdl. Mitteilung von D. APPEL) genommen.

c) qe = Elster-Kaltzeit

Bis vor wenigen Jahren waren außer den Sedimenten des Lauenburger Tons nur wenige elsterzeitliche Ablagerungen, die an der Oberfläche vorkommen, bekannt (s. WOLDSTEDT & DUPHORN 1974: 217-220 und 237-238). Dies hat sich durch neue geschiebekundliche Untersuchungen stark verändert.

Insgesamt wurden 59 Proben mit elsterzeitlichem Sedimentmaterial genommen.

Frühelsterzeitliche Sedimente (mdl. Mitteilung von K.-D. MEYER, evt. Günz-Zeit) wurden westlich von Nienburg/Weser beprobt. Die Kiese dieses Sediments enthalten viel Gangquarz und Grauwacken,

ganz wenig nordische Geschiebe und keinen Flint.

Glaziäre Rinnen, zum größten Teil mit elsterzeitlichem Material gefüllt, sind im tieferen Untergrund des mittleren und nordöstlichen Niedersachsens durch zahlreiche Bohrungen nachgewiesen (s. KUSTER & MEYER 1979:135-156; WOLDSTEDT & DUPHORN 1974:82-85 und andere). Bohrproben, die aus dem Gebiet Soltau - Buchholz stammen, wurden mir freundlicherweise vom Nieders. Landesamt für Bodenforschung (Hannover) zur Verfügung gestellt. Sie stammen aus verschiedenen Teufen und sind alle anhand ihres Geschiebebestandes als nordisches, elsterzeitliches Material einzustufen. Über die Entstehung dieser Rinnen gibt es verschiedene Auffassungen (s. z.B. PALUSKA (1976) und KUSTER et.al. (1979)). Ohne hier die verschiedenen Meinungen darstellen zu wollen, wurde für diese Arbeit eine glazifluviatile Entstehung dieser Sande und Kiese angenommen.

Glazifluviatile Vor- und Nachschüttsande des elsterzeitlichen Gletschers sind an einigen Stellen Niedersachsens nachgewiesen. Nach der geol. Karte TK 25:2717 Bl. Schwanewede (Bearbeiter HÖFLE 1976) stehen in diesem Raum viele elsterzeitliche Ablagerungen an der Oberfläche an. Hier wurden zahlreiche Proben genommen. Weiteres Probenmaterial wurde im Emsland, westlich von Nienburg/Weser und östlich von Hannover (JORDAN 1975:27-28) gewonnen.

Während und nach dem Abschmelzen des elsterzeitlichen Gletschers bildeten sich im nördlichen und nordöstlichen Niedersachsens mächtige Beckensedimente. Dabei handelt es sich um den sogenannten Lauenburger Ton, der sich mit einem glimmerhaltigen Feinsand verzahnt, bzw. nach HÖFLE (1976:27) von ihm unterlagert wird. Dieser Feinsand wurde auf Blatt Schwanewede und der weiteren Umgebung beprobt. Südlich von Buchholz/Nordheide wurde eine Probe genommen, die wegen ihres sedimentologischen Aussehens ebenfalls als elsterzeitlicher Beckensand eingestuft wurde. Möglicherweise kann es sich aber auch um mio/pliozäne Sedimente handeln, die in diesem Gebiet genau dasselbe Erscheinungsbild haben (HINSCH & ORTLAM 1974:23; GRUBE 1968:122).

Elsterzeitliche Flußsedimente der Leine sind im Süden Hannovers

aufgeschlossen. 6 Proben dieser Oberterrassenserie wurden mir freundlicherweise von Herrn ASCHRAFI, der die Schwerminerale untersuchte (ASCHRAFI 1981), überlassen.

d) qD = Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit

Drenthezeitlich abgelagerte Sedimente sind am häufigsten in Niedersachsen anzutreffen. Die 247 genommenen Proben stammen aus allen Teilen des Arbeitsgebietes. Dabei handelt es sich im einzelnen um:

- glazifluviatile Vor- und Nachschüttsande, die sich durch wechselnde Sand- und Kiesschüttungen auszeichnen und häufig Kreuzschichtung zeigen.
- Beckensande, die an vielen Stellen die glazifluviatilen Sande über- oder unterlagern. Sie zeigen einen ruhigeren Sedimentationsbereich an. Es handelt sich meist um Feinsande, die eine parallele Feinschichtung aufweisen und mehrere Meter bis Zehnermeter Mächtigkeit erreichen. Häufig sind Schluff-/Tonbändchen miteingelagert.
- Flußablagerungen der Weser im südwestlichen Teil des Arbeitsgebietes, die sich durch ihren hohen Buntsandsteingehalt und geringen nordischen Anteil auszeichnen. Grobsande und Kiese überwiegen in diesen fluviatilen Schüttungen.

e) qWA = Warthe-Stadium der Saale-Kaltzeit

Der warthezeitliche Gletscher reichte nur bis in den nordöstlichen Teil der Lüneburger Heide. Nur dort sind deshalb warthezeitliche glazifluviatile Sande und Kiese anzutreffen.

An der Oberfläche des Vastorfer Kiesrückens stehen glazifluviatile Kiese dieses Stadiums in zahlreichen Aufschlüssen an. Hier wurden einige Proben entnommen.

Weiteres Probenmaterial wurde nur dort gewonnen, wo die warthezeitliche Moräne aufgeschlossen war. Gekennzeichnet ist die Warthe-Moräne in dem Gebiet durch ihre geringe Mächtigkeit von 1 - 1,5 m und ihr ostfennoskandisches Geschiebeinventar (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974:68; GROETZNER 1972:22-29; EHLERS 1978: 121). Als jüngster Geschiebelehm ist sie meist oberflächennah anzutreffen. Die Probennahme erfolgt immer kurz über- oder unterhalb der Moräne, um eindeutiges Warthematerial zu erhalten.

Insgesamt wurden 13 Proben mit warthezeitlichem Sedimentmaterial gewonnen.

f) q_w = Weichsel-Kaltzeit

In der Weichsel-Kaltzeit war Niedersachsen nicht mehr von Gletschern bedeckt. Im periglaziären Klima kam es durch die Wirkung von Wind und Wasser zu Umlagerungen von vorher sedimentiertem Material. In Talauen bildeten sich geringmächtige Niederterrassensedimente. Flugsande wurden in verschiedenen Teilen des Arbeitsgebietes abgelagert.

In Aufschlüssen oder durch Bohrungen wurden 20 Proben dieser beiden Sedimentationstypen genommen. Die Entnahmepunkte verteilen sich über ganz Niedersachsen. Flugsandproben wurden nur dort gewonnen, wo eine Steinsohle darunter zu finden war. Fluviatile Sande konnten anhand ihrer morphologischen Position sicher ausgegliedert werden.

Außerhalb des Arbeitsgebietes (Schleswig-Holstein) wurden zur Ergänzung 3 Proben genommen, die aus glazifluviatilen Schmelzwassersanden bestehen.

g) q_h = Holozän

Am Ende der Weichsel-Kaltzeit und im frühen Holozän kam es durch Ausblasungen zu einer verstärkten Dünenbildung. Die Dünen erstrecken sich vor allem längs der Flußtäler, kommen aber auch in anderen Bereichen Niedersachsens vor. 20 Proben wurden hier genommen. Anhand der Morphologie war es nicht schwierig, Dünesande sicher zu bestimmen.

2. METHODEN DER FELDSPATBESTIMMUNG

Obwohl zahlreiche Methoden der Feldspatbestimmung von Petrographen und Mineralogen entwickelt worden sind, sind diese Verfahren zum großen Teil nicht auf die Bedürfnisse und speziellen Probleme eines Sedimentologen zugeschnitten. Sind in magmatischen oder hochmetamorphen Gesteinen generell nur zwei unterschiedliche Feldspatminerale zu erwarten - eine Sorte Plagioklase und einen Typ von K-Feldspat - so enthalten Sedimente meist eine bunte Mischung verschiedener Feldspatminerale. PLAS (1966:16) schreibt:

"The investigator is inclined to expect every mineral fragment to be different from one another. If one applies this to the feldspar group, with its different structures, different chemical composition and different exsolution phenomena, one may become discouraged."

Nun, entmutigen lassen sollte man sich bestimmt nicht, aber es ist wichtig, sich die Methode(n) herauszusuchen, die für das Untersuchungsziel am geeignetsten erscheint. Welche Möglichkeiten dabei ausprobiert wurden, soll auf den folgenden Seiten beschrieben werden.

2.1. Probenvorbereitung

Alle Proben wurden einer Vorbehandlung unterzogen (Abb. 4). Durch manuelle Viertelung wurden von jeder Probe ca. 200 g Material abgetrennt. Diese repräsentative Menge wurde getrocknet und durch anschließendes Sieben in eine Silt/Ton- (< 0,063 mm), Sand- (0,063 - 2,00 mm) und Kiesfraktion (> 2,00 mm) geteilt. Alle drei Fraktionen wurden anschließend gewogen. Bei den weiteren Arbeiten wurde nur noch die Sandfraktion berücksichtigt. Durch Zugabe 10%iger Salzsäure, anschließendem Dekantieren, Trocknen und erneutem Wiegen konnte, sofern vorhanden, der ungefährige Karbonatanteil der Sandfraktion bestimmt werden. Um störende Eisen- und Manganverkrustungen zu beseitigen, wurde jede Probe unter häufigem Umrühren mit warmer 10%iger Salzsäure behandelt. Diese Säurebehandlung dauerte ca. 15 Minuten. Anschließend wurde der Sand dekantiert und getrocknet.

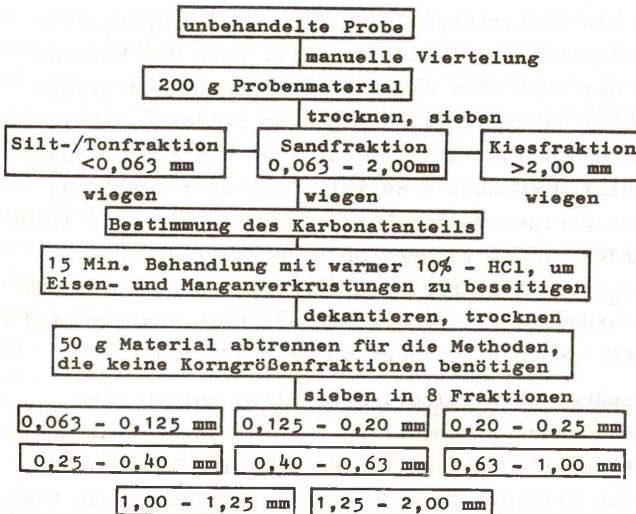


Abb. 4: Flußdiagramm der Probenvorbereitung.

Durch manuelle Viertelung wurden ca. 50 g von der Probe abgetrennt, um für die Methoden, die keine Korngrößenfraktionierung benötigen, Material zur Verfügung zu haben. Der Rest wurde mit Sieben der Maschenweite 0,063; 0,125; 0,20; 0,25; 0,40; 0,63; 1,00; 1,25 und 2,00 mm abgesiebt. Die so erhaltenen 8 Korngrößenfraktionen wurden anschließend gewogen.

2.2. Mikroskopische Bestimmung

In allen sedimentpetrographischen Arbeiten ist die mikroskopische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale nach wie vor die am häufigsten angewandte Methode. Mit einfachen Untersuchungen läßt sich jedes Mineralkorn meist gut bestimmen, und der technische Aufwand ist - abgesehen von einem guten Polarisationsmikroskop - recht gering. Nachteilig wirkt sich aus, daß auch bei größerer Routine die quantitative Bestimmung relativ viel Zeit kostet. Bei meinen Untersuchungen benötigte ich ca. 60 Minuten für jedes Präparat.

Die Hauptkennungsmerkmale für die mikroskopische Bestimmung der Feldspäte sind ihre Lichtbrechung, die Zwillingsbildung und das Achsenbild.

Um die Lichtbrechung als Unterscheidungskriterium heranziehen zu können, wurde als Einbettungsmittel für die Streupräparate Salicylsäuremethylester ($n = 1.536$) gewählt. Nach der Methode von Schröder van der Kolk oder mit Hilfe der Beckschen Lichtlinie (RINNE & BEREK 1973:114-118) konnte so zwischen K-Feldspäten mit n_x und $n_z < 1,536$, Alkalifeldspäten und albitreichen Plagioklasen ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ -Gehalt ≥ 86 Mol%) mit $n_z > 1,536$ und $n_x < 1,536$ und den übrigen Mineralkörnern mit n_x und $n_z > 1,536$ unterschieden werden. Um zu testen, ob auch Plagioklase mit höheren $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ -Gehalten und damit höheren Brechungsindices vorhanden sind, wurde bei einigen Proben als Einbettungsmittel Anethol ($n = 1.560$) gewählt (s. auch TRÖGER 1971:123 + 127).

Häufig sind Feldspäte verzwillingt. Mikrokline zeigen eine typische Zwillingsgitterung, monokline Alkalifeldspäte sind einfach verzwillingt und Plagioklase weisen eine lamellare Verzwilligung nach dem Albitgesetz auf, die in Verbindung mit Verzwilligung nach dem Karlsbader Gesetz zu typischen Doppel-

zwillingen führen kann.

Im Unterschied zum einachsigen Quarz sind alle Feldspäte optisch zweiachsig.

Außerdem sind bei den Feldspäten häufig folgende Erkennungsmerkmale zu beobachten: Beginnende Serizitisierung oder Kaolinisierung, eine mehr oder weniger starke Trübung und das charakteristische perthitische Interngefüge der Alkalifeldspäte. Zur Bestimmung des Anorthit-Gehaltes der Plagioklase wurden an einigen Körnern, die Zwillingsbildung zeigten, die Auslöschungsschiefe senkrecht zur (001)- und (010)-Spaltebene gemessen (CHUDOBA 1932:21-25).

Zur quantitativen Bestimmung wurden aus den durch die Siebung gewonnenen Korngrößenklassen Streupräparate hergestellt. Mit Hilfe eines Kreuztisches wurden auf parallel angeordneten Meßlinien die Körner bestimmt, die im Fadenkreuz des Okulars erschienen. Je Probe und Korngröße wurden mindestens 300 Punkte ausgezählt. Durch Zusammenfassen der Ergebnisse aller Korngrößenfraktionen einer Probe konnte in Abhängigkeit vom prozentualen Gwichtsanteil jeder Fraktion der Feldspatanteil der gesamten Sandprobe bestimmt werden.

2.3. Schwereretrennung

Die Abtrennung bestimmter Mineralfraktionen aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte ist schon seit längerem aus der Bergbauindustrie und aus Schwermineraluntersuchungen bekannt. Durch Flüssigkeiten, deren Dichte zwischen den spezifischen Gewichten der zu trennenden Minerale liegt, wird das Lockermaterial in zwei Fraktionen getrennt. Die leichteren Minerale bleiben an der Oberfläche, die schwereren sinken ab.

In den untersuchten Sanden kommen hauptsächlich Quarz ($d = 2,65^{+}) \text{ g/cm}^3$), Feldspäte (von Kaliumfeldspat ($d = 2,65^{+}) \text{ g/cm}^3$) über Albit ($d = 2,62^{+}) \text{ g/cm}^3$) bis Anorthit ($d = 2,76^{+}) \text{ g/cm}^3$) und Schwerminerale (meistens $d > 2,82 \text{ g/cm}^3$) vor.

+) Die angegebenen spezifischen Gewichte sind Durchschnittswerte, die sich je nach chemischer Zusammensetzung geringfügig nach oben oder unten ändern können.

Um diese Minerale zu fraktionieren, wurden aus Bromoform ($d = 2,82^{+}$ g/cm³) und Dimethylformamid ($d = 0,95^{+}$ g/cm³) 4 Schwereflüssigkeiten zusammengemischt, deren spezifische Gewichte bei 2,59; 2,63; 2,67 und 2,82 g/ml lagen. Die Dichte der Schwereflüssigkeiten wurde laufend mit einem Aräometer überprüft. Nach der Methode, wie sie HENNINGSEN (1973:5-7) beschreibt, wurde beginnend mit der Schwereflüssigkeit $d = 2,59$ g/ml jede Probe in 5 Fraktionen geteilt, in denen sich folgende Minerale ansammeln sollten:

$d < 2,59$	K-Feldspäte
$d = 2,59 - 2,63$	Albit
$d = 2,63 - 2,67$	Quarz und albitreiche Plagioklase
$d = 2,67 - 2,82$	anorthitreiche Plagioklase
$d > 2,82$	Schwerminerale

Durch Auszählen unter dem Mikroskop wurde überprüft, ob eine vollständige Trennung in die oben erwähnten Mineralfraktionen stattgefunden hatte.

2.4. Elektrostatische Verfahren

Elektrostatische Trennverfahren von Korngemischen im Bereich 0,1 - 3 mm lassen sich überall dort anwenden, wo Minerale mit verschiedenen elektrischen Eigenschaften getrennt werden sollen. Prinzipiell wird dabei so vorgegangen, daß das Aufgabegut durch ein starkes elektrisches Gleichstromfeld mit einer positiven und einer negativen Elektrode geleitet wird. Negativ geladene Proben- teilchen werden von der positiven Elektrode, positiv geladene Teilchen von der negativen Elektrode angezogen, so daß es zu einer Trennung des Aufgabengutes kommt.

Diese Sortierung der einzelnen Mineralkomponenten hängt erstens von der Dielektrizitätskonstante ab, die eine dimensionslose Größe ist und von den Silikaten und Karbonaten über Oxide, Sulfide bis zu den gediegenen Metallen ansteigt, und zweitens von der Oberflächenleitfähigkeit, die vom Nichtleiter (wie z.B. Quarz, etwa 10^{-16} $\Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) bis zum Leiter (wie z.B. Silber, etwa 7×10^5 $\Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) reicht. Eine elektrostatische Trennung der meisten Erz- und Gangminerale ist aufgrund der großen Unterschiede zwischen diesen physikalischen Größen möglich.

Schwierig wird es allerdings, verschiedene Silikate, in diesem Fall Feldspäte und Quarz, voneinander zu trennen, deren elektrische Eigenschaften sehr ähnlich sind. Die Dielektrizitätskonstante beträgt für "Orthoklas" ca. 6,2 und für Quarz ca. 6,5, die elektrische Leitfähigkeit von "Orthoklas" liegt bei rund 10^{-15} ($\Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) und von Quarz bei rund 10^{-16} ($\Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$). Diese Unterschiede reichen für eine befriedigende Trennung nicht aus.

Abhilfe bringt nach STIELER (1955:134), FORSTER & TRÖNDLE (1969:21) und anderen die Behandlung des Aufgabegutes mit Flußsäuredampf. Die elektrische Leitfähigkeit der Feldspäte wird dadurch künstlich erhöht. Durch Aufheizung des Materials läßt sich ebenfalls eine Verbesserung der Sortierung erreichen. DRUZHININ (1960) und FORSTER & TRÖNDLE (1969:21) geben als optimalen Temperaturbereich für eine Feldspat/Quarz-Trennung 80 - 140°C an.

Mit einem elektrostatischen Laborwalzenscheider der Firma Krupp Typ ESTS 1w x 0,1/40 wurde an einigen Proben dieses Trennverfahren ausprobiert. Die Trennung erfolgte durch Sprühfeldscheidung. Abb. 5 zeigt das Schema dieses Verfahrens. Vom Aufgabetrichter kommend rutschen die Körner auf die positiv geladene, sich schnell drehende Scheidewalze. Durch die negative Sprühelektrode werden die Mineralkörner aufgeladen. In Abhängigkeit von der Oberflächenleitfähigkeit wird diese Aufladung dann mehr oder weniger schnell an den Pluspol zurückgegeben, so daß gutleitende und ungeladene Minerale sich rechts und schlecht leitende, stark negative Minerale sich links ansammeln. Bei erfolgreicher Trennung eines Quarz/Feldspatgemisches müßten sich also die Feldspäte im Kasten III und die Quarze im Kasten I ansammeln.

In verschiedenen Versuchsdurchläufen wurden unbehandelte und mit Flußsäure vorbehandelte Sandproben getrennt. Da es schwierig und gefährlich ist, größere Mengen Sand in Flußsäuredampf vorzubehandeln, wurde statt HF-Dampf eine 10%ige Flußsäurelösung genommen, die jeweils 15 Sekunden auf die Probe einwirkte. Danach wurden die Proben wiederholt mit destilliertem Wasser ge-

spült und anschließend getrocknet. Die Temperatur im Aufgabetrichter betrug bei den unbehandelten Proben rund 50°C , bei den behandelten rund 100°C . Die Spannung variierte zwischen 20 und 25 KV, die Geschwindigkeit der Walze betrug 200 - 250 Umdrehungen pro Minute.

Durch Anfärben (s. Kap. 2.8.) wurde überprüft, inwieweit eine Trennung stattgefunden hatte.

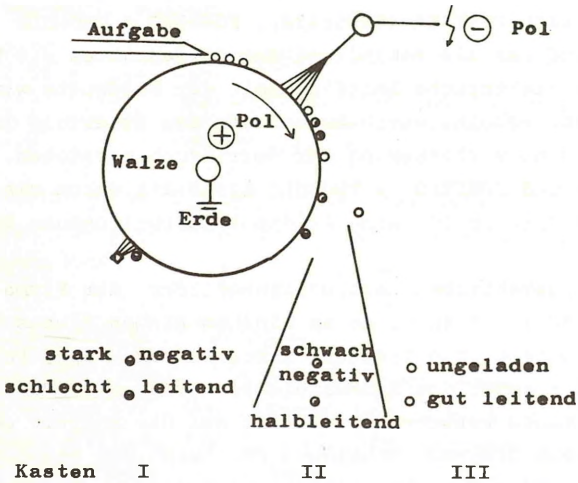


Abb.5: Schema der Sprühfeldscheidung.

2.5. Flotation

Die Trennung eines Mineralgemisches in seine Einzelkomponenten kann ebenfalls durch Flotation erreicht werden. Bei diesem Verfahren macht man sich die unterschiedliche Benetzbarkeit der einzelnen Minerale zu Nutze. Durch Einbringen des Mineralgemisches in Wasser, dem bestimmte Chemikalien (sog. Sammler) zugesetzt sind, wird die Benetzbarkeit der einzelnen Minerale erhöht oder erniedrigt. Werden dieser Suspension Schaumbildner zu-

gegeben, bilden sich beim Einblasen von Druckluft Schaumblasen, an denen sich die hydrophoben Teilchen anlagern und mit aufschwimmen. Zusammen mit dem Schaum können diese Minerale dann abgeschöpft werden. Die Methode wird vor allem bei feinkörnigem Material im Bereich von 0,005 - 0,5 mm Durchmesser angewandt. Sie ist im Bergbau eine der häufigsten Aufbereitungstechniken.

Da am Geologischen Institut der Universität Hannover keine Laborflotationszelle vorhanden ist, wurde eine sog. Hallimond-Röhre benutzt (Abb.6), die zur Flotierung kleiner Probenmengen (bis 1 g) geeignet ist. Die Probe wird bei A auf den porösen Filter gebracht. Nach dem Konditionieren mit der Flotationslösung wird ein Luftstrom, der kleine Blasen erzeugt, eingeleitet. Die hydrophoben Teilchen (hier Feldspat) werden an den Luftblasen mit hochgerissen. An der Oberfläche platzen die Luftblasen, die Feldspatkörner sinken ab und sammeln sich bei B. Bei diesem Verfahren sind keine Schaumbildner nötig.

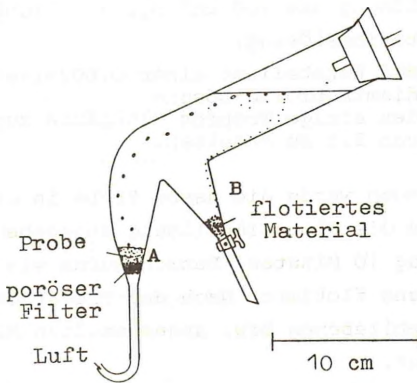


Abb.6: Die Hallimond-Röhre.

Als Sammlerchemikalie werden im allgemeinen Amine genommen. Da diese im Wasser nur sehr gering löslich sind, werden deren gut lösliche Salze zur Flotation benutzt. Für meine Untersu-

chungen wurde das Produkt Dehymin G 24 A⁺⁾ verwendet, bei dem es sich um ein C12 - C14 Äthelendiamin handelt.

Nach den Verfahren, wie sie PLAS (1966:66-73), HERBER (1969), FORSTER & TRÖNDLE (1969), NEY (1973:162-170), SEVERIN (1975) und andere beschreiben, wurde für einige Proben folgender Versuchsablauf für eine Feldspat/Quarz-Trennung gewählt:

a) Vorbehandlung der Probe:

- durch manuelle Viertelung Gewinnung von rund 1 g Probenmaterial
- Abtrennung der Schwerminerale und Glimmer durch Bromoform und Dimethylformamid (s.Kap. 2.3.)
- die Probe 12 Stunden in 1N-HCl stehenlassen
- wenige Minuten vor der Flotation Probe mit destilliertem Wasser ausspülen
- bis zum Beginn der Konditionierung Aufbewahrung in einer Lösung aus 100 cm³ H₂O + 2 Tropfen 40% HF.

b) Vorbehandlung der Hallimond-Röhre:

- Reinigung mit 1 N-NaOH
- spülen mit destilliertem Wasser
- reinigen mit Alkohol
- spülen mit destilliertem Wasser
- spülen mit einer Lösung aus 100 cm³ H₂O + 2 Tropfen 40% HF.

c) Herstellung der Flotationslösung:

- durch Zugabe von HCl Herstellung einer 0,002%igen C12 - C14 Äthylendiaminchlorid-Lösung
- dieser Lösung werden einige Tropfen Flußsäure zugegeben, um einen pH Wert von 2,5 zu erhalten.

Nach diesen Vorbereitungen wurde die nasse Probe in die Flotationszelle gebracht und die Flotationslösung zugegeben. Die Konditionierungszeit betrug 10 Minuten. Danach wurde wie oben beschrieben 10 Minuten lang flotiert. Nach der Flotation wurden die in A und B zurückgebliebenen bzw. angesammelten Minerale mikroskopisch untersucht.

2.6. Röntgenographische Methoden

Mit Hilfe des Diffraktometerverfahrens (MÜLLER 1964:196-209) wurden qualitative und quantitative Bestimmungen der Feldspäte durchgeführt.

⁺⁾ Bezugsquelle: Henkel KGaA, Postfach 1100, D-4000 Düsseldorf 1

Die qualitative Bestimmung der Feldspäte konnte nur anhand ihrer Hauptreflexe erfolgen, da bedingt durch den meist geringen Feldspatgehalt nur selten Nebenreflexe sichtbar waren, bzw. diese von den Quarzreflexen überdeckt wurden. Aus diesem Grunde konnten auch die Minerale der Plagioklasreihe nicht weiter unterschieden werden, da nur der bei allen Plagioklasen etwa gleiche Hauptreflex deutlich sichtbar war. Zum Nachweis von "Orthoklas" wurde der Reflex bei $3,78 \text{ \AA}$ herangezogen, da dessen Hauptreflex bei $3,31 \text{ \AA}$ vom Quarzhauptreflex überlagert wird. Folgende Reflexe wurden für die qualitative Feldspatbestimmung benutzt (s. Abb. 7):

"Orthoklas"	(130)	= $3,78 \text{ \AA} \cong 2\theta = 23,5^\circ$
Mikroclin	($2\bar{2}0,002,040$)	= $3,24 \text{ \AA} \cong 2\theta = 27,5^\circ$
Plagioklase	(002,040)	$\cong 3,19 \text{ \AA} \cong 2\theta = 27,9^\circ$

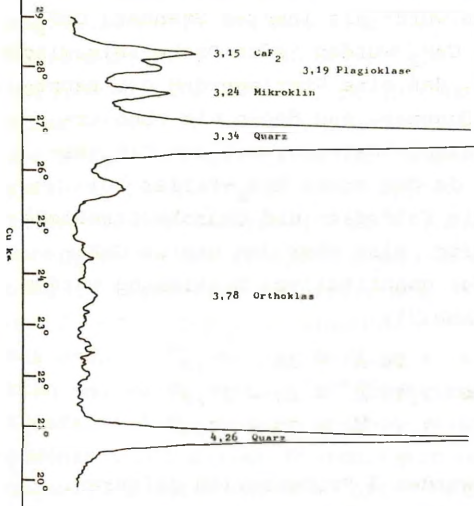


Abb.7: Diffraktometeraufnahme der Probe 86e mit CaF_2 als innerem Standard.

Quantitative Auswertungen nach dem Diffraktometerverfahren sind von keiner großen Genauigkeit, da durch Geräteinflüsse und wechselnde Stromspannungen sich die Intensität der Reflexe stark ändern kann. Um von diesen Schwankungen unbeeinflusst zu bleiben,

wurden von verschiedenen Autoren (WIEGMANN & KRANZ 1961; PETERS 1965; BRADSHAW 1967; MENYESCH 1978:18 und anderen) Röntgenaufnahmen durchgeführt, bei denen den Proben eine bestimmte Menge eines bekannten Minerals als innerer Standard beigemischt wurde. Die Höhe oder Fläche des Reflexes des Standardminerals wurde dann ins Verhältnis zur Höhe oder Fläche des zu ermittelnden Minerals gesetzt, so daß man von äußeren Einflüssen unabhängig war. Durch Aufstellen von Eichkurven ließen sich dann in einem unbekanntem Mineralgemisch die Menge der vorkommenden Minerale bestimmen.

Alle Autoren warnen allerdings davor, sich allein auf diese Methode zu verlassen, da die Genauigkeit nicht sehr hoch ist. Von Vorteil hingegen ist die Schnelligkeit, mit der die Untersuchung durchgeführt werden kann.

In den hier untersuchten Proben wurde als innerer Standard CaF_2 (Korngröße $< 5 \mu$) verwendet. 5 % CaF_2 wurden jeder Probe beigemischt. Calciumfluorid hat den Vorteil, daß eine Überlagerung der Hauptreflexe der Feldspäte und des Quarzes, aus denen wie oben erwähnt die Sande fast ausschließlich bestehen, mit den CaF_2 -Reflexen nicht stattfinden kann, da der erste CaF_2 -Reflex bei $3,15 \text{ \AA} \cong 2\theta = 28,3^\circ$ auftritt. Die Feldspat- und Quarzhauptreflexe besitzen alle niedrigere 2θ -Werte, sind aber dem ersten CaF_2 -Reflex sehr eng benachbart. Zur quantitativen Bestimmung wurden folgende Reflexe verwendet (s. Abb. 7):

K-Feldspäte	($2\bar{2}0,002,040$)	=	$3,24 \text{ \AA}$	$\cong 2\theta = 27,5^\circ$
Plagioklase	($002,040$)	\approx	$3,19 \text{ \AA}$	$\cong 2\theta = 27,9^\circ$
Calciumfluorid (111)		=	$3,15 \text{ \AA}$	$\cong 2\theta = 28,3^\circ$

Zur Erstellung von Eichkurven wurden 3 Probenserien gefahren. In der ersten Serie wurden aus einem vollkommen triklinen, perthitischen Mikroklin (Handstück aus der Sammlung des Geologischen Institutes der Universität Hannover), Quarz (Handstück aus der Sammlung) und chemisch gefällttem Calciumfluorid 8 Röntgenproben (Korngröße $< 5 \mu$, Gewicht jeder Probe 0,500g) hergestellt, die folgende Zusammensetzung hatten (in Gew.-%):

Probe	Mikroklin	Quarz	Calciumfluorid
A1	3	92	5
A2	4	91	5
A3	5	90	5
A4	6	89	5
A5	7,5	87,5	5
A6	10	85	5
A7	15	80	5
A8	20	75	5

Die Menge jeder Komponente wurde bis auf 10^{-4} g genau ausgewogen. Nach dem Auswiegen wurden alle 3 Komponenten gut vermischt. Jede Probe wurde zweimal in verschiedenen Bereichen geröntgt. Nach dem Röntgen wurden die Länge des K-Feldspat- und Plagioklasreflexes ins Verhältnis zur Länge des CaF_2 -Reflexes gesetzt. Wird diese Größe in Abhängigkeit von den dazu gehörenden Feldspatgehalten in ein Diagramm eingetragen, ergibt sich die in Abb.8 dargestellte Eichkurve ⁺⁾ .

Das gleiche Verfahren wurde in einer zweiten Probenserie mit einem Gemisch aus einem antiperthitischen Albit (Handstück aus der Sammlung), Quarz (Handstück aus der Sammlung) und CaF_2 durchgeführt. Das Ergebnis zeigt Abb.9.

In der 3. Serie wurde Material genommen, das aus den zu untersuchenden niedersächsischen Sanden stammte. Durch Schweretrennung (s. Kap. 2.3. und 3.2.) konnte ein aus 93 Gew.-% Feldspat und 7 Gew.-% Quarz bestehendes Konzentrat hergestellt werden. Bei diesen Feldspäten handelte es sich um perthitischen Mikroklin und wenig "Orthoklas" (röntgenographisch nachgewiesen). Ebenfalls durch Schweretrennung wurde ein 100% Quarzkonzentrat gewonnen. Mit diesen Konzentraten wurde dann dasselbe Verfahren - allerdings mit etwas geänderten Feldspatgehalten - wie in den beiden anderen Probenserien durchgeführt. Abb.10 und 11 zeigen das Ergebnis.

⁺⁾ Die Aufstellung aller Eichkurven erfolgte mit einem vom Regionalen Rechenzentrum Niedersachsen (RRZN) zur Verfügung gestellten Programm.

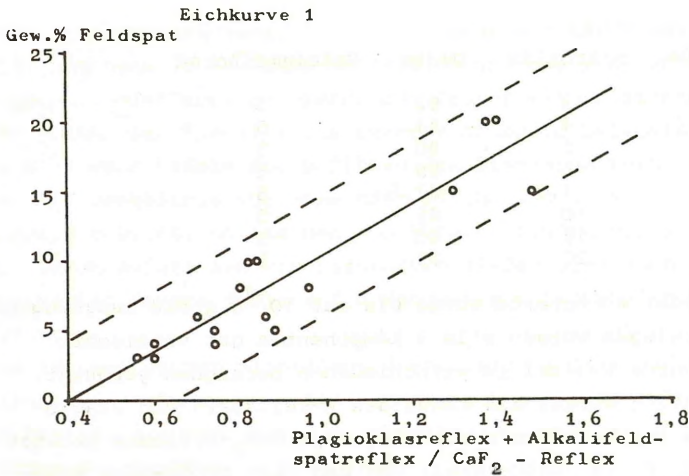


Abb.8: Eichkurve für perthitischen Mikroklin. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = -7,224 + 17,526x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test.

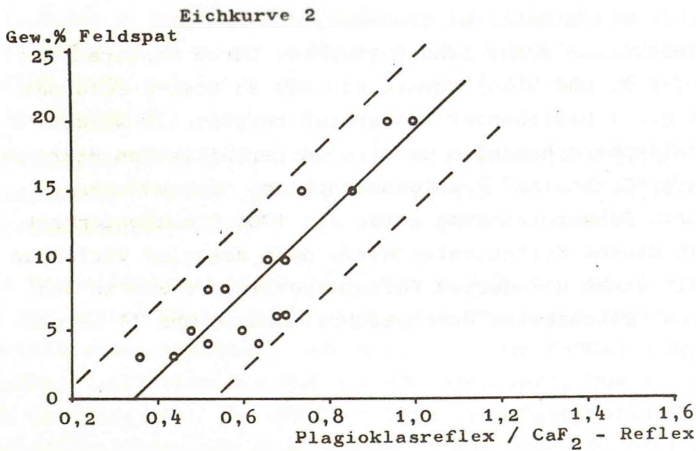


Abb.9: Eichkurve für antiperthitischen Albit. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = -10,172 + 29,236x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test.

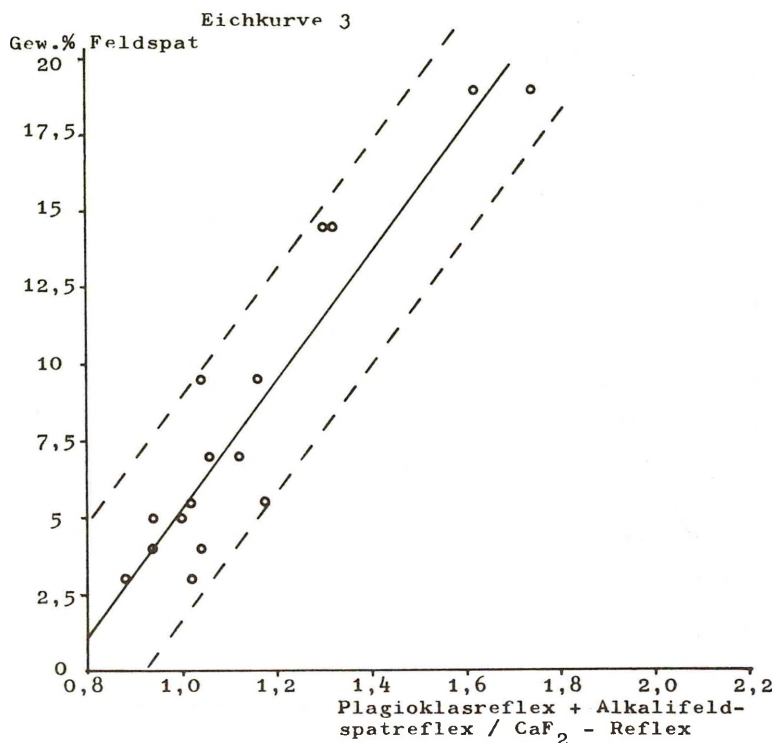


Abb.10: Eichkurve für Feldspäte aus niedersächsischen Sanden (Alkalifeldspat- und Plagioklasreflex zusammengefaßt). Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = - 15,905 + 21,054x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test.

Nachdem diese Eichkurven hergestellt waren, konnte an unbekanntem Sandproben eine qualitative und quantitative Bestimmung durchgeführt werden. Dazu wurde jede Probe fein gemahlen (<5 μ) und mit 5 % CaF₂ gut vermischt. Durch zweimaliges Röntgen im Bereich $2\theta = 20-29^\circ$ und anschließende Mittelwertbildung der Ergebnisse konnte eine größere Genauigkeit erreicht werden.

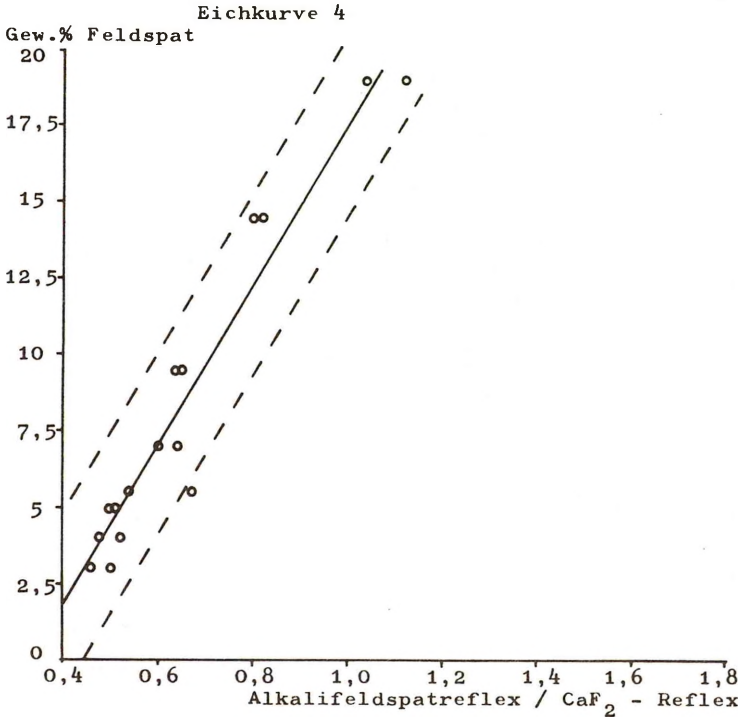


Abb.11: Eichkurve nur für Alkalifeldspäte aus niedersächsischen Sanden. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = -8,906 + 26,354x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test.

2.7. Chemische Analysen

Einige Proben wurden freundlicherweise vom Labor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover) chemisch analysiert. Vor der Analyse wurden die Schwerminerale und Glimmer durch Schwerelösungen abgetrennt (s. Kap. 2.3.), um ein Zweistoffgemisch aus Feldspäten und Quarz zu erhalten. Die Proben wurden einmal röntgenfluoreszenzanalytisch (RFA) bestimmt, und zur Kontrolle wurden die Al_2O_3 -Gehalte unabhängig

davon auf naßchemischem Wege analysiert.

Die RFA-Analysenwerte wurden stöchiometrisch berechnet. Diese Ergebnisse geben allerdings nur Auskunft über den Gesamtfeldspatgehalt bzw. über die 3 chemischen Endglieder $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$ und $CaAl_2Si_2O_8$. Um welche Feldspäte es sich handelt, kann nicht exakt ausgesagt werden.

2.8. Bestimmung durch Anfärben

Schon von vielen Autoren sind Anfärbetechniken zur Unterscheidung von Quarz und Feldspat in Dünnschliffpräparaten beschrieben worden (GABRIEL & COX 1929; BAILEY & STEVENS 1960; NORMAN 1974; ZSCHACH 1977 und andere). PLAS (1966:49-52) und andere berichten auch über Anfärbemethoden an Körnerpräparaten.

Für das Anfärben von K-Feldspäten ist nach Meinung aller Autoren Natriumhexakobaltnitrat (III) am geeignetsten. Durch diese Chemikalie werden die K-Feldspäte leuchtend gelb eingefärbt und sind im Handstück und unter dem Mikroskop oder Binokular gut zu identifizieren. Zum Anfärben der Plagioklase eignen sich mehrere Chemikalien. Als mögliche Färbemittel werden Methylenblau, Malachitgrün, Na-Rhodizonat, Eosin gelblich, Amaranth und andere Chemikalien genannt.

Mit allen obengenannten Chemikalien wurden von mir Färbungen probiert. Als optimal erwies sich die Färbung mit Natriumhexakobaltnitrat (III) und Amaranth⁺). Im Folgenden ist der von mir angewandte Versuchsablauf beschrieben, der sich teilweise mit den Beschreibungen der obengenannten Autoren deckt.

a) Vorbereitung

Wie in Kap. 2.1. beschrieben, wurde durch Sieben die Sandfraktion jeder Probe in 8 Korngrößenklassen unterteilt. Mit jedem Korngrößenbereich jeder Probe wurde wie folgt verfahren: Ein Objektträger, der vorher mit einer dünnen Schicht Kunstharz (Kanadabalsam, Lakeside o.ä.) bedeckt worden ist, wird vorsichtig auf einer elektrischen Kochplatte erwärmt.

⁺) Bezugsquelle: EGA Chemie, D-7924 Steinheim.

Amaranth kommt auch unter den Namen Azorubin S, Echtröt C, Naphtolrot S vor.

Wenn das Kunstharz gerade flüssig wird, wird die Probe (bzw. ein repräsentativer Teil) auf den Objektträger gestreut, so daß die Körner gut verteilt sind. Damit die Körner nur ganz leicht in das Kunstharz einsinken, wird der Objektträger dann sofort von der Herdplatte genommen. Die einzelnen Körner sind nun fest auf dem Objektträger befestigt.

b) Färbung

In einem abdeckbaren, flußsäurefesten Behälter (z.B. Butterfaß oder ähnlichem aus Polyäthylen) wird der präparierte Objektträger mit den Körnern nach unten auf ein Rost (aus Plastiktrinkbecher oder ähnlichem) gelegt. Nun wird technische Flußsäure (ca. 40 %) eingefüllt, bis noch ca. 1 cm Abstand zwischen Sandkörnern und Flußsäure ist. Der Deckel wird auf den Behälter gelegt und die Probe wird 5 Minuten im Flußsäuredampf geätzt. Die Flußsäure sollte nicht länger als einen Tag im Behälter stehengelassen werden, da sie sonst zum Teil verdampft und nicht mehr genügend ätzt. Nach dem Ätzen wird die Probe kurz in den Trockenschrank gelegt.

Untersucht man eine solchermaßen angeätzte Probe unter dem Binokular, so ist festzustellen, daß die Feldspäte durch die Säure stark angegriffen werden, was sich an einem deutlich sichtbaren, weißen Ätzrückstand, der die Feldspatkörner überzieht, zeigt (zum chemischen Ablauf s. FAHEY & SCLAR 1972). Quarzkörner zeigen überhaupt keine Veränderungen. Andere Minerale wie z.B. Glimmer und Glaukonit werden teilweise auch durch die Säure angegriffen, sind aber durch ihr typisches Aussehen eindeutig zu identifizieren.

Nach dem Ätzen wird der Objektträger in ein kleines Glaschälchen gelegt und dann durch eine gesättigte und frisch zubereitete Lösung von Natriumhexakobaltnitrat (III) eingefärbt (ca. 1 Minute). Es reicht aus, wenn die Körner gerade von der Flüssigkeit bedeckt sind. Nach dem Färben wird die Probe vorsichtig unter fließendem Wasser abgespült und dann getrocknet.

Durch chemische Reaktion mit Natriumhexakobaltnitrat (III) sind nun alle K-Feldspäte leuchtend gelb gefärbt, während die Plagioklase weiterhin von ihrem weißen Ätzrückstand bedeckt sind.

Diese Färbung kann für bestimmte Zwecke schon ausreichend sein. Um aber die Plagioklase noch besser identifizieren zu können, empfiehlt es sich, eine weitere Färbung anzuschließen, die aber etwas problematischer durchzuführen ist. Als Färbemittel für die Plagioklase wurde Amaranth verwendet. Die Färbung wird durch eine chemische Reaktion des Färbemittels mit den Calcium-Ionen der Plagioklase bewirkt. Diese Färbung ist meist nur schwach. Es empfiehlt sich daher, das Calcium gegen Barium auszutauschen, da Barium auf die Farbreaktion besser reagiert. Folgender Versuchsablauf wurde gewählt:

Die warme Probe wird für 5 - 10 Sekunden in eine gesättigte Bariumchloridlösung gelegt und dann sehr kurz in Wasser getaucht. Auf der Probe verbleibendes Wasser wird mit Prelluft weggeblasen. Dann wird die Probe getrocknet. Durch erneutes

sehr kurzes Abspülen mit Wasser und anschließende Preßluftbehandlung wird sämtliches überschüssiges $BaCl_2$ entfernt. Nach dem Trocknen wird die warme Probe für 10 Sekunden in eine gesättigte Amaranthlösung getaucht. Durch eine kurze Wasserspülung und Preßluft wird verbliebenes, überschüssiges Amaranth entfernt.

Durch die beiden Färbungen sind Plagioklase rot und K-Feldspäte gelb eingefärbt. Quarz wird nicht beeinflusst. Da die Natriumkobaltnitratlösung auf Kalium reagiert und die Amaranthlösung auf Calcium, ist es möglich, daß reine Albite, die diese Elemente nicht enthalten, nicht angefärbt werden. Aus diesem Grunde wurden an einigen Albiten aus der Sammlung des Geologischen Instituts der Universität Hannover Färbversuche durchgeführt. Alle Albite reagierten auf das Amaranth und wurden rot gefärbt. Vermutlich enthielten diese Albite noch geringe Mengen Calcium. Es ist aber zu vermuten, daß reine Na-Albite nicht mehr eingefärbt werden und somit nicht erfaßt werden können. Die überwiegende Mehrzahl der Feldspäte kann aber durch Färbung nachgewiesen werden.

Teilweise wurden auch andere Minerale, die Kalium oder Calcium enthalten, mitangefärbt. In den Sanden waren dies Muskovit und Glaukonit, die häufig eine Farbreaktion zeigten. Diese Minerale konnten allerdings anhand anderer Merkmale unter dem Binokular leicht ausgegliedert werden.

c) quantitative Bestimmung

Waren alle Korngrößenklassen jeder Probe gefärbt, wurde durch Auszählen unter dem Binokular der Gehalt an K-Feldspat, K-Feldspat in Verwachsung mit anderen Mineralen, Plagioklas, Plagioklas in Verwachsung mit anderen Mineralen und Restmineralen (vor allem Quarz) quantitativ für jede Korngrößenfraktion bestimmt. Durch Zusammenfassen der Ergebnisse der einzelnen Korngrößenbereiche konnte der Gesamtfeldspatgehalt der Probe ermittelt werden.

Diese Methode, alle Körner auszuzählen, erwies sich als sehr zeitaufwendig, da zum Beispiel in der Feinsandfraktion einige tausend Sandkörner auf einem Objektträger liegen können. Die Möglichkeit, nur einen Teil der auf dem Objektträger angesammelten Körner auszuzählen (zum Beispiel 500 Stück), wurde verworfen, da oft eine - wenn auch nur geringe - Sortierung von K-Feldspat- und Plagioklaskörnern in bestimmten Bereichen des Objektträgers zu beobachten war. Deswegen erschien es sinnvoller, die gesamte Probe zu berücksichtigen, um die Genauigkeit nicht einzuschränken.

Um diese Auszählerei zu vereinfachen, wurde daher folgendermaßen verfahren: Jeder Objektträger wurde vor und nach dem Aufbringen der Sandprobe gewogen, um das Gewicht der Probe bis auf 4 Stellen nach dem Komma (in Gramm) genau zu bestimmen. Nach dem Färben wurden nur die gelben (K-Feldspäte) und roten (Plagioklase) Körner ausgezählt. Da durch die Siebungen die durchschnittliche Korngröße jeder Fraktion bekannt war,

konnte mit Hilfe des spezifischen Gewichtes und unter der Annahme, daß die Mineralkörner rund sind, das durchschnittliche Gewicht eines K-Feldspat- und Plagioklaskorns berechnet werden. Über die Prozentrechnung erhält man dann eine quantitative Bestimmung der K-Feldspat- und Plagioklasgehalte für jeden Korngrößenbereich nach der Formel:

$$\text{K-Feldspat- oder Plagioklasgehalt in Gew.-%} = \frac{4}{3} \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^3 \times \gamma \times 100 \times \frac{K}{G}$$

D = durchschnittlicher Durchmesser in cm

γ = durchschnittliches spezifisches Gewicht der K-Feldspäte (= 2,57 g/cm³) oder Plagioklase (= 2,65 g/cm³)

K = gezählte K-Feldspat- oder Plagioklaskörner

G = Gewicht der Probe in g.

Nachdem alle 8 Korngrößenklassen jeder Probe quantitativ bestimmt worden waren, konnten die Feldspatgehalte der gesamten Sandprobe berechnet werden:

$$\text{K-Feldspat- oder Plagioklasgehalt der gesamten Probe in Gew.-%} = \frac{X_1 \times P_1 + X_2 \times P_2 \dots + X_8 \times P_8}{100}$$

X = K-Feldspat- oder Plagioklasgehalt des jeweiligen Korngrößenbereichs in Gew.-%

P = Gew.-% der Fraktion nach Korngrößenanalyse

Auch dieses Verfahren ist noch recht mühsam, da für jede Probe alle 8 Korngrößenbereiche auf ihre Feldspatgehalte hin untersucht werden müssen. In der Regel sind mehr als 80 % des Sandes einer Probe auf 2 - 4 Korngrößenbereiche beschränkt. Die übrigen Korngrößenfraktionen enthalten keine oder nur minimale Mengen Sand. Um das Verfahren noch weiter zu vereinfachen, wurden daher nur die Korngrößenbereiche zur Bestimmung der Feldspatgehalte genommen, in denen der Großteil des Sandes der Probe angereichert ist. Das Bestimmungsergebnis dieser 2 - 4 Korngrößenbereiche wurde als Gesamtergebnis für den Bereich 2,00 - 0,063 mm genommen.

Zur Kontrolle wurden bei mehreren Proben die Feldspatgehalte aller 8 Korngrößenfraktionen bestimmt und daraus die Feldspatgehalte für die Gesamtprobe berechnet. Vergleicht man diese Werte mit denen, die sich ergeben hätten, wenn man nur die 3 oder 4 wichtigsten Korngrößenbereiche berücksichtigt hätte, ergeben sich nur minimale Unterschiede.

Mit dieser zuletzt genannten Methode wurden die Gehalte an K-Feldspat, K-Feldspat in Verwachsung mit anderen Mineralen, Plagioklas und Plagioklas in Verwachsung mit anderen Mineralen bestimmt.

3. ERGEBNISSE DER DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN

3.1. Mikroskopische Bestimmung

46 Proben aus unterschiedlichen stratigraphischen, regionalen und sedimentologischen Bereichen wurden in verschiedenen Korngrößenbereichen (nur Fein- und Mittelsandfraktion) untersucht.

Feldspäte waren in allen Proben vorhanden. Es konnten "Orthoklas", Mikroklin, K-Feldspat-Perthit, Albit, Oligoklas und Andesin nachgewiesen werden. Andere Feldspatvarietäten kamen nicht vor. Die Form der Feldspatkörner war meist etwas eckiger und abgeplatteter als die der Quarzkörner. Nicht selten konnten Risse und Spaltflächen beobachtet werden. Die meisten Feldspäte zeigten keine Zwillingsbildung. Nur selten konnte Mikroklin anhand der typischen Mikroklingitterung nachgewiesen werden. Nur wenige Plagioklase waren lamellar verzwillingt.

Die meisten Feldspäte zeigten eine mehr oder weniger starke Trübung, so daß teilweise die Internstruktur der Körner nicht mehr zu erkennen war. Ursache hierfür ist neben Einschlüssen von Gas, Flüssigkeit und/oder Fremdmineralen eine beginnende Serizitisierung und Kaolinisierung. Diese Verwitterungserscheinungen konnten besonders deutlich an tertiärzeitlichen Proben beobachtet werden. Im Kontrast dazu kamen K-Feldspäte vor, die sehr klar waren, keine Spaltrisse zeigten und nur anhand der Lichtbrechung von Quarz zu unterscheiden waren. Selten konnten undulös auslöschende Feldspatkörner beobachtet werden.

Neben den Feldspäten konnten folgende Komponenten unterschieden werden:

- Quarz. Die Körner zeigen meist runde Formen. Sie sind meist klar, Einschlüsse sind nur selten zu beobachten. Undulös auslöschende Quarze kommen häufig vor.
- Schwerminerale. Sie wurden nicht weiter untersucht.
- Glaukonit. Die Körner sind kugelige Aggregate von brauner bis grüner Farbe. Unter gekreuzten Nicols sind die Körner fast dunkel. Nur an den Rändern ist zu erkennen, daß jedes Korn sich aus einem Haufwerk sehr kleiner Teilchen aufbaut.
- Glimmer. Sie wurden nicht weiter untersucht.
- Erzkörner und vererzte Körner. Erzkörner und Körner, die trotz der Probenvorbehandlung durch Umkrustungen aus Eisen- und Manganhäutchen nicht zu identifizieren waren, wurden

dieser Rubrik zugeordnet.

- Gesteinsbruchstücke. Quarzite, Kieselschiefer, Pelitgerölle und Magmatite/Metamorphite kamen als Gesteinsbruchstücke vor. Quarzite und Magmatite/Metamorphite mit überwiegendem Quarzgehalt wurden in der Auszählung dem Quarzanteil zugeordnet. Nicht selten waren in Zwickeln und Buchten der Magmatite/Metamorphite Feldspatreste zu beobachten, die allerdings für die Auszählung nicht berücksichtigt wurden.

Die quantitativen Ergebnisse der gesamten mikroskopischen Untersuchung zeigt Tab.2. Danach sind nach Quarz die Feldspäte die häufigste Mineralgruppe. Ihr Gehalt nimmt zu den feineren Korngrößen hin deutlich zu. Von den Feldspäten überwiegen die K-Feldspäte. Das Verhältnis K-Feldspäte zu Plagioklase ist 12:1. "Orthoklas", der unter dem Mikroskop monokline Optik zeigt, ist das häufigste Feldspatmaterial. Röntgenographische Untersuchungen (s. Kap. 3.5.) zeigen allerdings, daß ein großer Teil der mikroskopisch als "Orthoklase" anzusprechenden K-Feldspäte submikroskopisch nach

Anzahl der untersuchten Proben	24	32	24	13
Korngrößenbereich in mm	0,40-0,25	0,25-0,20	0,20-0,125	0,125-0,063
Quarz	92,4	91,1	89,7	83,2
"Orthoklas"	5,1	6,4	7,2	9,4
Mikroklin	0,3	0,2	0,3	0,2
Perthit	0,1	0,1	vorhanden	-
Albit	0,2	0,3	0,4	0,6
Oligoklas	0,1	0,2	0,3	0,4
Andesin	vorhanden	vorhanden	-	vorhanden
Vererzte Körner	0,6	0,3	0,3	0,9
Pelitgerölle, Kieselschiefer	1,1	1,1	1,4	4,1
Schwerminerale	0,1	0,2	0,2	0,3
Glaukonit	0,1	0,1	0,2	0,3
Glimmer	vorhanden	0,1	vorhanden	-

Tab. 2: Zusammenfassendes Ergebnis der mikroskopischen Auszählung (in Vol.-%).

dem Mikroklingesetz verzwillingt ist und in Diffraktometeraufnahmen als Mikroklin erscheint.

Die Ergebnisse der einzelnen Proben variieren nicht stark. Probe 1 (Korngrößenbereich 0,063 - 0,125 mm) zeigt den Maximalwert für die Feldspatgehalte mit 20,6 Vol.-% Feldspatanteil, Probe 33c (Korngrößenbereich 0,25 - 0,40 mm) den Minimalwert mit 3,4 Vol.-% Feldspatanteil. Der höchste Plagioklasanteil wurde in Probe 5a (Korngrößenbereich 0,063 - 0,125 mm) mit 2,9 Vol.-% ermittelt.

Aussagen zur regionalen, stratigraphischen und sedimentologischen Abhängigkeit der Feldspatgehalte lassen sich mit den mikroskopisch untersuchten Proben nicht machen, da ihre Menge zu gering ist.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß in der qualitativen und quantitativen Feldspatbestimmung die Mikroskopie gute und genaue Ergebnisse liefert. Die quantitative Auswertung ist allerdings sehr mühsam. Deswegen wurden nur 46 Proben untersucht.

3.2. Schwereretrennung

6 Proben wurden nach diesem Verfahren untersucht. Es stellte sich heraus, daß eine vollständige Trennung in K-Feldspäte, Albit, Quarz und albitreiche Plagioklasse, anorthitreiche Plagioklasse und Schwerminerale nicht möglich ist. Dies hat seine Ursache in den anscheinend zu geringen Dichteunterschieden der zu trennenden Minerale, in den häufig vorkommenden Verwachsungen der Minerale untereinander und in den in die Minerale eingeschlossenen Fremdmaterialien, die das Korn leichter oder schwerer machen. Als Beispiel ist das Ergebnis der Schwereretrennung der Probe 1 (Korngrößenbereich 0,125 - 0,20 mm) in Abb.12 angeführt.

Nur in der Fraktion mit einem spezifischen Gewicht von $< 2,59 \text{ g/cm}^3$ kam es zu einer deutlichen Anreicherung der K-Feldspäte. Im Durchschnitt aller 6 Proben betrug der Anteil der K-Feldspäte in dieser Fraktion 72 Gew.-%. Besonders gute Trennerfolge in

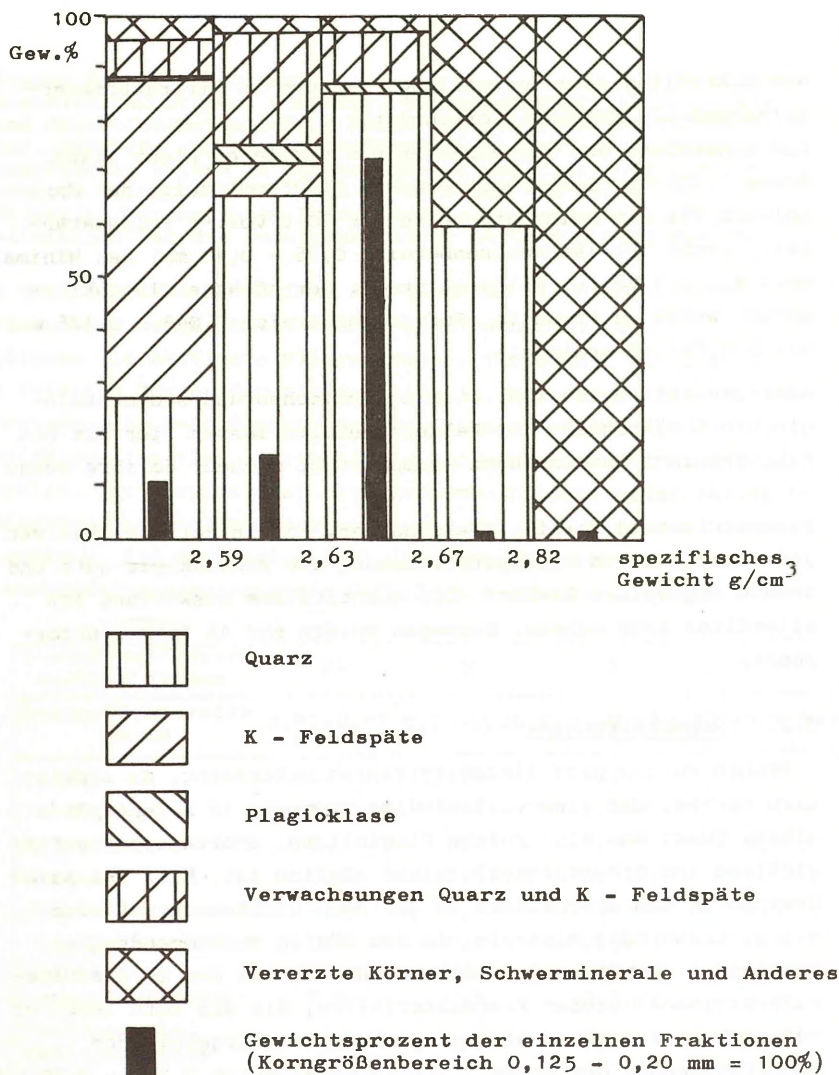


Abb. 15: Ergebnis der Schwerentrennung der Probe 1
(Korngrößenbereich 0,125 - 0,20 mm).

dieser Fraktion wurden bei den Proben 44a (Korngrößenbereich 0,20 - 0,25 mm) und 38b (Korngrößenbereich 0,25 - 0,40 mm) mit 93 und 92 Gew.-% Anteil der K-Feldspäte erzielt. In diesen beiden Proben gab es nur wenige Gesteinsfragmente und die Körner schienen runder und besser aufgearbeitet zu sein als in den anderen Proben. Dies dürfte die Ursache für die gute Trennung sein.

In der Fraktion mit dem spezifischen Gewicht 2,59 - 2,63 g/cm³ kommt es zu einer sehr geringen Anreicherung der albitreichen Plagioklase mit durchschnittlich 3,5 Gew.-%. Quarz und Verwachsungen von Quarz mit K-Feldspäten sind die weitaus dominierenden Körner. Von einer deutlichen Anreicherung oder gar Trennung kann also keine Rede sein.

In der Dichtefraktion 2,63 - 2,67 g/cm³ kommen Quarzkörner mit einem durchschnittlichen Anteil von 98 Gew.-% vor. Allerdings sind Quarze auch in allen anderen Dichtefraktionen vorhanden.

In den übrigen Bereichen mit einem spezifischen Gewicht >2,67 g/cm³ kommen Feldspäte nicht mehr vor.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß eine klare Abtrennung der Feldspäte von den übrigen Mineralen und damit eine genaue quantitative Bestimmung durch diese Methode nicht erreicht wird. Wird nur ein angereichertes K-Feldspat- oder Quarzkonzentrat gewünscht, kann dieses Verfahren angewandt werden. Allerdings ist der Zeitaufwand (einige Stunden) recht hoch.

3.3. Elektrostatische Verfahren

4 unbehandelte und 4 mit Flußsäure vorbehandelte Proben in den Korngrößenbereichen 0,063 - 0,125; 0,125 - 0,20; 0,20 - 0,25 und 0,25 - 0,40 mm wurden elektrostatisch getrennt.

Die Ergebnisse der unbehandelten Proben waren nicht zufriedenstellend. Wie zu erwarten war, reichen die natürlichen Unterschiede der elektrischen Eigenschaften der beiden Mineralgruppen Quarz und Feldspat zu einer Trennung nicht aus. Das in den Kästen I - III angesammelte Material zeigte - mit geringen Schwankungen nach oben oder unten - dieselbe Zusammensetzung wie das Ausgangs-

material. Zu einer Anreicherung in einem Bereich kam es nicht. Auch die Ergebnisse der mit Flußsäure vorbehandelten Proben waren schlecht. In Tab. 3 sind die Resultate dargestellt. Probe 54c (Korngrößenbereich 0,063 - 0,125 mm) zeigt das beste Ergebnis. Bei allen 4 Versuchsdurchläufen konnte im Kasten III eine Feldspatanreicherung festgestellt werden. Bei den meisten anderen Proben ist eine Anreicherung im Kasten III nur bei einer Spannung von 25 Kilovolt zu beobachten. Desweiteren fällt auf, daß im Durchschnitt im Kasten II die geringsten Feldspatgehalte festzustellen sind, während im Kasten I die Feldspatgehalte geringfügig zunehmen.

Die Ursache für die Anreicherung der Feldspäte im Kasten III ist in der Vorbehandlung mit der Flußsäure zu sehen. Durch die Flußsäure erhalten die Feldspäte eine gute Oberflächenleitfähigkeit, so daß sie ihre negative Aufladung, die sie an der Sprühelektrode erhalten haben, schnell an die positiv geladene Walze abgeben können und bei III herunterfallen. Durch die erhöhte Temperatur hat Feldspat im Vergleich zu Quarz eine geringere negative Ladung, so daß die Feldspatkörner sich leichter von der positiv geladenen Walze lösen können und im Kasten III landen.

Anscheinend sind aber nicht alle Feldspatkörner von der Flußsäure angegriffen worden. Diese Körner besitzen zwar durch die Aufheizung nur eine geringe negative Ladung im Vergleich zu Quarz, können aber die durch die negative Elektrode bedingte Aufladung nicht schnell genug abgeben und landen daher im Kasten I. Dies könnte als eine Ursache die widersinnige Anreicherung in den Kästen I und III erklären. Möglicherweise spielen aber auch die mineralogische Zusammensetzung der Feldspäte, geringe Beimengungen von Spurenelementen oder ähnliches eine Rolle.

Weitergehende Untersuchungen konnten leider nicht gemacht werden, da mir der Laborwalzenscheider nur für eine begrenzte Zeit zur Verfügung stand. Es ist aber zu erwarten, daß bei veränderten Aufbereitungs- und Versuchsbedingungen eine bessere Abtrennung der Feldspäte möglich ist. In der Industrie, wie

Probennr. Korngröße	K V	Umdrehungen der Walze pro Min.	Nr. des Kasten	Gehalt an (in Gew.-%)	
				Alkalifeldspat	Plagioklas
54 c	20	200	I	6,4	1,3
	20	200	II	3,9	1,3
	20	200	III	15,3	4,5
0,063 - 0,125 mm	20	250	I	6,2	2,5
natürlicher Feldspat- gehalt:	20	250	II	2,7	1,0
	20	250	III	16,4	4,0
	25	200	I	4,3	1,6
6,2 Gew.-% Alkalifspt.	25	200	II	4,6	1,9
	25	200	III	14,9	3,0
	25	250	I	3,4	1,3
0,9 Gew.-% Plagioklase	25	250	II	6,1	1,6
	25	250	III	17,7	3,5
	<hr/>				
76 a	20	200	I	ohne Material	
	20	200	II	9,9	2,3
	20	200	III	4,5	0,9
0,125 - 0,20 mm	20	250	I	11,2	3,5
natürlicher Feldspat- gehalt:	20	250	II	6,0	1,9
	20	250	III	6,4	1,1
	25	200	I	7,0	2,4
7,0 Gew.-% Alkalifspt.	25	200	II	5,7	1,1
	25	200	III	6,5	1,5
	25	250	I	5,6	1,9
1,9 Gew.-% Plagioklase	25	250	II	3,1	0,9
	25	250	III	8,0	3,6
	<hr/>				
76 a	20	200	I	4,3	1,3
	20	200	II	5,3	2,1
	20	200	III	5,7	1,8
0,20 - 0,25 mm	20	250	I	ohne Material	
natürlicher Feldspat- gehalt:	20	250	II	3,9	1,6
	20	250	III	4,6	2,0
	25	200	I	5,3	1,9
5,7 Gew.-% Alkalifspt.	25	200	II	4,5	0,9
	25	200	III	14,3	4,2
	25	250	I	5,6	2,1
2,0 Gew.-% Plagioklase	25	250	II	6,8	2,0
	25	250	III	10,6	2,4
	<hr/>				
50 b	20	200	I	ohne Material	
	20	200	II	5,4	2,4
	20	200	III	5,4	1,0
0,25 - 0,40 mm	20	250	I	ohne Material	
natürlicher Feldspat- gehalt:	20	250	II	5,3	1,6
	20	250	III	5,9	1,5
	25	200	I	6,5	2,0
5,4 Gew.-% Alkalifspt.	25	200	II	5,4	1,8
	25	200	III	5,4	2,4
	25	250	I	5,3	2,6
1,5 Gew.-% Plagioklase	25	250	II	4,7	1,4
	25	250	III	10,4	2,8

Tab. 3: Ergebnisse der elektrostatischen Trennung für die mit Flußsäure vorbehandelten Proben.

zum Beispiel bei der Firma Gebr. Dorfner oHG (Hirschau/Bayern), wird nach diesem Verfahren ein Konzentrat hergestellt, das zu 95 Gew.-% aus Feldspat besteht. Die hier erzielten Ergebnisse mit einer maximalen Anreicherung von 21 Gew.-% Feldspat sind aber nicht befriedigend. Sie reichen für eine quantitative Feldspatbestimmung bei weitem nicht aus.

3.4. Flotation

Vier Proben in den Korngrößenbereichen 0,125 - 0,20; 0,20 - 0,25 und 0,25 - 0,40 mm wurden flотиert. Tab. 4 zeigt den Anteil der Minerale, die sich in B angesammelt haben. Eine Anreicherung von Feldspäten ist in allen 4 Proben festzustellen. Einen hohen Feldspatgehalt weisen die Proben 173 (Korngrößenbereich 0,125 - 0,20 mm) und 127b (Korngrößenbereich 0,25 - 0,40 mm) auf. Warum bei den anderen Proben die Feldspatanreicherung nur relativ gering ist, ist schwer zu erklären. Vermutlich ist die Ursache im nicht ganz exakten Arbeiten bei der Versuchsdurchführung zu suchen.

Probennr. Korngröße	Zusammensetzung des flотierten Materials in Vol.%				Feldspatgehalte des Ausgangsmaterials in Gew.%	
	Quarz	K-Feldspat	Plagioklas	Übriges	K-Feldspat	Plagioklas
123b 0,20-0,25	92,6	7,1	0,3	-	3,3	0,3
127b 0,125-0,20	83,2	15,2	0,3	0,6	6,0	0,6
173 0,125-0,20	30,1	59,6	8,6	1,5	2,5	0,2
127b 0,25-0,40	28,7	69,0	1,5	0,3	7,4	0,1

Tab. 4: Ergebnisse der Flotation. Mineralzusammensetzung des flотierten Materials und des Ausgangsmaterials.

Eine Untersuchung des in A zurückgebliebenen Materials zeigte, daß nicht alle Feldspäte flotiert wurden. Ein großer Teil blieb zurück. Eine vollständige Quarz/Feldspattrennung erfolgte also nicht.

Inwieweit eine Veränderung der Versuchsbedingungen und mehrmalige Wiederholung der Flotation eine Verbesserung des Trennergebnisses gebracht hätten, wurde nicht untersucht, da das ganze Verfahren sich als zu aufwendig erwies. Ob eine vollständige Quarz/Feldspattrennung möglich ist, scheint zweifelhaft. Auch in der Bergbaupraxis bleibt meist - trotz mehrmaliger Flotation - ein nicht unerheblicher Teil des zu gewinnenden Materials im Aufgabegut zurück.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß die Flotation eine sehr aufwendige Methode ist. Zwar konnte in zwei Fällen ein angereichertes Feldspatkonzentrat gewonnen werden, aber im Ausgangsmaterial blieben noch viele Feldspäte zurück, so daß eine quantitative Auswertung nicht möglich war.

3.5. Röntgenographische Bestimmung

38 Proben aus unterschiedlichen stratigraphischen, genetischen und regionalen Bereichen wurden röntgenographisch untersucht.

25 Proben war CaF_2 als innerer Standard beigemischt.

An Feldspäten konnten Mikroklin, "Orthoklas" und Plagioklas nachgewiesen werden. Um welche Plagioklase es sich handelt, konnte nicht festgestellt werden, da die Plagioklasreflexe nicht sehr stark waren und außer dem Hauptreflex bei $2\theta = 27,9^\circ$, der für alle Plagioklase mit sehr geringen Schwankungen derselbe ist, alle Nebenreflexe in den Grundschwankungen untergingen oder von anderen Reflexen überlagert wurden. Vermutlich handelt es sich um natriumreiche Plagioklase, insbesondere um Albit. Für diese Annahme spricht die Tatsache, daß auch Proben, in denen durch andere Untersuchungen kein oder nur sehr wenig Plagioklas nachgewiesen wurde, einen deutlichen

Plagioklashauptreflex zeigten. Wahrscheinlich handelt es sich in diesen Fällen um Albit, der perthitisch in die K-Feldspäte eingebaut ist und sonst nicht bestimmt werden konnte. Da mikroskopisch (s. Kap. 3.1.) Perthite nur in geringem Maße nachgewiesen werden konnten, röntgenographisch aber aus dem obengenannten Grund Perthite recht häufig zu sein scheinen, müssen die Perthite zum Großteil in kryptoperthitischer Form vorliegen (s. TRÖGER 1969:686).

Desweiteren fällt auf, daß in allen röntgenographisch untersuchten Proben der Mikroklinhauptreflex deutlich sichtbar ist, während "Orthoklas" nur in wenigen Röntgenproben nachweisbar ist. Zwar konnte für den "Orthoklas"nachweis nur der Nebenreflex bei $2\theta = 23,5^\circ$ herangezogen werden, weil der Hauptreflex bei $2\theta = 26,9^\circ$ vom Quarzhauptreflex überlagert wird, aber auch dieser Nebenreflex besitzt eine Intensität von 70 und müßte beim Vorhandensein von "Orthoklas" deutlich hervortreten. Die mikroskopisch nachgewiesenen "Orthoklase" mit monokliner Symmetrie scheinen von daher zum großen Teil submikroskopisch nach dem Mikroklingesetz verzwillingt zu sein.

Da aber beim Diffraktometerverfahren nicht unbedingt von der Länge eines Reflexes auf den quantitativen Anteil des betreffenden Minerals geschlossen werden kann - denn es ist denkbar, daß trotz Vorherrschens eines bestimmten Minerals dessen Reflexe nur relativ niedrig sind - wurden zur Ergänzung verschiedene "Orthoklase" aus der Sammlung des Geologischen Instituts der Universität Hannover geröntgt, um zu prüfen, ob die "Orthoklas"reflexe generell niedriger als die Mikroklinreflexe sind.

Es stellte sich heraus, daß in der Sammlung des Geologischen Instituts kein "Orthoklas" mit "reiner", röntgenographisch nachweisbarer, monokliner Optik vorhanden ist. Alle "Orthoklase" zeigten neben monokliner Symmetrie durch das Vorhandensein von Mikroklinreflexen eine deutliche triklone Symmetrie. Der Mikroklinhauptreflex überragte in allen Fällen den "Orthoklas"-hauptreflex. Ob von daher bei Dominanz der Mikroklinreflexe auch auf quantitatives Vorherrschen der triklinen Symmetrie

geschlossen werden kann, bleibt zweifelhaft, da ein "Orthoklas" mit ausschließlicher, röntgenographisch nachweisbarer, monokliner Optik nicht gefunden werden konnte und somit kein Vergleich mit einem "reinen" Mikroklin möglich war.

Wegen der vorkommenden Perthite war es nicht sinnvoll, bei der quantitativen Bestimmung die Plagioklas- und K-Feldspatgehalte getrennt auszuwerten, da bei einem Vergleich mit anderen Methoden eine Verfälschung der Ergebnisse zu erwarten war. So wurden bei denselben Proben im Gesamtdurchschnitt durch das Anfärbeverfahren 6,1 Gew.-% K-Feldspäte und 1,2 Gew.-% Plagioklasse und durch Diffraktometeraufnahmen 7,5 Gew.-% K-Feldspäte und 4,5 Gew.-% Plagioklasse (nach den Eichkurven 4 und 2) festgestellt. Für alle Feldspäte ergaben sich nach Eichkurve 3 im Gesamtdurchschnitt Gehalte von 7,5 Gew.-%, durch Färben wurde 7,3 Gew.-% ermittelt. Alle Proben wurden daher nur mit Hilfe der Eichkurve 3 ausgewertet, da bei dieser Originalmaterial aus den bearbeiteten niedersächsischen Sanden verwendet wurde und durch das Zusammenfassen von K-Feldspäten und Plagioklassen eine Verfälschung der Ergebnisse durch Perthite nicht oder nur in geringem Maße stattfinden konnte.

Die oben angegebenen Zahlen sind jedoch nur Durchschnittswerte für alle 25 Proben. Vergleicht man die durch Färbung und durch Röntgen (nach Eichkurve 3) ermittelten Feldspatgehalte jeder einzelnen Probe in einem Diagramm, ergeben sich deutliche Differenzen, die eine quantitative Bestimmung der Feldspatgehalte durch röntgenographische Diffraktometeraufnahmen als zu ungenau erkennen lassen (s. Kap. 4.1., Abb.19).

Es bleibt festzuhalten, daß für die qualitative Bestimmung von Feldspäten das röntgenographische Diffraktometerverfahren gute Ergebnisse liefert und als Ergänzung zu anderen Methoden immer hinzugezogen werden sollte. Nur so konnte in meinem Fall nachgewiesen werden, daß die mikroskopisch bestimmten "Orthoklasse" zum Teil submikroskopische Triklinität zeigen und nicht wenige K-Feldspäte in kryptoperthitischer Form vorliegen. Quantitative Bestimmungen mit Hilfe von Eichkurven sind nur bedingt brauchbar. Es können nur Aussagen über hohe, mittlere oder niedrige

Feldspatgehalte getroffen werden.

3.6. Chemische Analysen

28 Proben aus verschiedenen stratigraphischen, genetischen und regionalen Bereichen wurden untersucht.

Ein Vergleich der naßchemisch und röntgenfluoreszenzanalytisch (RFA) bestimmten Al_2O_3 -Gehalte ergab nur sehr geringe Abweichungen. Da man generell davon ausgehen kann, daß chemische Analysen nach der Röntgenfluoreszenzmethode von sehr hoher Genauigkeit sind, sind beide Verfahren - naßchemische Analyse und RFA - gleich gut einzusetzen.

Nach der RFA-Analyse ist Kaliumfeldspat mit durchschnittlich 4,67 Gew.-%, Natriumfeldspat mit durchschnittlich 1,6 Gew.-% und Calciumfeldspat mit durchschnittlich 0,3 Gew.-% vertreten. Das entspricht den bisherigen Untersuchungsergebnissen, die auch eine deutliche Dominanz der K-Feldspäte und einen geringen Anteil albitreicher Plagioklase erkennen lassen.

Bei den untersuchten Proben ist der Gehalt an $\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$ unabhängig vom KAlSi_3O_8 -Gehalt, aber abhängig vom $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ -Anteil. Bei hohen Natriumfeldspatgehalten steigt auch der Calciumfeldspatanteil und umgekehrt. Dies zeigt, daß nur wenig Calcium in die K-Feldspäte eingebaut ist. Das meiste Calcium ist an die Plagioklase gebunden. Um welche Plagioklase es sich handelt, ist schwierig festzustellen, da ein Teil des Natriumfeldspates perthitisch in die K-Feldspäte eingebaut sein dürfte. Geht man davon aus, daß $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ und $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ nur von den Plagioklasen stammen, ergibt sich als Mittelwert ein Oligoklas mit 20 Mol % Calciumfeldspatanteil. Diese Oligoklasbestimmung ist allerdings nur hypothetischer Natur, da sich in einem Sand eine Vielzahl von verschiedenen Plagioklasen befinden. Dieses Ergebnis bestätigt aber die mikroskopischen und röntgenographischen Untersuchungen, die nur das Vorhandensein natriumreicher Plagioklase, insbesondere Albit und Oligoklas, feststellten.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß die chemische Analyse sehr genaue Werte liefert. Allerdings müssen die Daten unter

Berücksichtigung aller vorkommenden Minerale stöchiometrisch umgerechnet werden. In einem Zweistoffgemisch, wo wie in diesem Fall nur Quarz und Feldspat vorkommen, ist dies einfach und liefert genaue Ergebnisse der Feldspatgehalte. Da die Methode aber sehr aufwendig ist, bzw. die entsprechenden Geräte nicht immer zur Verfügung stehen, wurde dieses Verfahren nur als Ergänzung und zur Kontrolle der anderen Methoden (s. Kap. 4.1.) herangezogen.

3.7. Bestimmung durch Anfärben

Das Anfärbeverfahren wurde zuerst an einigen Proben ausprobiert. Es zeigte sich bald, daß diese Methode für meine Zwecke am geeignetsten war. Zum einen ist die Genauigkeit sehr hoch, wie der Vergleich zwischen der Bestimmung der Feldspatgehalte durch die chemische Analyse und durch Färbung in Kap. 4.1. zeigt. Zum zweiten bleibt der Zeitaufwand in einem vertretbaren Rahmen, und die Versuchsdurchführung ist relativ einfach. Nachteilig wirkt sich aus, daß nur zwischen K-Feldspäten und Plagioklasen unterschieden werden kann. Durch stichprobenartige mikroskopische, röntgenographische und andere Untersuchungen können die Feldspäte aber weiter differenziert werden. In einem relativ einheitlichen Sedimentationsgebiet wie dem niedersächsischen Flachland ist mit großen Abweichungen in der qualitativen Feldspatzusammensetzung nicht zu rechnen, so daß diese Stichproben genügen.

Die Feldspatgehalte aller 380 bearbeiteten Proben wurden daher durch Anfärben bestimmt.

Im einzelnen wurden 4 tertiär-, 14 altpleistozän-, 60 elster-, 247 drenthe-, 13 warthe-, 23 weichsel- und 20 holozänzeitliche Proben bearbeitet. Die Proben stammen aus allen Teilen des Arbeitsgebietes. Der überwiegende Teil der Sande ist glazifluvial entstanden, fluviatile, äolische und marine Genese sind seltener.

Im Durchschnitt aller 373 Proben, die aus quartärzeitlichen niedersächsischen Sanden stammen, ergibt sich ein Gehalt von 4,4 Gew.-% K-Feldspäten und 0,8 Gew.-% Plagioklasen. Das Ver-

hältnis K-Feldspäte zu Plagioklase ist rund 6:1. Mikroskopisch (ohne Anfärben, s. Kap. 3.1.) wurde ein Verhältnis von 12:1 festgestellt. Obwohl nur ein Teil der Proben mikroskopisch (ohne Anfärben) untersucht worden ist, scheint es so, daß viele Plagioklase wegen fehlender Unterscheidungskriterien unter dem Mikroskop nicht erkannt worden sind und der Quarzfraktion zugeordnet wurden.

Schlüsselt man dieses zusammenfassende Ergebnis nach stratigraphischen Gesichtspunkten weiter auf, ergibt sich das in Tab. 5 aufgezeigte Bild. Große Unterschiede in der Feldspatführung der stratigraphischen Serien des Quartärs in Niedersachsen gibt es demnach nicht.

Stratigraphie	K - Feldspäte	Plagioklase
Altpleistozän	2,3	0,2
Elster - Kaltzeit	3,9	0,6
Drenthe - Stadium der Saale - Kaltzeit	4,6	0,8
Warthe - Stadium der Saale - Kaltzeit	4,5	1,3
Weichsel - Kaltzeit	3,9	0,7
Holozän	4,0	0,6

Tab. 5: Durchschnittliche Feldspatgehalte (in Gew.-%) der verschiedenen stratigraphischen Serien des Quartärs in Niedersachsen.

Dennoch fällt auf, daß die im Altpleistozän gebildeten Sedimente die niedrigsten Feldspatgehalte aufweisen.

Die Ursache ist im Liefermaterial dieser fluviatil entstandenen Sedimente zu suchen. Die damals existierenden Flüsse haben vor allem tertiärzeitliches Material aufgearbeitet, das sich in der Regel durch einen sehr geringen Feldspatgehalt auszeichnet.

Chemische Analysen, die GRAUPNER (1970:219) von tertiären Sanden anfertigen ließ, zeigen Feldspatgehalte von weniger als 1 Gew.-%. 4 tertiärzeitliche Proben, die von mir zur Er-

gänzung mituntersucht wurden, weisen Gehalte von durchschnittlich 4,1 Gew.-% K-Feldspäten und 0,9 Gew.-% Plagioklasen auf. Diese Werte sind für tertiärzeitliche Sande sehr hoch. Allerdings sind 3 von den 4 untersuchten Proben extreme Feinsande, die wie weiter unten gezeigt werden wird, sich durch einen höheren Feldspatgehalt auszeichnen.

Flüsse aus feldspatreichen Liefergebieten, wie z.B. den magmatischen Gesteinen Skandinaviens, transportierten im Altpleistozän ihr Material nur selten nach Niedersachsen. Der Sylter Kaolinsand, dessen Liefergebiet nach dem Geröllbestand im östlichen Ostseeraum gelegen haben muß, und die Sedimente des Hattem-Komplexes, deren Herkunftsgebiete in Schweden gelegen haben, sind nur als Ausnahmen anzusehen (DUPHORN et.al. 1974:91; LÜTTIG et.al. 1962). Außerdem ist zu bedenken, daß die altpleistozänen Sedimente als älteste quartäre Sedimente am stärksten der Verwitterung ausgesetzt waren. Der Gehalt an Feldspäten, die eine höhere Verwitterungsanfälligkeit als Quarz besitzen (s. Kap. 1.3.) tritt daher zurück.

Die Sedimente der Elster-Kaltzeit zeigen im Vergleich zum Altpleistozän eine deutliche Zunahme der Feldspatgehalte. Hier macht sich der Einfluß des feldspatreichen skandinavischen Materials bemerkbar, das durch den Elster-Gletscher in den niedersächsischen Raum transportiert wurde. Da aber auch älteres tertiäres und altpleistozänes Material mitaufgearbeitet wurde, ist der Feldspatgehalt der elsterzeitlichen Sedimente etwas geringer als der Feldspatgehalt der drenthe- und warthezeitlichen Ablagerungen. Außerdem kommt hinzu, daß in den elsterzeitlichen Sedimenten, die älter als die saalezeitlichen Ablagerungen sind, die Feldspäte durch die Verwitterung stärker ausgelesen sind.

Die höchsten Feldspatgehalte in den quartärzeitlichen niedersächsischen Sanden sind in den Sedimenten des Drenthe- und Warthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit festzustellen. Durch das Eis wurde erneut feldspatreiches Material aus dem Norden und Osten hertransportiert. Da auch die teilweise mitaufgearbeiteten Sedimente der Elster-Kaltzeit relativ viel Feldspat enthielten, kommt es

hier zu einem Maximum der Feldspatgehalte.

Während der Weichsel-Kaltzeit und des Holozäns war Niedersachsen nicht mehr von Gletschern bedeckt. Die Sedimente erfahren nur eine Umlagerung durch Wind und Wasser. Eine neue Anlieferung feldspatreichen Materialserfolgte nicht. Durch die Umlagerungen waren die Feldspäte verstärkt der Verwitterung ausgesetzt, so daß eine Abnahme ihrer Gehalte erfolgte.

In Gebieten, die noch vom Weichsel-Gletscher überfahren wurden und in denen mächtige glazifluviatile weichselzeitliche Sedimente vorkommen, wie z.B. in Schleswig-Holstein, sind deutlich höhere Feldspatgehalte festzustellen. 3 Proben aus glazifluviatilen weichselzeitlichen Sanden Schleswig-Holsteins zeigen im Durchschnitt K-Feldspatgehalte von 6,8 Gew.-% und Plagioklasgehalte von 2,6 Gew.-%. Hier macht sich die Zufuhr von frischem feldspatreichen Material deutlich bemerkbar.

Die Abhängigkeit der Feldspatgehalte von der Genese und dem stratigraphischen Alter der Sande zeigt Tab. 6. Obwohl die Unterschiede in den Feldspatgehalten relativ gering sind, wird deutlich, daß neben dem Alter der untersuchten Proben auch ihre Genese von Bedeutung ist. Glazifluviatile Sande (durchschnittlicher Gesamtfeldspatgehalt (ohne Schleswig-Holstein) = 4,8 Gew.-%) haben im Durchschnitt einen etwas höheren Feldspatgehalt als fluviatile Sande (durchschnittlicher Gesamtfeldspatgehalt = 3,7 Gew.-%).

Die glazifluviatilen Sande setzen sich zum Großteil aus nordischem feldspatreicheren Material zusammen, das von den Gletschern in unseren Raum transportiert wurde.

Die fluviatilen Schüttungen aus dem Süden, die meist nur in geringem Maße nordisches Material mitaufgearbeitet haben, bezogen ihr Material vor allem aus den Sedimentgesteinen der Mittelgebirge, die nicht so hohe Feldspatgehalte aufweisen wie die skandinavischen magmatischen und metamorphen Gesteine.

Die Sande der Beckensedimente, die sich meist vor den Gletschern in kleineren oder größeren Senken ablagerten, sind zum überwiegenden Teil nordischer Herkunft und weisen von daher ebenfalls hohe Feldspatgehalte auf (durchschnittlicher Gesamt-

feldspatgehalt = 10,4 Gew.-%). Hinzu kommt, daß es sich meistens um Feinsande handelt, die, wie weiter unten gezeigt wird, generell einen höheren Feldspatgehalt aufweisen als Grobsande.

Stratigraphie/ Genese	Anzahl der Proben	Gehalt an			
		Alkalifeldspäten (Schwankungsbereich)	Plagioklassen (Schwankungsbereich)		
qe/gf	41	3,4	(7,8 - 1,2)	0,4	(1,5 - 0,0)
qD/gf	214	4,2	(10,6 - 1,3)	0,7	(3,7 - 0,0)
qWA/gf	13	4,5	(8,0 - 2,3)	1,3	(2,5 - 0,2)
qw/gf (Schleswig- Holstein)	3	6,8	(7,9 - 5,5)	2,6	(3,4 - 1,1)
qpa/f	14	2,3	(4,7 - 1,1)	0,2	(0,6 - 0,0)
qe/f	6	3,4	(6,7 - 0,7)	0,1	(0,1 - 0,0)
qD/f	13	3,7	(5,8 - 1,4)	0,3	(2,4 - 0,0)
qw/f	12	4,1	(7,2 - 2,6)	0,7	(2,1 - 0,2)
qe/S/b	12	6,4	(10,0 - 3,6)	1,6	(4,2 - 0,7)
qD/S/b	20	9,8	(30,0 - 1,8)	2,1	(5,8 - 0,2)
qw/a	8	3,6	(5,3 - 2,1)	0,6	(1,0 - 0,1)
qh/d	20	4,0	(6,2 - 2,2)	0,6	(1,5 - 0,2)

Tab. 6: Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwerte der Feldspatgehalte der quartärzeitlichen Sande Niedersachsens in Abhängigkeit von ihrer Stratigraphie und Genese in Gew.-%. (Stratigraphische und genetische Abkürzungen nach LOOK & VINKEN (1971)).

Die äolisch gebildeten Sande zeigen relativ geringe Feldspatgehalte (durchschnittlicher Gesamtfeldspatgehalt = 4,5 Gew.-%), obwohl sie die jüngsten der untersuchten Sedimente sind. Sie bestehen aus einer Mischung aller vorher abgelagerten Lockersedimente, die durch Wind abgetragen wurden und sich als Dünen oder Flugsanddecken ablagerten. Ihre Feldspatgehalte sind daher ein Mittelwert aller Feldspatgehalte der vorher abgelagerten Sedimente. Durch die äolische Umlagerung waren die Feldspäte verstärkt der atmosphärischen Verwitterung ausgesetzt, so daß die Gehalte etwas geringer sind als im Gesamtdurchschnitt für die quartärzeitlichen niedersächsischen Sande.

Von großer Bedeutung für die Feldspatgehalte der Sande ist deren Korngrößenzusammensetzung. Wie schon in Kap. 1.4. dargelegt ist, wurde von vielen Autoren festgestellt, daß in der Regel Fein-

sande höhere Feldspatgehalte aufweisen als Mittel- oder Grobsande. Diese Tendenz wird z.B. von WILLMAN (1942), FIELD et.al. (1969), ODOM et.al. (1976), BASU (1976) und CHARLES et.al. (1978) bestätigt. Andere Autoren stellen allerdings genau das Gegenteil fest: So zeigen nach FIELD et.al. (1969) Flussande aus dem SE-Teil der USA höhere Feldspatgehalte in den Grobsanden als in den Feinsanden. Nach HSU (1960) nehmen die Feldspatgehalte in der Feinsandfraktion von Strandsanden, die aus dem Golf von Mexiko stammen, im Vergleich zur Grob- und Mittelsandfraktion ebenfalls ab. K-Feldspat zeigt dabei eine größere Abnahme als die Plagioklase. Diese Differenzierung zwischen K-Feldspäten und Plagioklasen wird ebenfalls von HAYES (1962) bestätigt, der Flussande aus den USA untersuchte. Während der K-Feldspatgehalt mit sinkender Korngröße abnimmt, nimmt der Plagioklasgehalt zu.

Hauptgrund für diese verschiedenartigen Anreicherungen des Feldspates in den Korngrößenfraktionen dürfte neben dem Liefermaterial die unterschiedliche Aufbereitung und Verwitterung sein. In nur wenig beanspruchten Sanden bleibt das Maximum der Feldspatgehalte in der Grobsandfraktion, in stärker beanspruchten wird es in Richtung der Feinsand/Schlufffraktion verschoben. Da Plagioklase anfälliger gegenüber mechanischen und chemischen Einflüssen als K-Feldspäte sind, werden sie eher in den feineren Fraktionen angereichert als K-Feldspäte.

Auch in den quartärzeitlichen niedersächsischen Sanden ist eine deutliche Abhängigkeit der Feldspatgehalte von der Korngrößenfraktion festzustellen. Die Abb. 13 und 14 zeigen dies. Zur Erstellung dieser Kurven wurden alle untersuchten Korngrößen der 373 bearbeiteten quartärzeitlichen niedersächsischen Proben in Abhängigkeit von ihrer Stratigraphie und Genese zusammengefaßt. Fraktionen mit weniger als 5 Einzelwerten wurden nicht berücksichtigt. Die Kurven stellen also nur die durchschnittlichen Verhältnisse dar. In der Einzelprobe können auch die umgekehrten Verhältnisse auftreten, so daß die höchsten Feldspatgehalte im Mittel- oder Grobsandbereich anzutreffen sind.

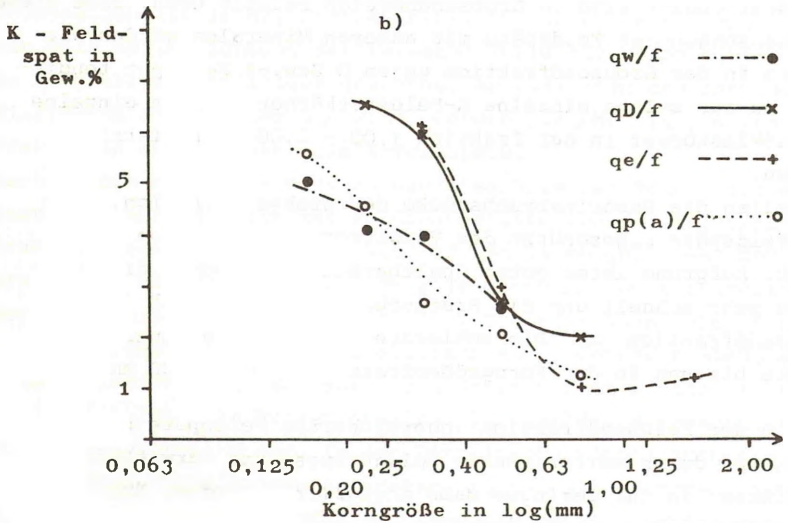
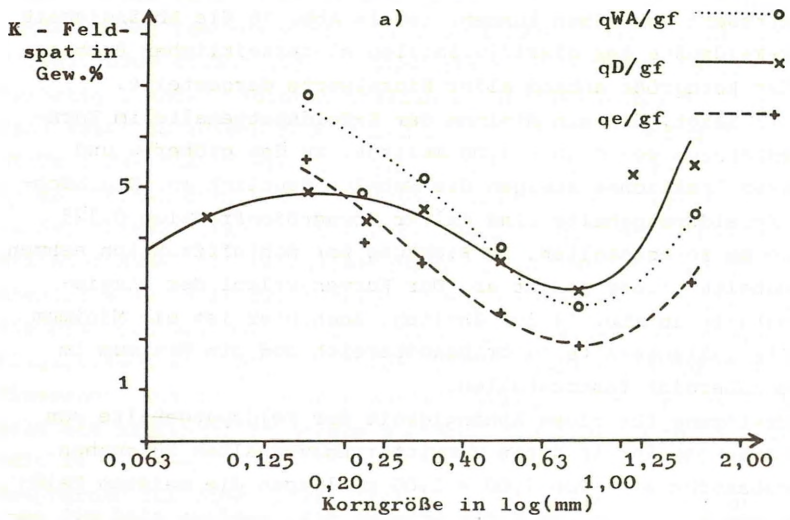
Um zu zeigen, in welchem Maße die Einzelproben vom Durchschnittswert abweichen können, ist in Abb. 15 die Abhängigkeit der K-Feldspäte der glazifluviatilen elsterzeitlichen Proben von der Korngröße anhand aller Einzelwerte dargestellt.

Abb. 13 zeigt, daß ein Minimum der K-Feldspatgehalte im Korngrößenbereich von 0,40 - 1,00 mm liegt. Zu den gröberen und feineren Fraktionen steigen die Gehalte deutlich an. Die höchsten K-Feldspatgehalte sind in der Korngrößenfraktion 0,125 - 0,20 mm festzustellen. In Richtung der Schlufffraktion nehmen die Gehalte wieder leicht ab. Der Kurvenverlauf der Plagioklasgehalte in Abb. 14 ist ähnlich. Auch hier ist ein Minimum der Plagioklasgehalte im Grobsandbereich und ein Maximum im Feinsandbereich festzustellen.

Die Erklärung für diese Abhängigkeit der Feldspatgehalte von der Korngröße ist in deren Verwitterungsverhalten zu suchen. Im Grobsandbereich von 1,00 - 2,00 mm liegen die meisten Feldspäte nicht in Form von Einzelkörnern vor, sondern sind mit anderen Mineralen - vor allem Quarz - verwachsen. Dadurch sind sie vor den Verwitterungseinflüssen besser geschützt und die Feldspatgehalte sind im Grobsandbereich relativ hoch. Ohne diese Verwachsungen der Feldspäte mit anderen Mineralen würden die Kurven in der Grobsandfraktion gegen 0 Gew.-% Feldspat tendieren, da nur selten einzelne K-Feldspatkörner und nie einzelne Plagioklaskörner in der Fraktion 1,00 - 2,00 mm registriert wurden.

Zerfallen die Gesteinsbruchstücke der Grobsandfraktion, sind die Feldspäte ungeschützt den Verwitterungseinflüssen ausgesetzt. Aufgrund ihrer guten Spaltbarkeit zerbrechen die Feldspäte sehr schnell und die Bruchstücke reichern sich in der Feinsandfraktion an. Die schlechter zerstörbaren Quarzbruchstücke bleiben in der Korngrößenfraktion 0,40 - 1.00 mm zurück.

Die in der Feinsandfraktion angereicherten Feldspäte sind anscheinend durch weitergehende Umlagerungs- und Verwitterungseinflüsse in nur geringem Maße angegriffen worden. Nur so ist zu erklären, daß in der Fraktion 0,125 - 0,20 mm die höchsten



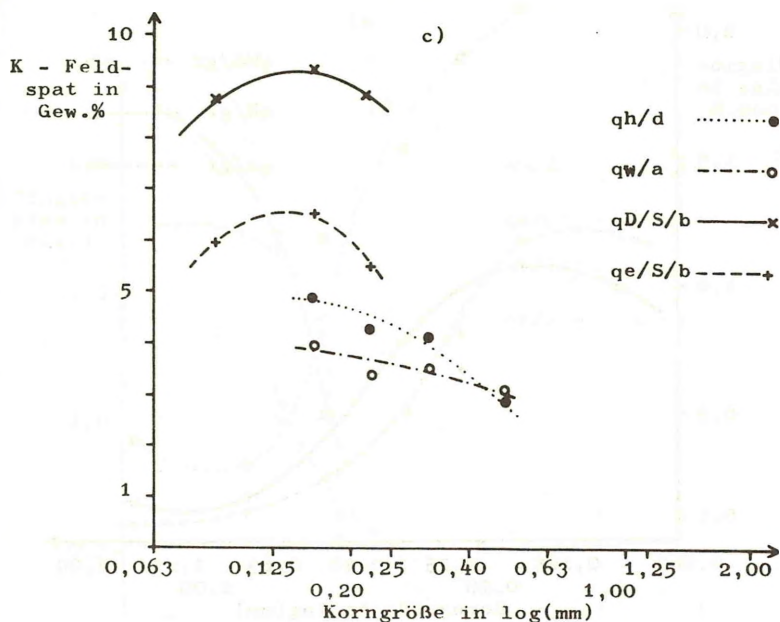
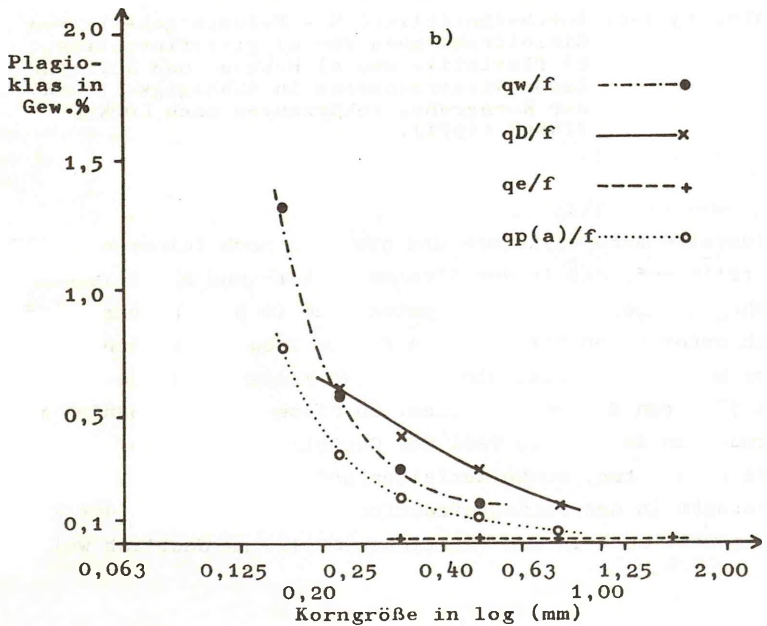
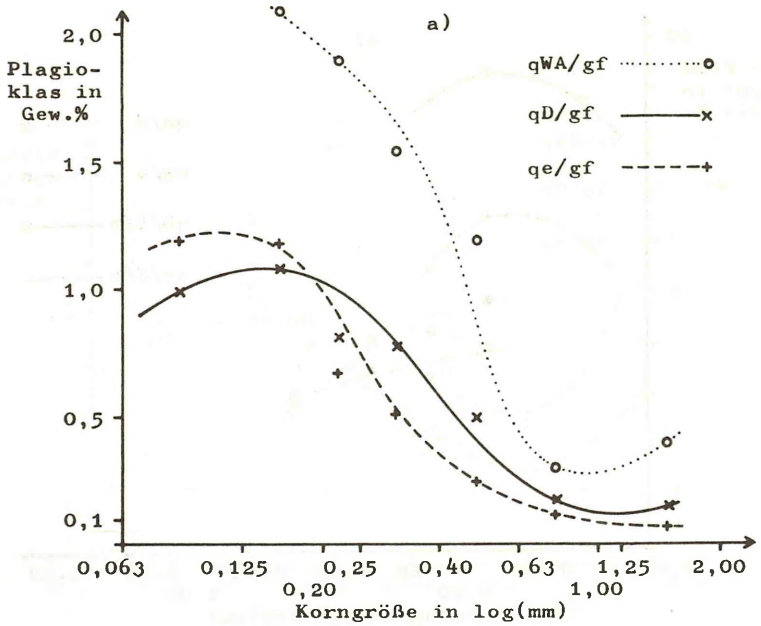


Abb. 13 a-c: Durchschnittliche K - Feldspatgehalte von Einzelfractionen für a) glazifluviatile, b) fluviatile und c) Becken- und äolische Sande Niedersachsens in Abhängigkeit von der Korngröße. Abkürzungen nach LOOK & VINKEN (1971).

Feldspatgehalte vorkommen und nicht in noch feineren Fraktionen. Es fällt auf, daß in den älteren elster- und altpleistozänzeitlichen Sedimenten die Feldspatgehalte im Grobsandbereich deutlich unter denen der jüngeren Serien liegen, im Feinsandbereich aber höhere oder fast gleichwertige Feldspatgehalte gegenüber den jüngeren Sanden aufweisen. In diesen älteren Sanden ist vermutlich der größte Teil der Gesteinsbruchstücke, die Feldspat enthielten, schon zerfallen, und die Feldspäte haben sich verstärkt in der Feinsandfraktion angereichert. Ob der Feldspatgehalt auch in den Fraktionen $<0,125$ mm deutlich weiter



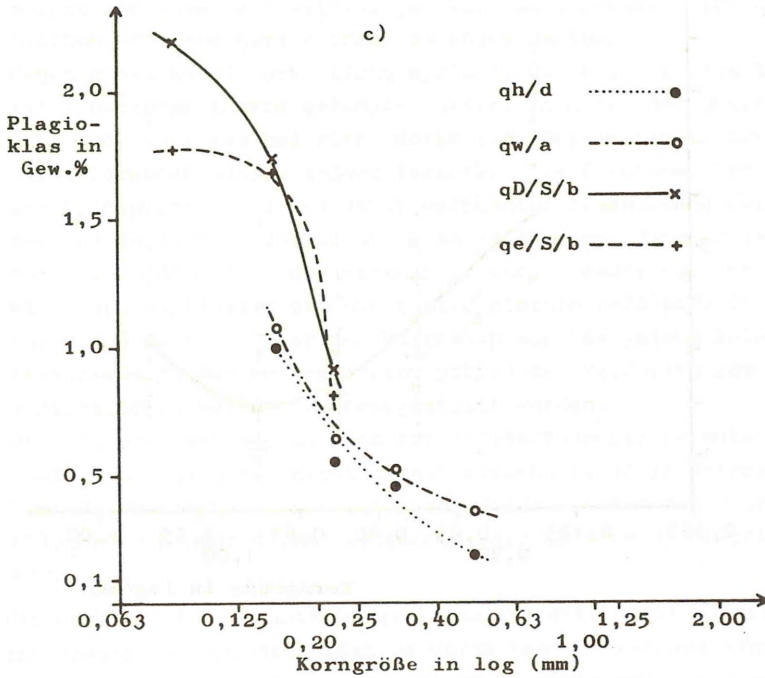


Abb. 14 a-c: Durchschnittliche Plagioklasgehalte von Einzelfractionen für a) glazifluviatile, b) fluviatile und c) Becken- und äolische Sande Niedersachsens in Abhängigkeit von der Korngröße. Abkürzungen nach LOOK & VINKEN (1971).

ansteigt, was für eine größere kompositionelle Reife dieser Sande sprechen würde, konnte nicht festgestellt werden, da zu wenig Ergebnisse für diesen Korngrößenbereich vorlagen. Die Sande der Beckensedimente, speziell der drenthezeitlichen, besitzen erstaunlich hohe Feldspatgehalte. Trotz des gleichen Liefergebietes, Alters, Klimas usw. weisen die Beckensande der Drenthezeit in derselben Korngrößenfraktion um fast 100 % hö-

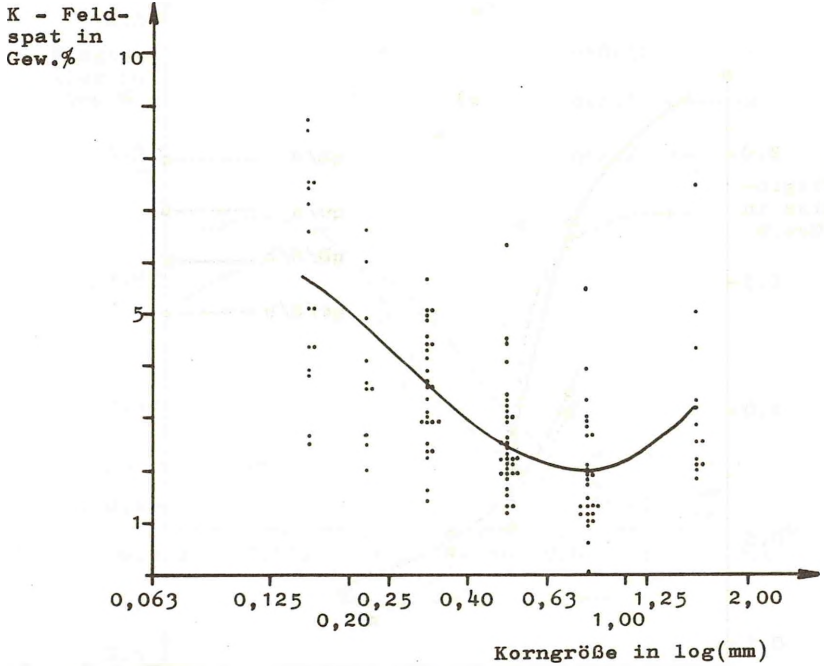


Abb. 15: K-Feldspatgehalte der elsterzeitlichen glazifluviatilen Sande in Abhängigkeit von der Korngröße. Darstellung aller Einzelwerte (N = 125). Die eingezeichnete Kurve gibt die Mittelwerte der K-Feldspatgehalte jeder Fraktion an.

here Feldspatgehalte auf als die glazifluviatilen Sande. Der Unterschied der Feldspatgehalte zwischen den glazifluviatilen und Beckensanden der Elsterzeit ist nicht ganz so kraß, aber immer noch deutlich.

Eine Erklärung für dieses Phänomen ist schwierig zu finden. Möglicherweise spielt das spezielle Ablagerungsmilieu der Beckensande eine Rolle. In den mehr oder weniger großen Seen, in denen sich die Sande ablagerten, kann durch Wellenbewegung eine selektive Sortierung nach Art einer Strandseife stattgefunden haben. Da Quarz ($d = 2,65 \text{ g/cm}^3$) etwas schwerer als die K-Feldspäte ($d < 2,58 \text{ g/cm}^3$) und Albit ($d = 2,62 \text{ g/cm}^3$) ist, wäre eine

solche Trennung, die allerdings nicht so ausgeprägt ist wie bei manchen Schwermineralseifen, durchaus denkbar.

Gegen diese Modellvorstellung spricht, daß bis auf eine Ausnahme keine Beckensedimente gefunden wurden, in denen der Quarzgehalt sehr hoch ist, was bei einer derartigen Sortierung zu erwarten wäre. Deswegen müssen andere Faktoren, wie Kornform, Strömung des Transportmediums und damit verbundene Klassierung der Körner und ähnliches eine wichtige Rolle spielen. Denkbar ist auch, daß die Feldspäte in den Beckensedimenten besser vor den Verwitterungseinflüssen geschützt sind als die Feldspäte in anderen Lockersedimenten. Unter dem Mikroskop konnten jedoch keine Unterschiede im äußeren Erscheinungsbild der Feldspäte aus den verschiedenen Sedimenten festgestellt werden.

Welcher oder welche Faktoren für dieses Phänomen verantwortlich sind, kann von daher nicht gesagt werden, zumal in Untersuchungen über das Verhalten der klastischen Feldspäte bei Transport und Ablagerung bisher dieser sedimentologische Bereich ausgeklammert war.

Wie oben erwähnt, zeigen Plagioklase und K-Feldspäte ungefähr das gleiche korngrößenabhängige Verhalten. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Plagioklasgehalten der Grob- und Feinsandfraktion ausgeprägter als bei den K-Feldspäten. So sind die Plagioklasgehalte in der Grobsandfraktion äußerst gering. Detritische Plagioklaskörner konnten in dieser Fraktion nie beobachtet werden, es handelte sich nur um Verwachsungen mit anderen Mineralen. Zur Feinsandfraktion steigen die Plagioklasgehalte sehr viel steiler an, als es bei den K-Feldspäten der Fall ist. Diese Tatsache untermauert die größere Verwitterungsanfälligkeit der Plagioklase gegenüber den K-Feldspäten. Da die Plagioklase leichter zerfallen als die K-Feldspäte, werden sie fast ausschließlich in der Fein- bis Mittelsandfraktion angereichert.

Auffallend sind die relativ hohen Plagioklasgehalte der warthezeitlichen Sedimente und die nur in Spuren vorhandenen Plagioklase in den fluviatilen, elsterzeitlichen Oberterrassensanden

der Leine. Da Plagioklase anfälliger gegenüber der Verwitterung sind als die K-Feldspäte, sind die Plagioklasgehalte der warthezeitlichen Sedimente, die als letzte von einem skandinavischen Gletscher in diesen Raum transportiert wurden, deutlich höher als in den übrigen quartären Serien, da sie noch nicht so stark der Verwitterung ausgesetzt waren. Dafür spricht auch, daß die noch jüngeren glazifluviatilen Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit in Schleswig-Holstein wiederum deutlich höhere Plagioklasgehalte zeigen als die glazifluviatilen Sande des Warthe-Stadiums.

Demgegenüber waren die Oberterrassensande der Leine einer intensiven Verwitterung ausgesetzt, da sie nicht wie z.B. die glazifluviatilen Sande der Elster-Kaltzeit durch Geschiebelehm oder mächtige überlagernde Sedimentkörper vor der Verwitterung geschützt waren. Diese starke Verwitterung ist auch bei makroskopischer und mikroskopischer Betrachtung der Proben sichtbar. Makroskopisch machen die Proben - trotz ihres teilweise vorhandenen Karbonatgehaltes - einen stark "vergrusten" und zersetzten Eindruck. Mikroskopisch sind fast nur angewitterte und "getrübte" Feldspatkörner zu erkennen.

Die regionale Verteilung der Feldspatgehalte ist sehr wechselhaft. Selbst in derselben Sandgrube können die Gehalte der aus verschiedenen Bereichen des Aufschlusses genommenen Proben um einige Prozente schwanken, auch wenn das Material stratigraphisch und genetisch aus derselben Serie stammt.

Generell können für die quartärzeitlichen sandigen Lockersedimente Niedersachsens Feldspatgehalte von 3 - 7 Gew.-% angenommen werden. Höhere und niedrigere Feldspatgehalte treten nur in wenigen Gebieten auf. Hervorzuheben ist ein Gebiet südwestlich von Bremen, wo ein drenthezeitlicher Beckensand mit Feldspatgehalten bis zu 19 Gew.-% anzutreffen ist.

In Abb. 16 ist die durchschnittliche regionale Verteilung der Feldspatgehalte bei Untergliederung des Arbeitsgebietes in 8 Teilgebiete dargestellt.

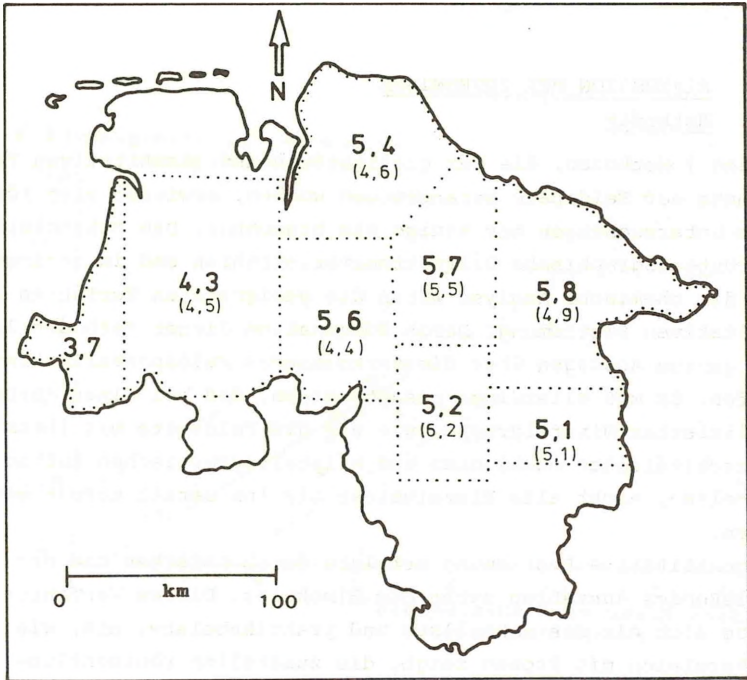


Abb. 16: Durchschnittliche regionale Verteilung der Feldspatgehalte aller Altersstufen bei Untergliederung des Arbeitsgebietes in 8 Teilgebiete. In Klammern sind die durchschnittlichen Feldspatgehalte nur für die drenthezeitlichen glazifluviatilen Sande angegeben.

Zwar scheint es so, daß mit wachsender Entfernung vom skandinavischen Liefergebiet die Feldspatgehalte abnehmen, da im Nordosten die höchsten und im Westen die geringsten Feldspatgehalte anzutreffen sind. Diese Abnahme der Feldspatgehalte im Westen ist aber nur durch die dort anstehenden älteren Sedimentserien bedingt, die in diesem Gebiet bevorzugt beprobt wurden. Berücksichtigt man nur Proben derselben stratigraphischen und genetischen Einheit, wie z.B. der glazifluviatilen drenthezeitlichen Sande, ist eine Tendenz abnehmender Feldspatgehalte von Nordosten nach Westen nicht mehr zu erkennen.

4. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

4.1. Methodik

Von den 7 Methoden, die zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Feldspäte herangezogen wurden, erwiesen sich für meine Untersuchungen nur einige als brauchbar. Die Mikroskopie, das röntgenographische Diffraktometerverfahren und in geringem Maße die chemische Analyse waren die geeignetsten Verfahren zur qualitativen Bestimmung. Durch Kombination dieser Methoden ließen sich genaue Aussagen über die vorkommenden Feldspatvarietäten treffen. Es muß allerdings gesagt werden, daß bei einer derart komplizierten Mineralgruppe, wie sie die Feldspäte mit ihrem unterschiedlichen chemischen und kristallographischen Aufbau darstellen, nicht alle Einzelheiten bis ins Detail erfaßt werden können.

Die quantitative Bestimmung erfolgte durch Anfärben und anschließendes Auszählen unter dem Binokular. Dieses Verfahren erwies sich als das schnellste und praktikabelste, und, wie ein Vergleich mit Proben zeigt, die zusätzlich röntgenfluoreszenzanalytisch bestimmt wurden, als sehr genau (siehe Abb.17). Abb.17 zeigt, daß die durch Färbung ermittelten Feldspatgehalte bis auf zwei Ausnahmen immer etwas niedriger sind als diejenigen, die nach chemischen Analysen ausgewertet wurden. Vermutlich stammen die chemisch ermittelten CaO , Na_2O und K_2O -Gehalte nicht alle von den Feldspäten, sondern sind in andere Minerale eingebaut. Denkbar ist auch, daß diese Abweichung der Feldspatgehalte durch Fehler beim Anfärben und Auszählen bedingt sind. Die Unterschiede sind aber meistens sehr gering.

Auch die mikroskopische Bestimmung (s. Kap. 3.3.) ohne Anfärben liefert sehr genaue Ergebnisse, wie Abb.18 zeigt. 16 Proben, die sowohl röntgenfluoreszenzanalytisch als auch mikroskopisch (ohne Anfärben) untersucht wurden, weisen eine gute Übereinstimmung der Feldspatgehalte auf. Trotz dieser genauen Ergebnisse wurde nur ein kleiner Teil der Proben mit einem Polarisationsmikroskop untersucht, da der Zeitaufwand für eine quantitative Bestimmung je Probe sehr hoch ist.

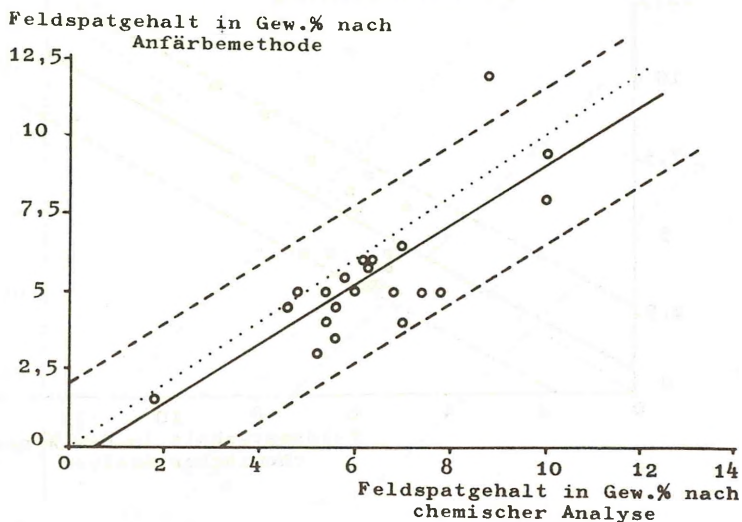


Abb. 17: Vergleich der durch Färbung und chemische Analyse (RFA) ermittelten Feldspatgehalte. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = -0,604 + 0,959x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test. Gepunktete Linie = Idealregressionsgerade für $y=x$.

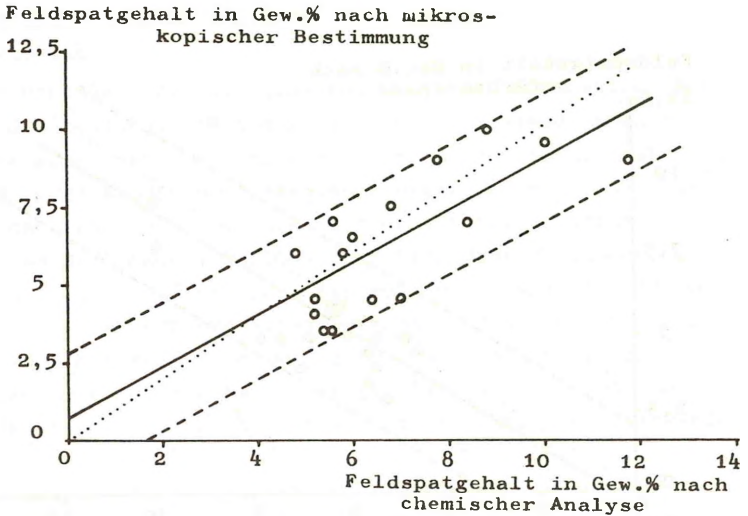


Abb. 18: Vergleich der durch Mikroskopie (ohne Anfärben) und chemische Analyse (RFA) ermittelten Feldspatgehalte. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = 0,559 + 0,845x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test. Gepunktete Linie = Idealregressionsgerade für $y=x$.

Die quantitative Bestimmung der Feldspatgehalte durch röntgenographische Diffraktometermethoden wurde verworfen, weil trotz des geringen Zeitaufwandes die Ungenauigkeit der Ergebnisse zu hoch ist. Abb.19 zeigt deutliche Differenzen zwischen den durch röntgenographischen Diffraktometeraufnahmen und durch Anfärben ermittelten Feldspatgehalten. Im Idealfall müßten alle

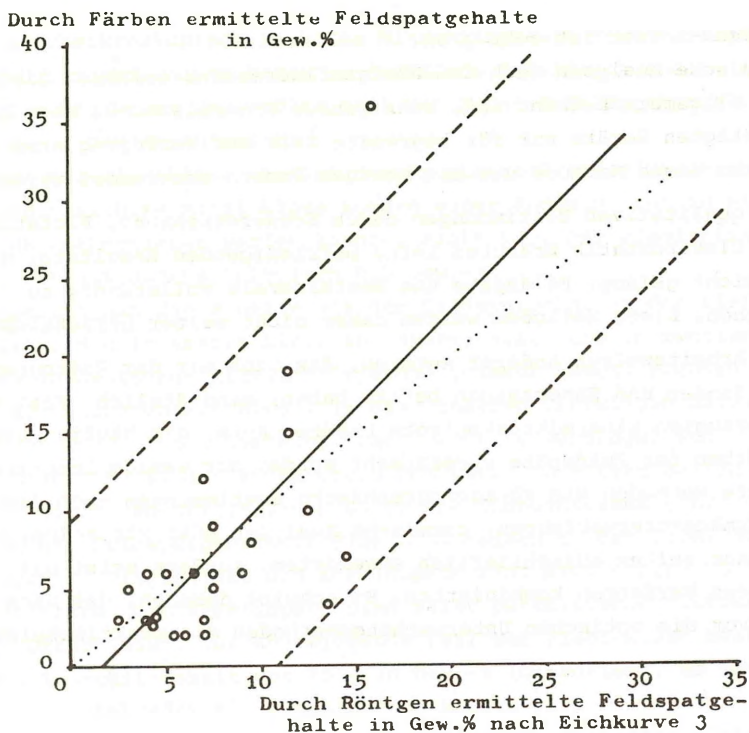


Abb.19: Vergleich der durch Färben und röntgenographische Diffraktometeraufnahmen ermittelten Feldspatgehalte. Durchgezogene Linie = Regressionsgerade ($y = -1,975 + 1,226x$). Gestrichelte Linie = 95 % Vertrauensgrenze nach Student-t-Test. Gepunktete Linie = Idealregressionsgerade für $y = x$.

Werte auf der Regressionsgeraden mit $y=x$ liegen. Dies ist jedoch nicht der Fall, die Werte liegen mehr oder weniger über- oder unterhalb dieser Geraden, und der 95 % Vertrauensbereich nach

Student-t-Test ist sehr groß.

Chemische Analysen nach dem Röntgenfluoreszenzverfahren liefern, wie allgemein bekannt ist, sehr genaue Ergebnisse. Da aber die benötigten Geräte nur für begrenzte Zeit zur Verfügung standen, konnte diese Methode nur bei wenigen Proben angewendet werden.

Die qualitativen Bestimmungen durch Schweretrennung, Flotation und Elektrostatik brachten keine befriedigenden Resultate, da es nicht gelang, Feldspäte und Restminerale vollständig zu trennen. Diese Methoden wurden daher nicht weiter berücksichtigt.

Die Arbeitsweisen anderer Autoren, die sich mit der Petrographie von Sanden und Sandsteinen befaßt haben, sind ähnlich. Fast alle bevorzugten eine mikroskopische Untersuchung, die häufig durch Anfärben der Feldspäte vereinfacht wurde. Nur wenige benutzten andere Methoden wie röntgenographische Bestimmungen nach dem Diffraktometerverfahren, chemische Analysen oder Flotation, die sie nur selten ausschließlich anwendeten, sondern meist mit anderen Verfahren kombinierten. Es scheint demnach, daß nach wie vor die optischen Untersuchungsmethoden die praktikabelsten sind.

4.2. Feldspatführung der quartärzeitlichen Sande Niedersachsens

Faßt man die qualitativen und quantitativen Ergebnisse aller Untersuchungsmethoden zusammen, ergibt sich ein recht einheitliches Bild der Feldspatzusammensetzung der quartärzeitlichen niedersächsischen Sande, obwohl Differenzierungen in stratigraphischer und genetischer Hinsicht zu verzeichnen sind (s.Kap.3.7.).

Dominierend sind die K-Feldspäte. Sie sind meist sehr reich an Kalium (>80 Gew.-% KAlSi_3O_8) und erscheinen mikroskopisch monoklin. Nur bei wenigen ist mikroskopisch Triklinität nachweisbar. Röntgenographisch ist die monokline Symmetrie der K-Feldspäte nur in einzelnen Proben zu erkennen, triklone Symmetrie dagegen durch das Auftreten des Mikroklinhauptreflexes in allen Proben deutlich sichtbar. Es scheint daher, daß der Großteil der K-Feld-

späte submikroskopisch nach dem Mikroklingesetz verzwillingt ist. Durchschnittlich besitzen die Sande K-Feldspatgehalte von 4,4 Gew.-%, wobei der größte Teil der Sande K-Feldspatgehalte von 3 - 6 Gew.-% aufweist.

Albite und Oligoklase stellen den Hauptanteil der Plagioklase. Anorthitreichere Plagioklase kommen außer Andesin, der in einigen Fällen nachgewiesen werden konnte, nicht vor. Der Plagioklasanteil beträgt durchschnittlich 0,8 Gew.-%.

Vergleicht man diese Werte mit den Feldspatgehalten der Liefergebiete, die in erster Linie in Skandinavien und in zweiter Linie im deutschen Mittelgebirgsraum gelegen haben, ergeben sich beträchtliche Unterschiede. In Skandinavien überwiegen magmatische und metamorphe Gesteine. Nach den Untersuchungen von HESEMANN (1975), der einen Überblick über den Mineralbestand aller wichtigen kristallinen Gesteine Skandinaviens gibt, beträgt der Feldspatgehalt in diesen Gesteinen in der Regel 30 - 70 Gew.-%. Plagioklase und K-Feldspäte sind etwa gleich häufig anzutreffen. Die K-Feldspäte sind meist perthitische Mikrokline und "Orthoklase". Der überwiegende Teil der Plagioklase besitzt einen Anorthit-Gehalt von 15 - 30 Gew.-% (Oligoklas), es kommen aber auch Labradorite, Andesine und Albite vor.

Die Feldspatgehalte der Sedimentgesteine des deutschen Mittelgebirgsraumes sind im Vergleich zu den skandinavischen Gesteinen sehr viel geringer, wie die Untersuchungen zahlreicher Autoren belegen, aber zum Großteil liegen sie über den Gehalten der quartärzeitlichen Sande Niedersachsens.

Die untersuchten Sande besitzen demnach nur noch einen Bruchteil des Feldspates, der im Liefermaterial vorhanden gewesen ist. Ob die Feldspäte bei der Verwitterung des Ausgangsmaterials, während des Transportes oder bei der Diagenese aufgelöst und/oder umgewandelt wurden, kann in dieser Arbeit nicht geklärt werden.

Vermutlich ist der größte Teil der Feldspäte schon bei der Verwitterung des Ausgangsgesteins zerstört worden. Diese Verwitterung muß vor dem Quartär stattgefunden haben, da unter nivalen klimatischen Bedingungen die Feldspäte kaum zerstört werden

(FÜCHTBAUER 1977:22). Ein weiterer Teil der Feldspäte dürfte bei fluviatilen Umlagerungen im Abschmelzbereich der Gletscher verwittert sein, da hier die Transportbeanspruchung und das etwas wärmere Klima den mechanischen und chemischen Zerfall der Feldspäte, der während des Transportes durch den Gletscher nur gering gewesen sein kann, beschleunigte. Nach der Ablagerung werden oberflächennahe Verwitterungseinflüsse die Feldspäte weiter dezimiert haben. Je nach Tiefenlage des Sediments, Grundwasserstand, Regenfall usw. nahm der Feldspatgehalt weiter ab. Diagenetische Vorgänge dürften den Feldspatgehalt nur wenig verringert haben, da bei den quartärzeitlichen Sedimenten die Diagenese nur sehr schwach gewesen sein kann. Dafür spricht auch, daß karbonatische Proben ungefähr dieselben Feldspatgehalte zeigen wie nichtkarbonatische. Verwitterungslösungen haben anscheinend nur die Karbonate entfernt, nicht aber die Feldspäte.

Festzustellen bleibt, daß die ehemals großen Feldspatgehalte der Liefergesteine bis auf geringe Reste verschwunden sind. Weiterhin scheint für die untersuchten Sande zu gelten, daß die K-Feldspäte weit weniger verwitterungsanfällig sind als die Plagioklase, da in allen Sanden der K-Feldspatgehalt überwiegt, während in den Ausgangsgesteinen Plagioklase und K-Feldspäte ungefähr gleich stark vertreten sind (HESEMANN 1975). Von den Plagioklasen sind Albit und Oligoklas die verwitterungsresistentesten, da bis auf Spuren von Andesin alle anorthitreicheren Plagioklase verschwunden sind. Dies bestätigt die Ansicht anderer Autoren, die Mikroklin und "Orthoklas" als relativ schwer zerstörbar im Vergleich zu den Plagioklasen ansehen und von den Plagioklasen die albitreichen als verwitterungsbeständiger einstuft (s. Kap. 1.3. und 1.4.).

Ein Vergleich der Feldspatgehalte der untersuchten Sande mit denen anderer Sande (s. Tab. 1) zeigt, daß die quartärzeitlichen niedersächsischen Sande nur relativ geringe Feldspatgehalte aufweisen. Obwohl man wegen der unterschiedlichen Liefergebiete, des verschiedenen Transportmediums und aller anderer Faktoren, die auf die Feldspatgehalte Einfluß nehmen, nur bedingt die

Sande der Tab. 1 mit den untersuchten Sanden vergleichen kann, fällt auf, daß die Sande der glazial beeinflussten Gebiete der USA, die vom Alter und der Genese her etwa den niedersächsischen Sanden entsprechen, deutlich höhere Feldspatgehalte von durchschnittlich 19 Gew.-% (WILLMAN 1942) und 11 - 30 Gew.-% (MCMASTER & GARRISON 1966) aufweisen. WILLMAN (1942), der ähnlich wie in dieser Arbeit etwa 100 Proben mit fluviatiler, glazifluviatiler und äolischer Genese untersuchte, stellte allerdings ein Überwiegen der Plagioklase fest. Er gibt weiterhin an, daß Sande, die Karbonat enthielten, geringere Feldspatgehalte aufweisen als karbonatfreie. Diese Feststellung trifft für die niedersächsischen Sande nicht zu. Karbonathaltige niedersächsische Sande besitzen weder geringere noch höhere Feldspatgehalte als die übrigen Sande (s.o.).

Aussagen über die Maturität der Sande, die nach dem Verhältnis Quarz/Feldspäte + Gesteinsbruchstücke bestimmt wird (PETTIJOHN 1975:212), lassen sich nur bedingt treffen, da der Gehalt an Gesteinsbruchstücken nicht mitbestimmt wurde. Nur vom Feldspatgehalt her gesehen besitzen die Sande eine hohe kompositionelle Reife. Unter Miteinbeziehung der Gesteinsbruchstücke, die vermutlich einen hohen Anteil in den Sanden ausmachen, muß von einer geringen Maturität der niedersächsischen quartärzeitlichen Sande ausgegangen werden.

Nach den durchgeführten Untersuchungen lassen sich Aussagen über die Stratigraphie und Genese eines quartärzeitlichen niedersächsischen Lockersedimentes nur anhand der Feldspatführung nicht treffen. Anders als z.B. bei den Schwermineralen, die in bestimmten Bereichen als Unterscheidungskriterium benutzt worden sind, ist die qualitative und quantitative Feldspatzusammensetzung der Lockersedimente Niedersachsens zu ähnlich, um derartige Einstufungen treffen zu können. Wie oben erwähnt, ist die qualitative Feldspatzusammensetzung für alle Sande ungefähr gleich. Quantitative Unterschiede sind zwar im Durchschnitt mehrerer Proben deutlich festzustellen, aber in der Einzelprobe können die Feldspatgehalte derselben stratigraphischen und genetischen Einheit erheblich über oder unter dem Mittelwert liegen, so daß

eine eindeutige Einstufung nicht möglich ist.

4.3. Wirtschaftliche Bedeutung der in den niedersächsischen quartärzeitlichen Sanden ermittelten Feldspatgehalte

Nach den vorliegenden Untersuchungen lohnt sich ein großtechnischer Abbau zur Feldspatgewinnung in Niedersachsen nicht. Zum einen liegen die Feldspäte in der Korngrößenfraktion $> 0,63$ mm zum größeren Teil nicht als detritische Einzelkörner vor, sondern sind mit anderen Mineralen (vor allem Quarz) verwachsen, so daß eine Trennung der Feldspäte vom übrigen Material schwerfällt. Zum zweiten ist auch in der Feinsand- und Mittelsandfraktion der Feldspat nicht in genügendem Maße angereichert, so daß zumindest zum heutigen Zeitpunkt ein Abbau nicht wirtschaftlich ist. Andere Gebiete der Bundesrepublik, wie z.B. Schleswig-Holstein mit seinen weichselzeitlichen Moränensanden und Süddeutschland, wo verwitterte ehemalige Sandsteine anzutreffen sind, lassen höhere Feldspatkonzentrationen erwarten. Ein möglicher Abbau auf Feldspat sollte daher mehr in diesen Gebieten stattfinden.

Zur Herstellung von Kalksandsteinen sind die niedersächsischen Sande gut geeignet, da ihr Quarzgehalt sehr hoch ist und die ermittelten Feldspatgehalte zu gering sind, um die mechanischen Eigenschaften der Kalksandsteine negativ zu beeinflussen.

Nach freundlicher, mündl. Aussage von Dr. KENDEL (mineralogische Abteilung der Kalksandsteinindustrie/Hannover) werden die mechanischen Eigenschaften der Kalksandsteine durch Feldspatgehalte von weniger als 10 Gew.-% kaum beeinflußt. Allerdings kann es zu unerwünschten Ausblühungen kommen, wenn Kalium und/oder Natrium sich mit möglicherweise vorhandenen Sulfaten chemisch verbinden.

Sande mit weniger als 10 Gew.-% Feldspatgehalten sind daher in der Regel als unbedenklich einzustufen. Vorsicht sollte nur geboten sein, wenn extreme Feinsande zur Herstellung herangezogen werden. Durch Stichproben sollte überprüft werden, ob in diesen die Feldspatgehalte nicht zu hoch sind.

Als Betonzuschlag und für andere bauliche Zwecke sind die niedersächsischen quartärzeitlichen Sande ebenfalls gut geeignet, sofern nicht andere negative Beimengungen wie z.B. pflanzlich-kohlige Reste (ASCHKESCH 1975) und anderes vorhanden sind. Falls die Feldspäte einen Einfluß auf das Alkalitreiben im Beton haben, ist bei so geringen Gehalten, wie sie in Niedersachsen festgestellt wurden, mit keiner großen Einflußnahme der Feldspäte auf diese Prozesse zu rechnen.

5. ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN

- ANWAR, J. (1974): Der holozäne Meeressand im Seegebiet westlich von Sylt zwischen Kampen und Rantum (Ausgangsmaterial und Sedimentation). - Meyniana 24:43-55, 15 Abb., 1 Taf.; Kiel
- ASCHKESCH, I. (1975): Zusammensetzung und technologische Eigenschaften der Sande im mittleren Niedersachsen. - Diss. techn. Univ. Hannover: 59 S., 10 Abb., 4 Tab.; Hannover
- ASCHRAFI, A. (1981): Schwermineraluntersuchung in den Terrassensedimenten der Leine und ihrer Nebenflüsse Rhume und Innerste. - Diss. Univ. Hannover: 76 S., 21 Abb., 14 Tab.; Hannover
- BAILEY, E.H. & STEVENS, R.E. (1960): Selective staining of K-feldspar and plagioclase on rock slabs and thin sections. - Am. Mineralogist, 45:1020-1025, New York
- BASU, A. (1976): Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: Implications to paleoclimatic interpretation. - J. sed. Petrology, 46:694-709, 8 Abb., 4 Tab.; Menasha
- BIJLSMA, S. & CLEVERINGA, P. (1970): Verslag van het kwartair-geologisch onderzoek in de omgering van Uelsen (Grafschaft Bentheim, Duitsland) in 1970. - Diplomarbeit, Masch.-Mskr. Vrije Univ. Amsterdam: 50 S., 16 Abb., 2 Tab., Beil.; Amsterdam (unveröffentlicht)
- BRADSHAW, P.M.D. (1967): Measurement of the modal composition of a granitic rock powder by point-counting, infra-red spectroscopy and x-ray diffraction. - Mineral. Mag.: 36/277:94-100, 2 Abb., 1 Tab.; London

- BREYER, J.A. & BART, H.A. (1978): The composition of fluvial sands in a temperate semiarid region. - J. sed. Petrology, 48:1311-1320, 3 Abb., 5 Tab.; Menasha
- CHARLES, R.G. & BLATT, H. (1978): Quartz, chert and feldspars in modern fluvial muds and sands. - J. sed. Petrology, 48:427-432, 3 Abb., 2 Tab.; Menasha
- CHUDOBA, K. (1932): Die Feldspäte und ihre praktische Bestimmung. - 54 S., 46 Abb., 4 Taf.; Stuttgart (Schweizerbart)
- COMBELLICK, R.A. & OSBORNE, R.H. (1977): Sources and petrology of beach sand from southern Monterey Bay, California. - J. sed. Petrology, 47:891-907, 6 Abb., 3 Tab.; Menasha
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1966): An introduction to the rock forming minerals. - 10. Aufl.: 528 S., 183 Abb., 50 Tab.; Bungay, Suffolk (Longman)
- DICKINSON, W.R. (1968): Singatoka dune sands, Viti Levu (Fiji). - Sed. Geology, 2:115-124, 4 Abb., 4 Tab.; Amsterdam
- DRUZHININ, I.P. (1960): Some features of quartz-feldspar separation using model "T" electrostatic separator. - Invest. Akad. Nauk. SSSR. Ser. geol., 10:92-96; Moskau (englische Übersetzung)
- EHLERS, J. (1978): Die quartäre Morphogenese der Harburger Berge und ihrer Umgebung. - Mitt. geogr. Ges. Hamburg, 68: 181 S., 62 Abb., 47 Fot., 1 Kt.; Hamburg
- ENGELHARDT, W. von (1973): Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen. Sediment-Petrologie III. - 378 S., 133 Abb., 55 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart)
- FAHEY, J.J. & SCLAR, C.B. (1972): The staining mechanism of potassium feldspar and the origin of hieratite. - Am. Mineralogist, 57:287-291, New York
- FIELD, M.E. & PILKEY, O.H. (1969): Feldspar in Atlantic continental margin sands of the southeastern United States. - Geol. Soc. America Bull., 80:2097-2102, 4 Abb., 1 Tab.; Oklahoma
- FISCHER WELTALMANACH '81. - 959 S.; Frankfurt a.M.
- FORSTER, A. & TRÖNDLE, H.M. (1969): Die Aufbereitung von Feldspat. - Beil. Handb. Keramik, 21/5: 27 S., 44 Abb.; Freiburg im Breisgau
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1976): Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie II. - 3. Aufl.: 784 S., 341 Abb., 70 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart)

- GABRIEL, A. & COX, E.P. (1929): A staining method for the quantitative determination of certain rock minerals. - Am. Mineralogist, 14:290-292; New York
- GILES, R.T. & PILKEY, O.H. (1965): Atlantic beach and dune sediments of the southern United States. - J. sed. Petrology, 35:900-910, 8 Abb.; Menasha
- GOLDBERG, D. & PETERSEN, M.N.A. (1962): Feldspar distributions in South Pacific pelagic sediments. - J. geophys. Research, 67:3477-3492, 12 Abb.; New York
- GRAHLE, H.O. (1961): Zur Geologie der Baccumer und Fürstenauer Stauchzone (Rehburger Staffel). - Z. deutsch. geol. Gesell., 112:555-561, 2 Abb.; Hannover
- GRAUPNER, A. (1970): Steine und Erden, Geologie und Lagerstätten Niedersachsens. - 5. Band., 2. Teil:299 S., 23 Abb., 31 Tab., 11 Kt.; Göttingen (Gebr. Wurm)
- GROETZNER, J.-P. (1972): Geschiebeführung und Stratigraphie saaleiszeitlicher Ablagerungen (Pleistozän) im Südwestteil des Uelzener Beckens (Nordost Niedersachsen). - Mitt. geol. Inst. tech. Univ. Hannover, 11:76 S., 20 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Hannover
- GRUBE, F. (1968): Die Pliozän-Pleistozän Grenze und das ältere Pleistozän im Hamburger Raum. - Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, 37:121-126, 1 Abb.; Hamburg
- HAHN, C. (1969): Mineralogisch-sedimentpetrografische Untersuchungen an den Flussbetsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins. - Eclogae Geol. Helvetiae, 62:227-278, 17 Abb., 9 Tab.; Basel
- HAYES, J.R. (1962): Quartz and feldspar content in South Platte, Platte and Missouri river sands, - J. sed. Petrology, 32:793-800, 3 Abb., 2 Tab.; Menasha
- HASCHEMI FARD, M.H. (1977): Die Lagerstätten der Steine und Erden im E-Teil des Großraumes Hannover und ihre wirtschaftliche Bedeutung. - Diss. Univ. Hannover: 69 S., 1 Abb., 4 Tab., 1 Kt.; Hannover
- HESEMANN, J. (1975): Kristalline Geschiebe der nordischen Vereisungen. - 267 S., 44 Abb., 29 Tab., 9 Taf.; Krefeld
- HENNINGSEN, D. (1973): Schwermineral-Untersuchung in Locker sedimenten und Sedimentgesteinen. - 2. Aufl.: 17 S.; Hannover
- HERBER, L.J. (1969): Separations of feldspar from quartz by flotation. - Am. Mineralogist, 54:1212-1215, 1 Tab.; New York

- HINSCH, W. & ORTLAM, D. (1974): Stand und Probleme der Gliederung des Tertiärs in NW-Deutschland. - Geol. Jb., A16:3-25, 6 Abb., 3 Tab.; Hannover
- HÖFLE, H.-C. (1976): Erl. geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Bl. 2717 Schwanewede: 72 S., 10 Abb., 3 Tab., 3 Kt.; Hannover
- HSU, K.J. (1960): Texture and mineralogy of the recent sands of the Gulf Coast. - J. sed. Petrology, 30:380-403, 10 Abb., 16 Tab.; Menasha
- INGERSOLL, R.V. & SUCZEK, L.A. (1979): Petrology and provenance of neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP Sites 211 and 218. - J. sed. Petrology, 49:1217-1228, 6 Abb., 3 Tab.; Menasha
- JORDAN, H. (1975): Erl. geol. Kt. Niedersachsen 1:25000, Bl.3525 Großburgwedel: 93 S., 16 Abb., 13 Tab., 4 Taf., 1 Kt.; Hannover
- KOLDEWIJN, B.W. (1955): Provenance, transport and deposition of Rhine sediments. - Geol. Mijnb. 'sGravenhage, 17:37-48, 4 Abb.; Gravenhage
- KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen. - Eiszeitalter und Gegenwart, 29:135-156, 5 Abb., 3 Tab., 1 Kt.; Öhringen (Württ.)
- LOOK, E.-R. & VINKEN, R. (1971): Elektronische Datenverarbeitung bei der Aufnahme und Herstellung von geologischen Karten. - 21 S., 2 Beil.; Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- LÜTHY, H., MATTER, A. & NABHOLZ, W.K. (1963): Sedimentologische Untersuchungen eines temporären Quartärauflusses bei der Neubrügg nördlich Bern. - Eclogae Geol. Helvetiae, 56:119-145, 15 Abb., 4 Tab.; Bern
- LÜTTIG, G.W. & MAARLEVELD, G.C. (1962): Über altpleistozäne Kiese in der Veluwe. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 13:231-237, 3 Abb.; Öhringen (Württ.)
- MCMMASTER, R.L. & GARRISON, L. (1966): Mineralogy and origin of southern New England shelf sediments. - J. sed. Petrology, 36:1131-1142, 10 Abb., 2 Tab.; Menasha
- MENYESCH, W. (1978): Zur Petrographie und Diagenese der oberkarbonischen Sandsteine des Ruhrgebietes. - Diss. Univ.Bochum: 146 S., 42 Abb., 7 Tab.; Bochum

- MEYER, K.-D. (1980): Zur Geologie der Dammer und Fürstenauer Stauchendmoränen (Rehburger Phase des Drenthe-Stadiums). - Festschrift Gerhard Keller: 83-100, 3 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Osnabrück (Verlag H.Th.Wenner)
- MRAZEK, J. (1974): Zur Stoffbestandänderung rezenter Flußsedimente. - Z. geol. Wiss., 2:19-35, 7 Abb., 1 Tab., Berlin
- MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sediment-Untersuchung. - Sediment Petrologie Teil I: 303 S., 91 Abb., 30 Tab., 2 Taf., 3 Beil.; Stuttgart (Schweizerbart)
- NEY, P. (1973): Zeta-Potentiale und Flotierbarkeit von Mineralien. - 218 S., 82 Abb., 2 Tab.; Wien (Springer)
- NORMAN, M.B. (1974): Improved techniques for selective staining of feldspar and other minerals using amaranth. - J. Research U.S. Geol. Survey, 2 Nr. 1:73-79, 2 Tab.; Menlo Park (Kalifornien)
- ODOM, I.E., Doe, T. & DOTT, R.H. (1976): Nature of feldspar-grain size relations in some quartz-rich sandstones. - J. sed. Petrology, 46:862-870, 11 Abb., Menasha
- OPPERMANN, H.-U. (1969): Kleiner Atlas der Sandeigenschaften der westdeutschen Kalksandsteinindustrie. - Forschungsbericht Nr. 14: 19 S., 9 Kt.; Hannover
- PALUSKA, A. (1976): Entwässerung des norddeutschen Flachlandes im Pleistozän und ihre Folgen für mutmaßliche Schwankungen des Meeresspiegels. - Eiszeitalter u. Gegenwart, 27:205; Öhringen (Württ.)
- PETERS, T. (1965): Zur quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Albit und Kalifeldspat in pelitischen Sedimentfraktionen. - Schweiz. min. petr. Mitt., 45/1:115-121, 1 Abb.; Bern
- PETTIJOHN, E.J. (1975): Sedimentary rocks. - 3. Aufl.: 628 S., 133 Abb.; New York (Harper & Row)
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972): Sand and sandstone. - 618 S., 258 Abb.; Berlin (Springer)
- PLAS, L. van der (1966): The identification of detrital feldspars. - Developments in sedimentology, 6:305 S., 66 Abb., 40 Tab.; Amsterdam (Elsevier)
- PLUMLEY, W.J. (1948): Black Hills terraces gravels: a study in sediment transport. - J. geol. Chicago, 56:526-577, 28 Abb., 22 Tab.; Chicago

- RINNE, F. & BEREK, M. (1973): Anleitung zur allgemeinen und Polarisations-Mikroskopie der Festkörper im Durchlicht. - 3. Aufl.: 323 S., 212 Abb., 25 Tab., 1 Beil.; Stuttgart (Schweizerbart)
- RICHTER, K. (1961): Quartär und Tertiär im Raum der Emsniederung des Hümmlings und Oldenburgs. - Z. deutsch. geol. Ges., 112:542-554; Stuttgart
- RUSSEL, R.D. (1936): The size distribution of minerals in Mississippi river sands. - J. sed. Petrology, 6:125-142, 2 Abb., 4 Tab.; Menasha
- SEVERIN, P. (1975): Untersuchungen an Alkalifeldspäten zur Ermittlung des Zusammenhanges von Kristallstruktur und Flotierbarkeit. - Diss. techn. Univ. Clausthal-Zellerfeld: 56 S., 32 Abb., 5 Tab.; Clausthal-Zellerfeld.
- SABBAN, P. (1897): Die Dünen der südwestlichen Heide Mecklenburgs und über die mineralogische Zusammensetzung diluvialer und alluvialer Sande. - Mitt. großherzogl. mecklenburg. geol. Landesanstalt: 52 S., 6 Tab., 4 Taf.; Rostock
- SMOLCZYK, H.G. (1973): Prüfung und Beurteilung von Betonzuschlag. - Schriftenreihe d. Zementindustrie, 40:57-67, 5 Abb.; Düsseldorf (Beton Verlag)
- STEIN, V. (1978): Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-reaktion im Beton. - beton 9/78:329-330, 1 Taf.; Düsseldorf
- STIELER, A. (1955): Aus der Praxis der elektrostatischen Aufbereitung. - Erzmetall, VIII, Beih.: 127-135, 8 Abb., 1 Tab.; Frankfurt a.M.
- TRÖGER, W.E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2 Textband. - 2. Aufl.: 822 S., 259 Abb., 16 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart)
- TRÖGER, W.E. (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1 Bestimmungstabellen. - 4. Aufl.: 188 S., 264 Abb., 112 Tab., 3 Beil.; Stuttgart (Schweizerbart)
- WIEGMANN, J. & KRANZ, G. (1961): Beitrag zur quantitativen Mineralanalyse von Tonen, Kaolinen und ähnlichen Gesteinen mittels röntgenographischer Methoden. - Ber. deutsche keramische Gesellsch., 38:294-302, 7 Abb., 4 Tab.; München

- WILLMANN, H.B. (1942): Feldspar in Illinois sands; a study in resources. - Illinois geol. Survey, Rep. Inv., 79:87 S., 13 Abb., 5 Tab.; Urbana (Illinois)
- WOLDSTEDT, P. & DUPHORN, K. (1974): Nordwestdeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. - 3. Aufl.: 500 S., 91 Abb., 26 Tab.; Stuttgart
- ZANDSTRA, I.G. (1971): Geologisch onderzoek in de stuwwal van de oostelijke Veluwe bij Hattem en Wapenfeld. - Med. Rijks geol. Dienst, 22:215-260, 8 Abb., 4 Tab., 2 Beil.; Haarlem
- ZSCHACH, S. (1977): Mikroskopische Differenzierung von Feldspäten durch selektives Anfärben. - Jena Rev., 1: 44-48, 4 Abb., 4 Tab.; Jena

MITTEILUNGEN AUS DEM GEOLOGISCHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

- Heft 1: BERNHARD, H.: Der Drucksetzungsversuch als Hilfsmittel zur Ermittlung der Mächtigkeit des pleistozänen Inlandeises in NW-Niedersachsen. - 108 S., 5 Taf., 1963. DM 5.-
- Heft 2: RICHTER, K.: Beziehungen zwischen lokalem Grundwasserstand und Kryoturbationen auf Bornholm. - SICKENBERG, O.: Neue Säugetierfunde aus dem Gipskarst von Osterode/Harz. - MICHAEL, E.: Mikroplankton und Sporomorphe aus dem NW-deutschen Barrême. - 48 S., 7 Taf., 1964. DM 3.-
- Heft 3: RICHTER, K.: Der Salzstock von Lüneburg im Quartär. - BENDA, L. & MICHAEL, E.: Ein neues Vorkommen von marinem Holstein-Interglazial bei Lüneburg. - RICHTER, K.: Konnektierungsmöglichkeiten niedersächsischer Flugsandrhythmen. - 50 S., 10 Taf., 1966. DM 2.50
- Heft 4: SCHRAPS, A.: Schwermineraluntersuchungen an quartären Sanden im Bereich der ostfriesischen Inseln Baltrum, Langeoog und Spiekeroog. - 149 S., 17 Taf., 1966. DM 5.50
- Heft 5: VIERHUFF, H.: Untersuchungen zur Stratigraphie und Genese der Sandlößvorkommen in Niedersachsen. - 100 S., 36 Abb., 1967. DM 5.-
- Heft 6: LOOK, E.-R.: Geologisch-stratigraphische Untersuchungen in Sedimenten der Elster- und Saale-Eiszeit (Pleistozän) am Elm, östlich Braunschweig. - 108 S., 18 Abb., 4 Tab., 27 Taf., 1968. DM 6.60
- Heft 7: SCHÜTT, G.: Die cromerzeitlichen Bären aus der Einhornhöhle bei Scharzfeld. - 121 S., 3 Abb., 32 Tab., 6 Taf., 1968. vergriffen
- Heft 8: Sonderheft zum 65. Geb.-Tag von K. RICHTER mit Beitr. von J.-D. BECKER-PLATEN, H. BERNHARD, J.-P. GROETZNER, H.-U. HARK, H. HILTERMANN, E.-R. LOOK, G. LÜTTIG, E. MALZAHN, R. MARCZINSKI, H. PUTZER, W.G. SCHRAPS, G. SCHÜTT, E.-G. SCHULZE, O. SICKENBERG, H. VIERHUFF. - 190 S., 1968. DM 8.-
- Heft 9: ZEINO-MAHMALAT, H.: Die Geologie der Mittelrätsschichten von Velpke (nördl. Helmstedt). - PAPE, Hg.: Die Malmschichten vom Langenberg bei Oker (nördl. Harzvorland). - 134 S., 21 Abb., 1 Tab., 16 Taf., 1970. DM 6.-

- Heft 10: Sonderheft zum 70. Geb.-Tag von O. Sickenberg mit Beiträgen von C. BRAUCKMANN, G. HILLMER, U. LEHMANN, E. MICHAEL, Hg. PAPE, K. RICHTER, G. SCHÜTT, H. TOBIEN. - 162 S., 1971 DM 8.50
- Heft 11: GROETZNER, J.-P.: Geschiebeführung und Stratigraphie saaleeiszeitlicher Ablagerungen (Pleistozän) im Südwestteil des Uelzener Beckens (Nordost-Niedersachsens). - 76 S., 20 Abb., 7 Tab., 2 Taf., 1972. DM 5.-
- Heft 12: PREUSS, H.: Gliederung und Zusammensetzung der Weserterrassenkörper bei Bodenfelde (mit einer geologischen Kartierung). - RAUSCH, M.: Der "Dropstein-Laminitt" von Bögerhof und seine Zuordnung zu den Drenthezeitlichen Ablagerungen des Wesertales bei Rinteln. - 86 S., 6 Tab., 4 Taf., 1975 DM 9.90
- Heft 13: (Unterkreideheft). - GEORGI, K.-H.: Mikrofaunistische Untersuchungen d. Hils sandstein-Region (Apt/Alb) im Raum Salzgitter-Goslar. - SEILER, W.C.: Mikropaläont. Untersuchungen z. stratigraph. Einstufung des Hils sandsteins (Unterkreide) in der Hils mulde (Südniedersachsen). - HEINEMANN, B.: Lateritische Verwitterungsböden aus Hils-Sandstein (Unterkreide) und Dogger-tonen im Harzvorland bei Goslar. - 152 S., 7 Taf., 24 Abb., 2 Tab., 1976. DM 11.-
- Heft 14: RAUSCH, M.: Fluß-, Schmelzwasser- und Solifluktuationsablagerungen im Terrassengebiet der Leine und der Innerste - ein Beitrag zur pleistozänen Flußgeschichte Südniedersachsens. - 84 S., 16 Abb., 4 Tab., 1 Taf., 1977. DM 7.-
- Heft 15: KRÜGER, S.: Zur Taxionomie und Systematik isolierter Schwammklerden mit Beispielen aus der Unter-Kreide Ostniedersachsens. - DENEKE, E.: Ein Profil von den Ornaten-Schichten (Callovium-Dogger) bis zum unteren Korallenoolith (Oxfordium-Malm) im Grubenfeld "Konrad", Salzgitter-Bleckenstedt (Ostniedersachsen). - HENNINGSEN, D.: Schwermi neral-Untersuchungen in quar-tär-zeitlichen Sanden nordwestlich von Hannover. - 146 S., 3 Taf., 1978. DM 11.50
- Heft 16: FISCHER, U.: Der Schichtaufbau des tieferen Lias am Egge-Osthang zwischen Horn und Langeland (Westfalen). - MUTTERLOSE, J.: Ontogenie und Phylogenie der Belemnitenart Hibolites jaculoides SWINNERTON, 1937 aus dem Hauterivium (Unterkreide) von NW-Deutschland (Sarstedt) und NE-England (Speeton). - 120 S., 7 Taf., 1978. DM 12.-

- Heft 17: SNIEHOTTA, M.: Bodenbewegungen von 1945 - 1974 im Subrosionsbereich des Salzstocks von Benthe (SW Hannover). - HOHM, D.: Über Erdfälle am nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und Osterode am Harz (Niedersachsen). - NEUSS, P.: Zur Biostratigraphie und Fazies der Unterkreide-Serien (Hauterivium - Aptium) im Eisenerz-Tagebau "Morgenstern" N Goslar (SE Niedersachsen). - 222 S., 11 Taf., 1979 DM 25.-
- Heft 18: MAUTHE, F.: Probleme und Risiken bei der geplanten Einlagerung radioaktiver Abfälle in einen nordwestdeutschen Salzstock. - 60 S., 5 Abb., 1979. DM 4.-
- Heft 19: JÄGER, M.: Die Crinoiden der nordwestdeutschen Unterkreide. - 136 S., 12 Abb., 1 Tab., 16 Taf., 1981 DM 20.-
- Heft 20: APPEL, D.: Petrographie und Genese der Sandsteine des Unter- und Mittelröts im nördlichen Harzvorland (Ostniedersachsen). - 133 S., 18 Abb., 6 Tab., 4 Taf., 1981 DM 8.-
- Heft 21: KÖTHER, A.: Kalkiges Nannoplankton aus dem Unter-Hauterivium bis Unter-Barremium der Tongrube Moorberg/Sarstedt (Unter-Kreide, NW-Deutschland). - 95 S., 56 Abb., 7 Tab., 10 Taf., 1981 DM 14.-

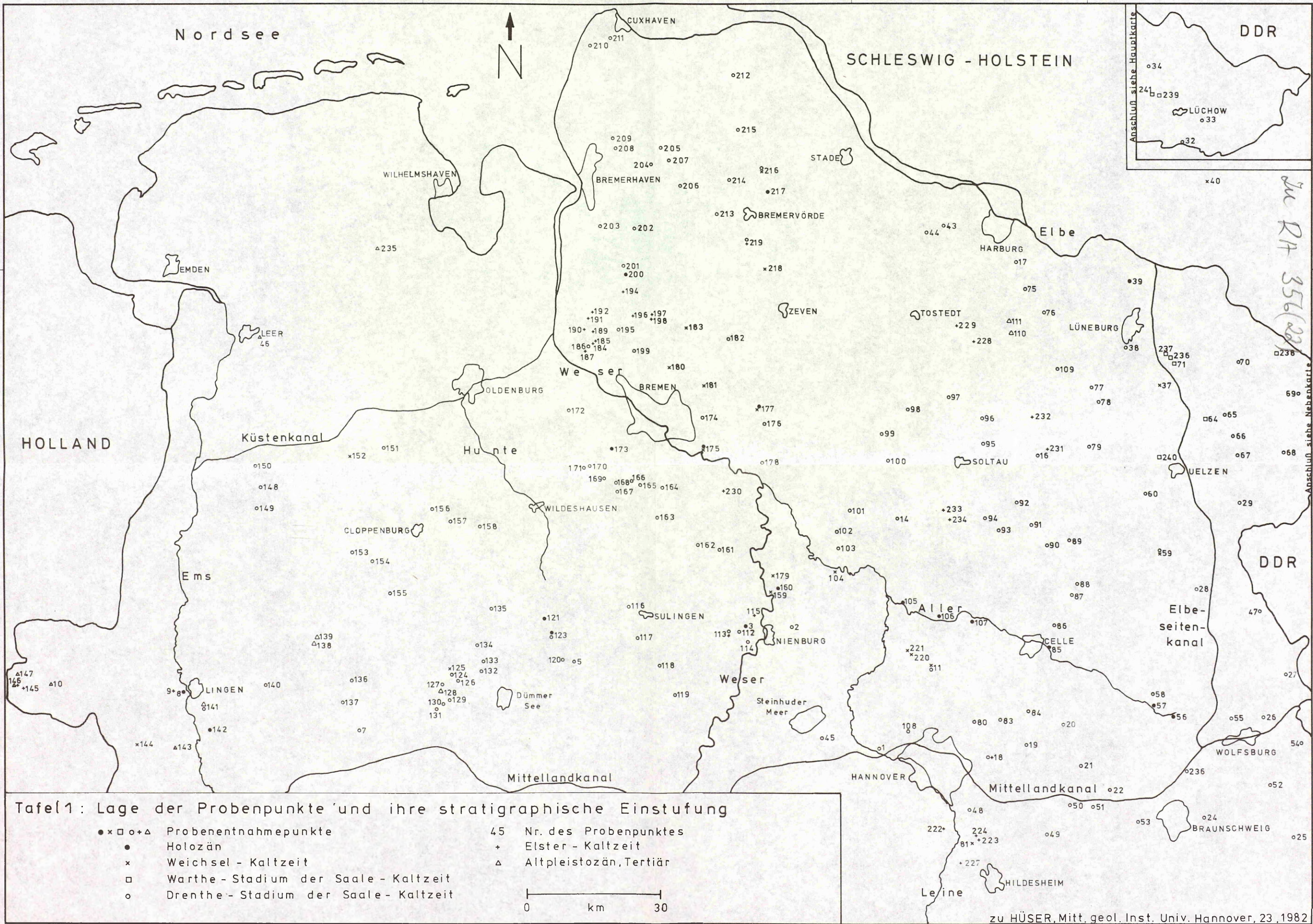
Die angegebenen Preise sind Selbstkostenpreise, daher Rabattgewährung nicht möglich.

Anfrage und Bezugsmöglichkeiten bei:

Institut für Geologie und Paläontologie
der Universität Hannover,
Callinstr. 30, D 3000 Hannover 1.

- LEBENSLAUF-

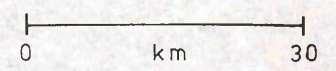
Am 9. 10. 1952 wurde ich als Sohn des Amtmannes Georg Hüser und dessen Ehefrau Charlotte Hüser, geb. Schulz, in Hannover geboren. 1956 wurde ich in die Volksschule Kestnerstrasse eingeschult. 1962 wechselte ich zum Kaiser - Wilhelm - Gymnasium, wo ich 1971 meine Reifeprüfung ablegte. Meinen Wehrdienst leistete ich in Lüneburg ab. Im Wintersemester 1972 begann ich an der Universität Hannover mit dem Studium der Geologie und Paläontologie. Nach 12-semesteriger Studiendauer legte ich im Herbst 1978 die Diplomprüfung ab. Vom 1.2.1979 bis 31.5.1981 erhielt ich eine Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geologischen Institut der Universität Hannover und wurde mit der Bearbeitung des vorliegenden Forschungsprojektes betraut.



Tafel 1: Lage der Probenpunkte und ihre stratigraphische Einstufung

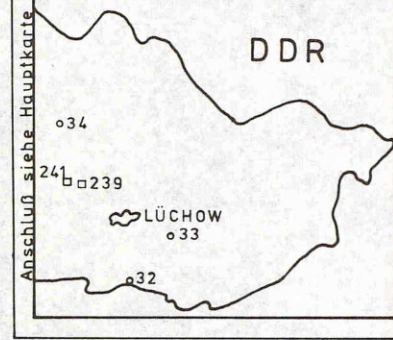
- x □ ○ + Δ Probenentnahmepunkte
- Holozän
- x Weichsel - Kaltzeit
- Warthe - Stadium der Saale - Kaltzeit
- Drenthe - Stadium der Saale - Kaltzeit

- 45 Nr. des Probenpunktes
- + Elster - Kaltzeit
- Δ Altpleistozän, Tertiär



zu R 4 356 (20)

Anschluß siehe Nebenkarte



Anschluß siehe Hauptkarte

COPY - TEAM - DRUCK

3000 Hannover 1 · Callinstr. 4 · Telefon (05 11) 70 27 05
