

# Untersuchungen zur Verwitterungsintensität pleistozäner Schotter — am Beispiel der quartären Wutachsotter von Stoberg und Bachheim\*

von

Peter Burwick, Freiburg i. Br.

mit drei Abbildungen

## Inhalt

1.	Ziel der Untersuchung und Abgrenzung der Problemstellung . . . . .	24
2.	Untersuchungsmethoden . . . . .	24
2.1	Wahl des Untersuchungsgebietes . . . . .	24
2.2	Entnahme der Proben im Gelände . . . . .	25
2.3	Laboruntersuchungen . . . . .	25
2.31	Feinbodenuntersuchungen . . . . .	25
2.32	Mineralogische Untersuchungen . . . . .	26
3.	Beschreibung der Schotterprofile . . . . .	26
3.1	Stoberg . . . . .	26
3.2	Bachheim . . . . .	28
4.	Auswertung der Untersuchungsergebnisse . . . . .	31
4.1	Korngröße . . . . .	31
4.2	Morphometrie . . . . .	33
4.3	pH und Karbonat . . . . .	33
4.4	Extrahierbare Elemente Eisen, Aluminium und Mangan . . . . .	34
4.41	Eisen . . . . .	34
4.42	Aluminium . . . . .	36
4.43	Mangan . . . . .	37
4.5	Minerale einzelner Korngrößenfraktionen . . . . .	37
4.51	Grob- und Feinsand (Fraktion 2000 — 63 $\mu$ ) . . . . .	38
4.52	Tonminerale (Fraktion < 2 $\mu$ ) . . . . .	39
4.521	Differentialthermokolorimetrie (DTK) . . . . .	39
4.522	Röntgenbeugungsanalyse . . . . .	40
4.523	Auswertung der DTK-Diagramme . . . . .	41
4.524	Auswertung der Röntgenbeugungsdiagramme . . . . .	42
4.525	Vergleich der Tonminerale von Stoberg und Bachheim . . . . .	45
5.	Zusammenfassung . . . . .	45
5.1	Verwitterungsintensität in den Profilen Stoberg und Bachheim . . . . .	45
5.2	Zur Aussagefähigkeit der angewandten Methoden . . . . .	47
6.	Angeführte Schriften . . . . .	48

\* Auszug aus einer Diplomarbeit des Instituts für Geologie und Paläontologie der Universität D 78-Freiburg i. Br., Hebelstraße 40.

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird eine Untersuchung zur Feststellung der Verwitterungsintensität pleistozäner Ablagerungen vorgelegt, die an fluvioglazialen Schottern von Stoberg und Bachheim durchgeführt wurde. Nach einer Einführung in die Methodik der physikalischen, geochemischen und mineralogischen Untersuchungen wird eine Profilbeschreibung der beiden Schotterkörper gegeben. Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen werden diskutiert. Dabei wird den tonmineralogischen Befunden besondere Bedeutung beigemessen, weil die Tonminerale als kleinste und instabilste Fraktion auf Verwitterungsprozesse am anfälligsten reagieren. Deutliche Unterschiede in der Verwitterungsintensität der Ablagerungen werden aufgezeigt und begründet. Eine Diskussion über die Aussagefähigkeit der angewandten Methoden schließt sich an.

### **1. Ziel der Untersuchung und Abgrenzung der Problemstellung**

Zahlreiche Untersuchungen zu Fragen der Vergletscherung des Schwarzwaldes gehen von der Gliederung der eiszeitlichen Ablagerungen aufgrund ihrer unterschiedlichen topographischen Niveaus und ihrer petrographischen Zusammensetzung aus. Diese Methode ist berechtigt, sofern sie sichere morphologische Grenzen der Vereisungsgebiete anzugeben vermag. Die altersmäßige Einstufung kann jedoch unsicher sein, wenn die Schotterkörper nach der Ablagerung unterschiedlichen Verwitterungsprozessen oder z. B. auch Umlagerungen unterworfen waren.

Für einen methodischen Ansatz bei der Bearbeitung von Schotterkörpern bietet sich daher die Untersuchung der Verwitterungsintensität an, denn sie ist, setzt man gleiche Ausgangsbedingungen voraus, eine unmittelbare Funktion der Zeit. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll daher geprüft werden, in welchem Maße physikalische, geochemische und mineralogische Untersuchungen dazu beitragen können, allgemeine Aussagen über die Verwitterungsstabilität und den Verwitterungsgang von pleistozänen Ablagerungen zu erhalten, wobei die Analyse der Tonminerale (als kleinster und instabiler Faktor) den Verwitterungsvorgang widerspiegeln soll.

## **2. Untersuchungsmethoden**

### **2.1 Wahl des Untersuchungsgebietes**

Zur Untersuchung wurden zwei Stellen im Wutachgebiet ausgesucht; für ihre Wahl sprachen folgende Gesichtspunkte:

1. das Talgebiet der Wutach war Hauptbewegungsbahn des Wutachgletschers und weist daher örtlich mächtige Moränen- bzw. fluvioglaziale Ablagerungen auf;
2. die ausgewählten Schotterkörper sind unterschiedlich stark verwittert;

3. das Ausräumungsgebiet beider Schotterkörper war gleich und damit — von der Ausgangslage her wesentlich für die Untersuchungen — ihre petrographische Zusammensetzung einheitlich.

## 2.2 Entnahme der Proben im Gelände

Die Probenahme am *Stoberg* erfolgte in einer dafür angelegten Profilgrube. Sie wurde vermessen und in einzelne makroskopisch sichtbare Horizonte unterteilt, aus denen jeweils ca. 1 kg Material entnommen wurde.

Das untersuchte Schotterprofil von *Bachheim* lag am Ostende der Kiesgrube, in der damals der Abbau ruhte. Das Geröll wurde ca. 20—30 cm wandtief abgetragen, um an frischen nicht durch Atmosphärien verunreinigten Schotter zu kommen. Je nach Deutlichkeit der Horizontierung erfolgte die Probenahme in unterschiedlichen Abständen. Das gesamte Profil wurde auch hier vermessen und genau beschrieben. Außerdem wurde im obersten Teil des Profils (1,40—1,70 m unter Flur) im Hinblick auf morphogenetische Aussagen (zur Methodik vergl. BLUM & BURWICK, 1971/72) eine Auszählung der Gerölle unter Berücksichtigung ihrer Größe und Form vorgenommen, die infolge Wiederaufnahme der Kiesgewinnung nicht fortgeführt werden konnte.

## 2.3 Laboruntersuchungen

Das Probenmaterial wurde im Labor getrocknet und Bodenskelett ( $> 2 \text{ mm } \phi$ ) von Feinboden ( $< 2 \text{ mm } \phi$ ) durch Sieben getrennt. Die Gesamtboden-Zusammensetzung wurde durch gewichtsmäßige Bestimmung der beiden Fraktionen ermittelt. Ferner wurde am trockenen und feuchten Feinboden die Farbbestimmung nach MUNSSELL (1954) vorgenommen.

### 2.31 Feinbodenuntersuchungen

Am Feinboden wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Korngrößenbestimmung mittels Siebmethode (bis Fraktion  $63\mu$ ) und Pipettmethode (nach KÖHN, 1928)
2. pH-Bestimmung
3. Karbonat-Bestimmung nach SCHEIBLER
4. Extraktion und kolorimetrische Bestimmung der Elemente Eisen, Aluminium und Mangan (an gemörsertem homogenisierten Feinboden) mittels
  - a) Salzsäureauszug
  - b) Natrium-Dithionit-Citrat auszug
  - c) Ammonium-Oxalatauszug

### 2.32 Mineralogische Untersuchungen

Für die Gewinnung der Grob- und Feinsandfraktion wurden Siebe benutzt. Ihre mineralogische Zusammensetzung wurde quantitativ durch Auszählung von durchschnittlich 550 Körnern je Probe unter dem Binokular ermittelt.

Die zur Tongewinnung bestimmten Proben wurden einer zusätzlichen Natrium-Dithionit-Citrat-Behandlung unterzogen, um verkittende Oxid- und Oxidhydrathüllen auf den Mineraloberflächen zu entfernen. Die Tonmineralfraktion selbst wurde durch das Schlämm- und Sedimentationsverfahren nach ATTERBERG gewonnen und mit Hilfe der Differentialthermokolorimetrie (DTK) und der Röntgenbeugung untersucht. Bei der DTK-Methode diente totgebrannter Hirschauer Kaolin als Nullstandard, gegen den die bis auf 1050° C aufgeheizten Tonproben gemessen wurden. Die Röntgenbeugung wurde mit einer  $\text{Cu}_{k\alpha}$ -strahlung an Textur- und Pulverpräparaten durchgeführt.

Um die Tonminerale aufgrund ihres kolloidchemischen Verhaltens genau zu identifizieren, wurden die Texturpräparate (hergestellt durch Absaugen von Tonsuspension auf Keramikplatten nach DÜMLER & SCHROEDER, 1965) mit verschiedenen Kationen belegt:

1. Kalium-Belegung bei 20° C
2. Erhitzung der Kalium-belegten Präparate auf 500° C
3. Magnesium-Belegung bei 20° C
4. Glycerin-Sättigung der Magnesium-belegten Präparate.

## 3. Beschreibung der Schotterprofile

Die Nummern der einzelnen Proben wurden in der Beschreibung in Klammern gesetzt, die Bodenart aufgrund der Korngrößenbestimmung nach dem Ton-Schluff-Sand-Dreiecksdiagramm bezeichnet und die Farbwerte nach MUNSELL (1954) im trockenen (T) und feuchten(F) Zustand angegeben.

### 3.1 Stoberg

Das aufgenommene Profil liegt am SE-Hang des Stobergs (Blatt 8117 Blumberg, r-Wert 3467 990, h-Wert 5301 270, Höhe 713 m über NN) in einer überwiegend mit Müll verfüllten früheren Sandgrube. Die Schotter wurden durch erosive Abtragung am Hang von kalkskelettführendem Braunerdematerial überlagert, so daß sie nicht direkt anstehen. Vom Hangenden zum Liegenden läßt sich folgendes Profil erstellen:

Lage in cm unter Flur			
0—25 cm	A <sub>11</sub>	sL	schwarzbraun, humos, Krümelgefüge
25—55 cm	B <sub>1</sub>	sL	hellolivbraun, humusarm, Polyedergefüge
55—120 cm	B <sub>2</sub>	stL	rotbraun, Prismenaggregate durchsetzt mit faust- bis kopfgroßen, oft plattigen Bruchstücken des Malm 2
120—210 cm		stL	ohne Skelett, Farbe: T 7.5 YR-5/5 hellgelbbraun, F 5 YR-4/8 gelblichrot, von 200—210 cm sporadisch bis zu 2 cm große Gerölle
210—250 cm (34)		stL	mit Geröllern, Farbe: T 7.5 YR-6/6 rötlichgelb, F 7.5 YR-4/4 braun, einzelne max. 2 cm große Gerölle, total vergrust
250—285 cm (35)		sL	mit Geröllage, Farbe: T 7.5 YR-6/5 rötlichgelbbraun, F 7.5 YR-4/4 braun, erbsen- bis faustgroße Gerölle, regellos eingebettet, meist stark verwittert
285—305 cm (36)		stL	ohne Geröll, Farbe: T 7.5 YR-6/6 rötlichgelb, F 7.5 YR-4/4 braun, hoher Glimmeranteil
305—310 cm		stL	mit Geröllern, Farbe: wie (36), bis 1 cm große vergruste Gerölle
310—325 cm (37)		IS	mit einzelnen Geröllern, Farbe: T 7.5 YR-6/6 rötlichgelb, F 7.5 YR-4/4 braun
325—335 cm (38)		IS	mit Geröllband, Farbe: T 7.5 YR-5/6 tiefbraun, F 7.5 YR-4/4 braun, stark vergruste Gerölle
335—355 cm (39)		IS	ohne Geröll, Farbe: T 7.5 YR-4/4 braun, F 5 YR-4/6 gelblichrot, glimmerreich
355—395 cm (40)		sT	mit Geröllage, Farbe: T 7.5 YR-5/5 hellgelbbraun, F 7.5 YR-4/4 braun, bis faustgroße Gerölle, stark zersetzt, regellos eingebettet
395—410 cm (41)		IT	mit Skelettstückchen aus verwitterten Geröllern, Farbe: T 7.5 YR-5/6 tiefbraun, F 7.5 YR-4/4 braun
410—440 cm (42)		sT	mit Geröllage, Farbe: T 7.5 YR-5/5 hellgelbbraun, F 7.5 YR-4/4 braun, bis faustgroße Gerölle, stark verwittert
440—460 cm (43)		stL	mit Geröllern, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 7.5 YR-4/6 tiefbraun, plattiger eckiger Kalkmergelschutt, in Verwitterung begriffen, darin eingelagert einzelne zersetzte Gerölle
460 cm +			plattiger Kalkmergelschutt des Malm 1, bis 470 cm u. F. noch einzelne Gerölle beobachtet

Das Profil Stoberg kann in drei Abschnitte gegliedert werden:

1. den kolluvialen Kalkstein-Braunerdehorizont, der sich mit dem Hangschutt des Malm 2 über den Schotterkörper gelegt hat;

2. den eiszeitlichen Schotterkörper (210—460 cm u. F.), von dem infolge des Sandabbaues nur noch die randlichen Partien existieren (in der Literatur wird die Mächtigkeit dieser Ablagerung mit 4,5 m angegeben — vergl. SCHALCH, F., 1908, S. 58);
3. den unterlagernden wasserstauenden Kalkmergeln des Malm 1 (Impresamergel).

Für die vorliegende Arbeit interessierte nur der 2. Abschnitt. Die darin vorkommenden Gerölle bestehen vorwiegend aus Grundgebirgsmaterial des Südschwarzwaldes; die Buntsandsteinrelikte treten dagegen deutlich zurück. Dies besagt jedoch nichts über die ursprüngliche Zusammensetzung, da die Sandsteine möglicherweise schneller verwitterten als die kristallinen Gesteine. Alle Gerölle zeigen deutliche Spuren der Verwitterung; sie reichen von kleinen Kerben (vor allem bei Gneisen entlang der Glimmerschichten), Löchern, Rissen und Sprüngen bis zur völligen Zersetzung der Gerölle, so daß sie nur noch von dem umgebenden Lehmmaterial im ursprünglichen Verband gehalten werden, beim Herausnehmen aber sofort zerfallen bzw. sich mit dem Spaten glatt durchschneiden lassen.

Die Schichtung ist im Aufschluß relativ gut ausgeprägt. Die scharfen Grenzen zwischen den Horizonten und die alternierende Lagerung von Kiesen und Sanden spricht für fluvioglaziale Aufschüttung; darauf weist auch die oft abgeplattete Form der völlig gerundeten Gerölle hin.

### 3.2 Bachheim

Die Kiesgrube Bachheim liegt etwa 2,5 km südlich des gleichnamigen Ortes zwischen den kleinen Tälern des Hasengrabens und des Rosenbächle (Blatt 8116 Bonndorf, r-Wert 3455 890, h-Wert 5301 560, Höhe 732 m über NN). Die Unterlage bilden (nicht aufgeschlossene) Mergel des mittleren Keupers. Der Schotterkörper kann nach makroskopischen Merkmalen in folgende, mehr oder weniger deutliche, oft ineinander übergehende „Horizonte“ gegliedert werden:

Lage in cm  
unter Flur

0—5	cm	A <sub>h</sub>	graubraun, humusarm, durchwurzelt, Kohärent-/Hül- lengenfüge, mäßig krümelig, geröllführend
5—45 (64)	cm	B <sub>v</sub>	sandiger Horizont, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblich- braun, F 7.5 YR-4/4 braun, Kohärentgefüge, geröll- führend
45—85 (65)	cm	C	stark sandige Schotter, Farbe: T 7.5 YR-5/4 braun, F 5 YR-4/4 rötlichbraun, Gerölle bis zu 6 cm groß, gut erhalten
85—100	cm		sandige Schotter, Farbe: braun, Gerölle bis 12 cm groß, schlecht sortiert

Lage in cm  
unter Flur

100—120 cm (66)		Sandschmitze, Farbe: T 10 YR-5/3 braun, F 7.5 YR-4/4 braun, gut geschichtet, vereinzelt bis 1 cm große Gerölle
120—160 cm		feinkiesige Schotter, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 5 YR-4/4 rötlichbraun, einzelne Gerölle eingeregelt
160—235 cm		Geröllage, grobkörnig, Farbe: braun, regellose Lagerung, Gerölle bis 15 cm groß, einzelne sandige Einschaltungen
235—250 cm (68)		Feinsande, Farbe: T 10 YR-5/4 gelblichbraun, F 10 YR-4/4 tiefgelblichbraun, einzelne kleine Gerölle bis max. 0,5 cm Größe, ockerbraune horizontale Roststreifenbänderung
250—320 cm (69)	stL	Farbe: T 5 Y-7/3 fahlgelb, F 5 Y-6/3 helloliv, ungeschichtet, Rostflecken, nach unten zu abnehmend
320—365 cm (70)	tU	Farbe: T 10 YR-6/3 fahlbraun, F 10 YR-5/3 braun, einzelne horizontale Sandlagen eingeschaltet
365—370 cm (71)		Sandschmitze, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 7.5 YR-5/4 braun, Schrägschichtung, einzelne Gerölle bis 2 cm Größe
370—390 cm (72)	sL	Farbe: T 10 YR-7/3 sehr hellbraun, F 10 YR-4/3 braun, mit Roststreifen
390—415 cm (73)		Sandlage, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 10 YR-4/4 tiefgelblichbraun, einzelne Gerölle bis 4 cm Größe
415—500 cm (74) +		Sand, Farbe: T 10 YR-6/3 fahlbraun, F 10 YR-4/3 braun, wenige Gerölle über 5 cm Größe, 5 schwarzbraune Horizonte, scharf aufsitzend, darüber jeweils ein 20—30 cm breiter orangebrauner Roststreifen, horizontal wechselnd mit grauen sandigen Zwischenlagen
500—505 cm		Schotter, feinkiesig, Farbe: schwarzbraun, alle Kiesel mit schwarzbraunen Überzügen
505—525 cm (76)		Geröllage, grobkörnig, Farbe: T 7.5 YR-5/4 braun, F 7.5 YR-4/4 braun, Gerölle bis 15 cm groß, z. T. rost- bis gelbbraun verfärbt
525—565 cm (77)		Kiese, feinsandarm, Farbe: T 10 YR-5/3 braun, F 5 YR-4/4 rötlichbraun, mit dunkelbraunen Überzügen, wenige große Gerölle, scharfe Grenze zum oberen und unteren Horizont
565—605 cm (78)		Geröllage, Farbe: T 7.5 YR-6/4 hellbraun, F 7.5 YR-4/4 braun, Gerölle bis 10 cm groß, schlecht sortiert, sandige Einschaltungen

---

 Lage in cm  
 unter Flur
 

---

605—685 cm (79)	Schotter mit hohem Sandanteil, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 7.5 YR-4/2 dunkelbraun, Gerölle bis 5 cm groß, abgeflacht und eingeregelt
685—705 cm (80)	Feinkies, Farbe: T 10 YR-3/2 sehr tief graubraun, F 10 YR-2/2 sehr schwarzbraun, alle Körner mit dunkelbraunen Überzügen
705—740 cm (81)	Geröllage, sehr grobkörnig, Farbe: T 7.5 YR-6/6 rötlichgelb, F 7.5 YR-5/6 tiefbraun, Gerölle bis 15 cm groß, regellos liegend, sandige Einschaltungen, rostbraune Überzüge, nach oben abnehmend
740—755 cm	Kiese, Farbe: schwarzbraun, alle Steine mit dunkelbraunen Überzügen
755—780 cm (82)	Kieslage, Farbe: T 10 YR-5/3 braun, F 7.5 YR-4/4 braun, rostbraune Überzüge auf den Kieseln
780—980 cm (83)	Gerölle mit hohem Feinsandanteil, Farbe: T 10 YR-6/3 fahlbraun, F 10 YR-5/3 braun, Gerölle bis 15 cm groß, schlecht sortiert, kleine Gerölle abgeflacht
980—1010 cm	Sandschmitze, Farbe: graubraun, wenige bis 2 cm große Gerölle
1010—1050 cm (84)	Schotterband, grobkörnig, Farbe: T 7.5 YR-5/4 braun, F 5 YR-5/4 rötlichbraun, schlecht sortiert
1050—1105 cm (85)	Schotter, feinsandig, Farbe: T 10 YR-5/3 braun, F 5 YR-4/2 dunkelrötlichgrau
1105—1125 cm	sandige Einschaltung, Farbe: grau, wenige bis 10 cm große Gerölle, eingeregelt
1125—1225 cm (86)	Schotter mit hohem Grobanteil, Farbe: T 10 YR-6/4 hellgelblichbraun, F 5 YR-4/4 rötlichbraun, wenig sortiert, z. T. stark verwittertes Geröll Basis nicht aufgeschlossen

Im Gegensatz zu Stoberg sind die in Bachheim abgelagerten Gerölle relativ frisch — es bedarf schon einiger kräftiger Hammerschläge, um diese Steine zu zerschlagen. Ihre petrographische Zusammensetzung ist ein repräsentativer Querschnitt der im Südschwarzwald vorkommenden Gesteine, im Vergleich zu Stoberg sind jedoch bedeutend mehr Gesteinsarten vertreten, was bei Unterstellung desselben Ausräumungsgebietes für beide Schotterkörper entweder durch Transportselektion oder Verwitterungsintensität unterschiedlicher Stärke bedingt ist. Typische Verwitterungsmerkmale sind in Bachheim:



1. die narbige Oberfläche sowie die meist 1—2 cm tiefe Bleichung der Bunt-sandsteingerölle;
2. die Einkerbungen entlang der Glimmerleisten bei Gneisen (im Gegensatz zu Stoberg bleibt der Zusammenhalt des Gesteins an den Anlösungsflächen jedoch erhalten);
3. feine Risse und beginnendes Herauswittern der Feldspäte bei Graniten und Granophyren.

Zusammenfassend kann aufgrund makroskopischer Beobachtungen festgestellt werden, daß die Gerölle von Bachheim in der Umgebung der lehmigen Partien (Proben 69 und 70) und an der Basis durch die Verwitterung stärker beansprucht worden sind. Die Verfestigung des Schotters nimmt nach unten zu, was durch die Auflast bedingt sein dürfte. Da die abgeflachten Gerölle im gesamten Profil deutlich und in verschiedenen Richtungen eingeregelt sind (Dachziegellagerung), ferner Einschaltungen von feinklastischen Sanden die Regel sind, muß der Schotter fluvioglazialen Ursprungs sein.

In Bachheim wurden insgesamt 23 Proben (mit den fortlaufenden Nummern 64—86) entnommen, wobei Wert darauf gelegt wurde, interessante Bereiche möglichst dicht mit Proben zu belegen, um hier Verwitterungsprozesse genau erfassen zu können, während die übrigen Proben gleichmäßig über das gesamte Profil entnommen wurden.

## 4. Auswertung der Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Korngröße

Die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung wurden zur besseren Übersichtlichkeit im Dreiecksdiagramm Ton-Schluff-Sand (vergl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1970) dargestellt (Abb. 1). Dabei zeigt sich, daß in Stoberg die Proben 35—40 zusammenliegen, während die übrigen Proben erheblich streuen. Der mittlere Tongehalt dieser Proben liegt mit 38% beträchtlich über dem Durchschnittswert (23%) der übrigen Proben. Ähnliche Aussagen lassen sich — allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen — beim Feinsand (7,5% : 14,7%) und beim Grobsand (27,6% : 45,3%) machen. Somit erweist sich das Schotterpaket im Bereich der Proben 35—40 als einheitlicher Körper, während an der Basis (Proben 41—43) und im obersten Teil des Profils eine intensivere Verwitterung der Sedimente zu einer Verschiebung der Korngrößenanteile in Richtung der feinkörnigen Fraktionen geführt hat.

Die in Bachheim entnommenen Proben sind bis auf 4 Ausnahmen (Proben 64, 69, 70 und 72) in ihrer Korngrößenverteilung sehr homogen (Abb. 1). Bei ihnen ist daher hinsichtlich der Verwitterungsintensität eine ge-

wisse Gleichartigkeit zu vermuten. Probe 64 liegt in etwa in der Nähe des Häufigkeitsmaximums Sand — da sie direkt unter Flur entnommen wurde, konnte sich hier die rezente Verwitterung von oben am stärksten auswirken. Die Proben 69, 70 und 72 nehmen dagegen eine deutliche Sonderstellung ein: Die hohen Ton-Schluff-Gehalte (2-3 mal so hoch wie der Durchschnitt der übrigen Proben) lassen sich nicht allein durch Verwitterung erklären. Es muß vielmehr vermutet werden, daß es sich bei diesen 3 Proben um Material handelt, das während eines relativen Stillstandes in der fluvioglazialen Sedimentation abgelagert wurde, als die Schmelzwässer des Gletschers nur geringe Transportkraft besaßen und daher nur feinklastische Sedimente mit sich führten.

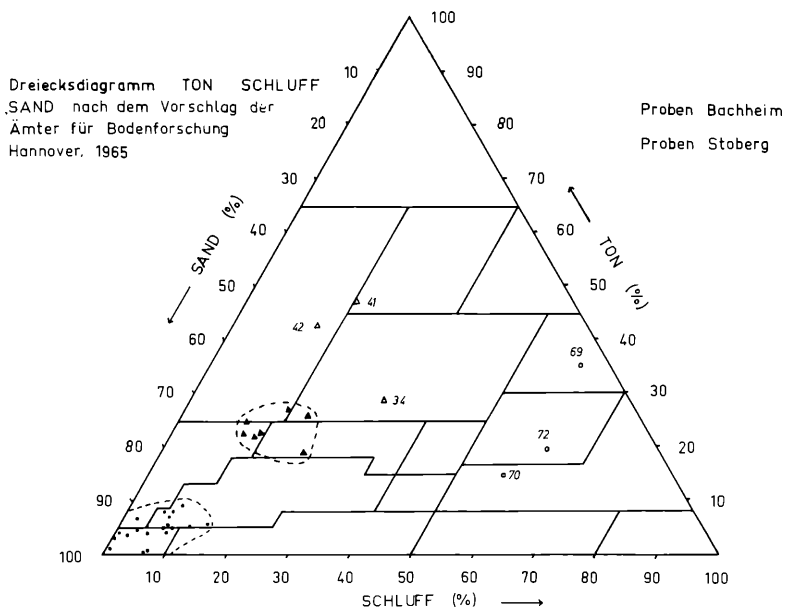


Abb. 1: Verteilung der in Stoberg und Bachheim entnommenen Proben im Dreiecksdiagramm Ton-Schluff-Sand (nach dem Vorschlag der Ämter für Bodenforschung Hannover, 1965)

Ein Vergleich der mittleren Korngrößen der Profile Stoberg und Bachheim verdeutlicht die Unterschiede in den beiden Schotterkörpern. Während die Anteile an Ton bis Feinsand in Stoberg über diejenigen von Bachheim liegen (mit einem 4 mal höheren durchschnittlichen Tongehalt — 30% 70%), weist das Profil in Bachheim einen fast doppelt so hohen

Prozentsatz Grobsand auf (37% 68%). In Bachheim ändert sich der prozentuale Anteil von der Ton- bis zur Feinsandfraktion nur geringfügig, während in Stoberg in diesem Bereich eine deutliche Verschiebung in Richtung der kleinsten Korngrößen festzustellen ist. Auch dies weist darauf hin, daß die beiden Schotterkörper verschieden alt sind.

#### 4.2 Morphometrie

Die morphometrische Analyse der Schotter von Bachheim sollte zur Entwicklung einer sicheren Arbeitshypothese vor Beginn der Laboruntersuchungen beitragen. Die Ergebnisse dieser Ansprache, die infolge der Wiederaufnahme des Kiesabbaues nicht weitergeführt werden konnte, zeigen, wie einheitlich die oberen Horizonte des Profils hinsichtlich max. Längsachse und Zurundungsgrad für Gerölle von 15—6 cm Größe sind. Vom Korngrößenbereich 6—4 cm max. Längsachse an nehmen dagegen die kantengerundeten und gerundeten Gerölle stark, die gut gerundeten dagegen nur geringfügig zu. Morphogenetisch kann daraus geschlossen werden, daß aufgrund der starken Zunahme dieser Rundungsgrade bei abnehmender max. Längsachse in diesen Horizonten keine starke chemische Verwitterung vorliegen kann. Da weitere Meßdaten jedoch wegen der o. g. Gründe fehlen, darf diese Aussage nicht überbewertet werden.

#### 4.3 pH und Karbonat

In *Stoberg* liegt der pH sehr konstant im schwach sauren bis neutralen Bereich (pH 6,5) und überschreitet erst an der Basis des Schotterkörpers die Neutralitätsgrenze — dies ist jedoch bei dem anstehenden Kalkmergelschutt zu erwarten. Entsprechend nimmt der sehr kleine Karbongehalt (0,1—0,2%) zur Basis hin zu. Probe 43 hat 11%  $\text{CaCO}_3$ .

In *Bachheim* liegt der pH im oberen Teil des Profils (Proben 64—70) im sehr stark sauren Bereich (pH 3,9); er nimmt ab Probe 74 kontinuierlich zur Basis hin zu (pH 5,0). Die Proben 68 (pH 5,1 statt 3,9) und 73 (pH 4,5 statt 5,0), welche die lehmigen Partien einrahmen, haben einen auffallend abweichenden pH. Dies steht offenbar in einem verwitterungsgenetischen Zusammenhang mit dieser lehmigen Einschaltung. Allgemein kann aufgrund des pH-Unterschieds im Profil vermutet werden, daß im oberen Teil des Schotterkörpers eine verstärkte Hydrolyse der Silikate stattfindet, was eventuell mit der oberflächennahen Lage zusammenhängt. — Im Profil Bachheim wurden keine Karbonate festgestellt.

Ein Vergleich der pH-Werte der beiden Schotterkörper zeigt, daß pH und Verwitterungsintensität nicht parallel gehen. Der Grund hierfür kann darin gesehen werden, daß im Profil Stoberg eine sekundäre Aufkalkung von oben (ma 2) eingetreten ist, deren zeitliche Datierung jedoch völlig of-

fen bleibt. Insofern kann die Aussagekraft der heutigen pH-Werte nicht in Einklang mit der Verwitterungsintensität gebracht werden, jedoch sind die insgesamt niedrigeren pH-Werte im Profil Bachheim hinsichtlich der Deutung weiterer geochemischer und mineralogischer Untersuchungsergebnisse zu beachten.

#### 4.4 Extrahierbare Elemente Eisen, Aluminium und Mangan

In dieser Arbeit wurde die quantitative chemische Untersuchung auf die Elemente Eisen, Aluminium und Mangan beschränkt. Sie geben genügend Anhaltspunkte für den hier allein interessierenden Verwitterungsablauf.

Die Elemente Eisen, Aluminium und Mangan werden als  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{Mn}^{2+}$  bei der chemischen Verwitterung silikatischer Verbindungen (Pyroxene, Amphibole, Feldspäte u. a.) freigesetzt. Aus ihnen entstehen Verwitterungsneubildungen, die, da sie nicht in silikatischer Bindung vorliegen, als freie Oxide bezeichnet werden. Es ist Konvention, als „Oxide“ nicht nur die reinen Oxide, sondern auch die Hydroxide und alle Übergänge im System  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$  (bzw. den entsprechenden Al- und Mn-Verbindungen), wie z. B. die amorphen Oxide, zu bezeichnen.

Um den Verwitterungsvorgang zu erfassen, wurde jede Probe neben einem HCl-Auszug einer  $\text{NH}_4$ -Oxalat- und einer Na-Dithionit-Citrat-Behandlung unterzogen. Die oxalatlösliche Fraktion ( $\text{Fe}_o$ ,  $\text{Al}_o$ ,  $\text{Mn}_o$ ) erfährt amorphe bzw. wenig kristallisierte Oxidhydrate, die dithionitlösliche Fraktion ( $\text{Fe}_d$  usw.) soll in der Regel alle Oxide (die kristallisierten und amorphen Bestandteile) erfassen. Das Verhältnis  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$  wird in der neueren Literatur verstärkt zur Interpretation verwitterungsgenetischer- bzw. pedogener Prozesse herangezogen. Es gibt als sog. Aktivitätsgrad der Eisenoxide (SCHWERTMANN, 1964) Auskunft über die Alterung (Kristallisation) der Fe-Oxidhydrate. Aus diesem Grunde sollte versucht werden, die Erhebung solcher Verhältniszahlen auch für Fragen der Verwitterung von Schotterkörpern heranzuziehen.

##### 4.41 Eisen

In Stoberg nimmt das im HCl-Auszug extrahierte Eisen im Profil kontinuierlich nach unten um fast 40% zu und kennzeichnet so gut den Verwitterungsablauf. Die  $\text{Fe}_d$ -Werte liegen um 13% über den  $\text{Fe}_{\text{HCl}}$ -Werten und nehmen relativ gesehen im Profil ebenfalls nach unten zu. Im obersten Bereich des Profils (Proben 33—35) scheint eine geringere Fe-Anreicherung durch die Karbonatüberdeckung bedingt zu sein, deren Eisenoxide sich im unteren Teil des Schotterkörpers angesammelt haben. Der Anteil amorpher Eisenoxide liegt unter 15% der gesamten Eisenoxide. Der Aktivitätsgrad des

Eisens ist sehr gering, ein Beweis für ihre ausgeprägte Alterung. Nur die Proben 33—35 sind  $> 0,15$ .

Die obigen Ergebnisse zeigen eine fortgeschrittene Verwitterung im Schotterkörper von Stoberg, die durch zunehmende Gehalte an Ton und pedogenen Eisenoxiden zur Basis hin belegt wird. Das Verwitterungsmaximum liegt im unteren Teil des Profils.

In Bachheim folgen die  $Fe_d$ -Werte ziemlich genau den Werten des HCl-Auszuges, liegen jedoch quantitativ beträchtlich niedriger (Mittelwerte  $Fe_{HCl} = 1500$  mg/100 g Feinmaterial, Mittelwerte  $Fe_d = 700$  mg). Beide Extraktionen ergaben geringere Eisenoxidgehalte bei den Proben 64—67 (30% unter dem Durchschnitt) und betonten die Sonderstellung der Proben 75 und 81 (80% bzw. 50% über dem Durchschnitt). Die  $Fe_o$ -Werte liegen um 30% unter den  $Fe_d$ -Werten, folgen ihnen aber mit diesem Abstand relativ gut. Der anfangs hohe Aktivitätsgrad der Eisenoxide (0,36) nimmt zur Basis des Profils hin ab, was auf beginnende Alterung der Oxide im untersten Teil der Ablagerungen hindeutet.

Das  $Fe_o/Fe_d$ -Verhältnis ist bei den Proben 68, 69 und 70 besonders hoch (0,45—0,55). Ihre Eisenoxid-Werte könnten auf Verlagerungsvorgänge hindeuten, die durch Grund- und/oder Stauwasser beeinflusst wurden. Dafür sprechen:

1. die Zunahme des  $Fe_o$  und des  $Fe_d$  zu einem Maximum (Oxydationshorizont) in Probe 68, an die eine Abnahme beider Werte im Bereich der Proben 69—71 anschließt (Reduktionshorizont);
2. die für staunasse Böden typischen Rostflecken, die nach unten abnehmen.

Danach scheint in diesen Profilmereichen eine Beeinflussung durch Stau- oder Grundwasser (Vergleyung/Pseudovergleyung) stattgefunden zu haben.

Probe 75 nimmt aufgrund ihres erhöhten  $Fe_d$  eine Sonderstellung ein. Da das  $Fe_o$  und damit der Aktivitätsgrad hier relativ klein sind, kann hieraus gefolgert werden, daß im Bereich dieser Probe Eisenoxide angereichert wurden, die durch Grund- oder Sickerwasser körnungsselektiv (Wechsellaagerung von gröberen und feineren Sedimenten) an der vergrößerten Oberfläche der Gerölle angelagert wurden. Die Eisenoxide könnten jedoch auch durch die Glimmerverwitterung im Lehmpaket (das nur 1,80 m über diesem Horizont liegt) und spontane Ausfällung bedingt sein. Ihre durch das hohe  $Fe_d$  bewiesene Alterung wurde durch eine Unterbrechung der Wasserzufuhr ermöglicht. Probe 75 wurde bewußt aus einem an rostroten Bändern reichen Horizont entnommen, um diesen Ablagerungsvorgang nachzuprüfen.

Ähnlich wie bei Probe 75 dürfte es sich bei den Proben 80 und 81 aufgrund der o. g. Kriterien um eine Mn- bzw. Fe-Anreicherung handeln.

Vergleicht man die Fe-Werte der Profile Stoberg und Bachheim miteinander, so ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Mittelwerte von  $Fe_d$

(2330 700) und  $Fe_0/Fe_d$  (0,107 0,302), daß in Stoberg die Verwitterungsintensität erheblich größer ist. Hier ist fast das gesamte extrahierbare Eisen auskristallisiert, die  $Fe_{HCl}$ -Werte liegen unter dem  $Fe_d$ . Entsprechend gering ist auch der Aktivitätsgrad der Eisenoxide. In Bachheim dagegen ist das  $Fe_0/Fe_d$ -Verhältnis relativ hoch, die amorphen Eisenoxide konnten aufgrund der jungen Ablagerung des Schotterkörpers erst in geringem Umfang altern. Die hohen  $Fe_{HCl}$ -Werte sind z. T. wohl dadurch zu erklären, daß bei dem intensiven Abbau durch die aggressive Salzsäure nicht nur kristallisiertes, d. h. sekundär ausgeschiedenes Eisen erfaßt wurde, sondern auch primäres Eisen aus dem gemörserten Feinboden. Dies kommt auch bei dem  $Fe_d$ -Wert zum Ausdruck, so daß vermutlich eine Alterung nicht eintreten konnte, weil überhaupt noch nicht genügend Eisen verwittert war.

#### 4.42 Aluminium

In Stoberg nimmt das Aluminium des HCl-Auszugs im Profil kontinuierlich nach unten ab Probe 37 um fast 45% zu. Die  $Al_d$ -Werte zeigen die gleiche Tendenz, liegen jedoch um 70% unter den  $Al_{HCl}$ -Werten. Noch niedriger liegen die  $Al_0$ -Werte, obwohl ihre Extrahierbarkeit zur Basis hin geringfügig zunimmt, was in die Tendenzrichtung der Verwitterung paßt.

Die Ergebnisse der verschiedenen Aluminium-Extraktionen bestätigen die Aussagen der Eisen-Extraktion: Das Aluminium liegt hauptsächlich als Oxid vor, der amorphe Anteil ist gering, nur im oberen Teil des Profils scheint die Alterung noch nicht sehr ausgeprägt zu sein. Die hohen  $Al_{HCl}$ -Werte lassen vermuten, daß vornehmlich zwischenschichtgebundenes sowie aus unverwitterten Silikaten stammendes Aluminium bei der Extraktion erfaßt wurde.

In Bachheim weichen die Werte der  $Al_d$ - und der  $Al_0$ -Extraktion nur geringfügig voneinander ab; da sie, gemessen am Mittelwert der  $Al_{HCl}$ -Extraktion, äußerst niedrig sind, ist vermutlich kaum amorphes bzw. gealtertes Aluminium im Feinmaterial vorhanden. Nach SCHWERTMANN (1963) treten freie Al-Oxide nicht auf, solange noch aufweitbare Dreischicht-Tonminerale vorhanden sind; daher ist der geringe Anteil an  $Al_0$  und  $Al_d$  ein Indiz für das junge Alter des Schotterkörpers.

Ein Vergleich der mittleren Aluminium-Werte von Stoberg und Bachheim bekräftigt die Ergebnisse der Eisen-Extraktion: In Stoberg ist eine zunehmende Alterung des Aluminiums zur Basis hin zu verzeichnen, die auch in dem höheren  $Al_d$ -Wert (545 mg gegenüber 155 mg in Bachheim) zum Ausdruck kommt, und damit eine erheblich größere Verwitterungsintensität als im Schotterkörper von Bachheim.

#### 4.43 Mangan

In Stoberg weichen die Mangan-Werte der 3 Extraktionen nur geringfügig voneinander ab, liegen insgesamt jedoch sehr niedrig (Mittelwert  $Mn_{HCl} = 70 \text{ mg}/100 \text{ g}$  Feinmaterial). Dies ist dadurch bedingt, daß primär weniger Mangan in silikatischer Form vorhanden ist als Fe und Al, woraus sich die großen quantitativen Unterschiede gegenüber den Extraktionsergebnissen von Eisen und Aluminium erklären.

In Bachheim spielt das Mangan eine völlig untergeordnete Rolle (Mittelwert  $Mn_{HCl} = 45 \text{ mg}$ ) mit Ausnahme von Probe 80. Hier wurde der Überzug von schwarzbraunen Kiesbänken analysiert, deren unregelmäßiger Verlauf weniger auf einen ehemaligen Grundwasserspiegel als auf Verlagerung durch Sickerwässer hindeuten könnte. Ähnlich wie bei der Eisenoxid-Anreicherung in Probe 75 (vergl. Kap. 4.41) dürfte das Mangan aufgrund der Unterbrechung der Wasserzufuhr gealtert sein.

Generell spielt bei den durch die Extraktionsverfahren gewonnenen Werten jedoch das Versuchsmilieu und das unterschiedliche Verhalten der Elemente quantitativ eine Rolle. Während bei der HCl-Extraktion ein pH von 1,5—2 vorliegt, auf den das Eisen sehr gut anspricht, liegt der pH bei der Dithionit-Extraktion bei 7,3. Im gleichen pH-Milieu erfolgt die Mangan-Bestimmung. Mangan als sehr reaktionsfähiges Element oxydiert bei höheren pH-Werten sofort und wird folglich auch schnell in die Verwitterung mit einbezogen, da es von schwachen Säuren, wie sie im Boden vorkommen, leichter als Eisen angegriffen wird. Daher verhält sich Mn umgekehrt wie Fe, was sich auch in den Werten niederschlägt.

Sieht man unter diesem Gesichtspunkt zusammenfassend die Ergebnisse der Fe-, Al- und Mn-Bestimmung der Schotterkörper von Stoberg und Bachheim, so kann festgestellt werden, daß die Gegensätze zwischen Eisen und Aluminium auf der einen und Mangan auf der anderen Seite sich in den Profilen von oben nach unten immer weiter verschärfen, wobei erschwerend hinzukommt, daß in Stoberg der Verlauf der Verwitterung, wie bereits ausgeführt, beeinflußt und verändert worden ist durch die Kalküberlagerung einerseits und den Stauwasserhorizont andererseits.

#### 4.5 Minerale einzelner Korngrößenfraktionen

Zur Gewinnung und Untersuchung der Korngrößenfraktion  $< 2 \text{ mm } \phi$  vergl. Kap. 2.32. — Die durch die Auszählung ermittelten Zahlen und prozentualen Angaben sind nicht als absolute Werte anzusehen, da Verzerrungen der Ergebnisse neben Auszählungsfehlern möglich sind durch:

1. den Verwitterungsgrad der Gerölle — bei der Siebung können Gerölle zerfallen sein und so das 2-mm-Maschennetz passiert haben;

2. das unterschiedliche Kornvolumen — bei einer Siebweite von 63—200  $\mu$  bzw. 200—2000  $\mu$  fallen Körner verschiedener Größe durch das Sieb;
3. die aggregierende Wirkung von Oxiden und Hydroxiden — sie wirkt sich vor allem auf den Glimmeranteil aus.

#### 4.51 Grob- und Feinsand (Fraktion 2000—63 $\mu$ )

Unterschiede im Mineralbestand der Schotter von Stoberg und Bachheim konnten angesichts ihres petrographisch identischen Anlieferungsgebietes nur aus der Verwitterungsintensität, der Länge des Transportweges und den pH-Bedingungen resultieren. Folgende Minerale wurden gefunden:

1. Quarz in zwei Ausbildungen: milchig-weiß (aus der Granit- und Gneis-Verwitterung) und durchsichtig-klar (wahrscheinlich vulkanischen Ursprungs);
2. Feldspäte Plagioklas wurde am porzellanartigen Aussehen, Orthoklas anhand der rötlichen Farbe, beide aufgrund ihrer (001)-Spaltflächen identifiziert. Untergeordnet tritt glasklarer Sanidin auf;
3. Akzessorien vor allem Eisenhydroxide, wie Goethit (wolkige Aggregate, gelbbraun), Limonit (faserige Aggregate, glänzend schwarzbraun) und Eisenoolithe (nur in Stoberg, aus den überlagernden Macrocephalenschichten eingearbeitet); ferner in Bachheim (Probe 80) traubige schwarze Manganoxide. Geringe Beimengungen von  $\text{CaCO}_3$  im Grobsand von Stoberg (Proben 42 und 43) stammen aus den unterlagernden Impressamergelein.
4. Glimmer der dunkelbraune Biotit ist größtenteils zu Hydrobiotit umgewandelt; hell-durchsichtiger Muskovit tritt quantitativ stark hinter ihm zurück.

Ein Vergleich der Mineralverteilung im Grobsand von Stoberg und Bachheim zeigt in beiden Profilen eine quantitative Abnahme des Quarzbestandes bei gleichzeitiger Zunahme des Feldspat- und Glimmeranteils von oben nach unten. Das Quarz/Feldspat-Verhältnis beträgt in Bachheim 4,2 : 1, in Stoberg dagegen 5,9 : 1, woraus sich eine intensivere Feldspatverwitterung in Stoberg ableiten läßt.

Im Feinsand zeigen die Feldspäte selten Spaltflächen; dies weist auf bevorzugte Zersetzung entlang der Gitternetzebene hin, während die Verwitterung der Feldspat-Bruchstücke im Feinsand langsamer erfolgt. Daraus erklären sich die im Feinsand höheren Feldspatanteile. Das Quarz/Feldspat-Verhältnis belegt auch im Feinsand die intensivere Verwitterung des Schotterkörpers von Stoberg: 2,4 : 1 in Bachheim, 3,9 : 1 in Stoberg. — Die Glimmeranteile in Stoberg (14,5% im Grob-, 25,2% im Feinsand) liegen unter den Werten von Bachheim (18,8% im Grob-, 27,4% im Feinsand); dies könnte durch den Abbau und die in Stoberg fortgeschrittene Umwandlung der Glimmer in Tonminerale bedingt sein. — Während in Bachheim kleine Granit- und Gneispartikel in der Grobsandfraktion relativ häufig sind, ist die Gesteinszersetzung in Stoberg meist bis in den Mineralverband gegangen,



so daß reliktsches Grundgebirgsmaterial sehr selten ist. Auch dies ist ein Hinweis auf intensivere Verwitterung in Stoberg. — Am besten belegen jedoch die Oxide die unterschiedliche Verwitterungsintensität: In Bachheim wurden keine Eisenoxide gefunden, in Stoberg beträgt ihr Anteil in der Grobsandfraktion dagegen fast 5%. Quantitativ nehmen sie im Profil nach unten zu, nur die Proben 33—35 passen nicht in den allgemeinen Trend aufgrund der Auswirkungen der Kalküberschüttung. Dies ist eine eindrucksvolle Bestätigung der Eisen-Extraktionsergebnisse.

Der Verwitterungsablauf ist in Stoberg am besten beim Quarz zu verfolgen: Im oberen Bereich (Proben 33—34) ist im Grobsand eine geringe, im Feinsand jedoch klare Anhäufung des Quarzes zu sehen, die zwischen den Proben 35—40 konstant um die Hälfte niedriger liegt und dann zur Basis hin wieder ansteigt. Dies macht deutlich, daß der aufliegende Kalkschutt bzw. die unterlagernden Kalkmergel die in-situ-Verwitterung des Schotters hemmen — die freiwerdenden  $H^+$ -Ionen der im Bodenkörper zirkulierenden Säuren werden, statt den Quarz angreifen zu können, sofort vom Calciumcarbonat weggepuffert. Damit zeigt der Kalk eine konservierende Wirkung, die bei einem mineralogischen Vergleich der Grob- und Feinsandfraktion (sowie der Tonmineralfraktion?) zutage tritt. Außerdem dürfte daraus geschlossen werden können, daß die Überlagerung des Schotterkörpers von Stoberg durch Kalkverwitterungslehm nicht im Reiß/Würm-Interglazial, sondern später erfolgt ist und damit die Verwitterung und die hier aufgezeigten mineralogischen Unterschiede mit beeinflußt hat (vergl. Kap. 4.3).

#### 4.52 Tonminerale (Fraktion $< 2 \mu$ )

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse haben an den Profilen Stoberg und Bachheim deutliche Unterschiede in der Verwitterungsintensität aufgezeigt. Differenzierungen innerhalb der beiden Ablagerungen konnten dabei festgestellt und in bezug auf ihre Entstehung diskutiert werden. Zur weiteren Interpretation der Entwicklung dieser Schotterkörper sollen im folgenden Tonmineral-Untersuchungen dienen.

##### 4.521 Differentialthermokalorimetrie (DTK)

Aufgrund des thermisch ähnlichen Verhaltens verschiedener Minerale ist die DTK-Methode bei der Analyse von Tonmineral-Gemischen nicht spezifisch für bestimmte Minerale; sie kann jedoch die Ergebnisse der Röntgenbeugungsanalyse untermauern.

Die Thermogramme zeigen mehrere thermisch aktive Bereiche an:

- zwischen  $100^\circ C$  —  $200^\circ C$  Abgabe des Adsorptionswassers (Endothermzacke);
- zwischen  $280^\circ C$  —  $330^\circ C$  Ausbildung einer endothermen Schulter als Hinweis auf Fe- und Al-Hydroxide auf Tonmineraloberflächen;

- zwischen  $550^{\circ}\text{C}$  —  $590^{\circ}\text{C}$  Abgabe der im Kristallgitter gebundenen Hydroxylgruppen (endothermale Dehydroxylierungszacke);
- zwischen  $870^{\circ}\text{C}$  —  $930^{\circ}\text{C}$  Zusammenbruch des Kristallgitters mit anschließender Mineralneubildung (endotherm-exotherme Zacke).

#### 4.522 Röntgenbeugungsanalyse

Trotz Vorbehandlung der Proben mit Na-Dithionit (vergl. Kap. 2.32) mußte die Eisenextraktion unvollständig bleiben, weil sie sonst die Tonminerale zu stark angegriffen hätte; sie wirkte sich daher bei den Röntgenbeugungsaufnahmen durch einen erhöhten Untergrund aus.

Zur Identifizierung der einzelnen Tonminerale aufgrund der verschiedenen Untersuchungsmethoden (Expansions- und Kontraktionsverhalten) vergl. Kap. 2.32, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1970, BLUM & MAUS, 1967, und die dort zitierte weitere Literatur. Zur halbquantitativen Bestimmung einzelner Tonmineralanteile wurde die Intensität der Basisreflexe verwendet (vergl. van der MAREL, 1966).

Kaolinit wurde durch die Basisinterferenzen (001) zwischen  $7,1$ — $7,2$  Å und (002) zwischen  $3,5$ — $3,6$  Å identifiziert. Ferner wurden die schwächeren Reflexe ( $1\bar{1}1$ ) und ( $1\bar{1}\bar{1}$ ) bei  $4,18$  Å bzw.  $4,13$  Å zur Erkennung herangezogen.

Zur Prüfung des Kristallisationsgrades wurde nach BROWN (1961) die Ausbildung der Reflexintensitäten in Richtung höherer Winkelgrade bei  $k$ -Werten von 1 und 2 im Bereich  $3,5$ — $2,5$  Å untersucht. Da hier die 4 scharfen Linien fehlen (nur bei Probe 80 sind sie angedeutet), dürfte der größte Teil der Kaolinite b-Achsen-Fehlorderungen aufweisen, was auf schlechte Kristallisation hinweist.

Die Verwechslung des Kaolinit mit Chlorit wurde durch Erhitzen der Kalium-belegten Präparate auf  $500^{\circ}\text{C}$  ausgeschlossen, ferner durch Vergleich der (060)-Reflexe beider Minerale bei  $1,53$  Å bzw.  $1,49$  Å.

Illit wurde durch den 1. Basisreflex bei  $9,9$ — $10,0$  Å identifiziert, sein dioktaedrischer Charakter durch den (060)-Reflex bei  $1,503$  Å nachgewiesen. Ferner wurde sein (110)-Reflex bei  $4,47$ — $4,50$  Å herangezogen. Diese Reflexe veränderten sich nicht bei Behandlung der Proben mit KCl,  $\text{MgCl}_2$  und Erhitzen auf  $500^{\circ}\text{C}$ .

Unregelmäßige Wechsellagerungsminerale zeigten eine breite Reflexbande zwischen  $10$ — $14$  Å mit einem Maximum zwischen  $12,0$ — $14,2$  Å bei Magnesium-belegten und Glycerin-gesättigten Präparaten. Diese Bande kontrahierte bei Kalium-Belegung, wobei die  $10$  Å-Basisinterferenzlinie deutlich zunahm. Sehr wahrscheinlich handelt es sich hier um Tonminerale, die durch verschiedene Umwandlungsstufen aus Illit entstanden sind (randliche Aufweitung der Elementarschichten) und zum Typ Illit-Vermiculit gehören dürften.

Vermiculit wurde aufgrund seines 14 Å-Reflexes identifiziert, der bei Magnesium-Belegung und Glycerin-Sättigung auftrat und bei Kalium-Belegung unter gleichzeitiger Verstärkung des 10 Å-Reflexes vollständig verschwand.

Montmorillonit wurde durch seine Aufweitbarkeit auf 18 Å bei Glycerin-Sättigung Magnesium-belegter Präparate bestimmt.

Chlorit konnte nach Kalium-Belegung und Erhitzen auf 500° C aufgrund der Verstärkung des (001)-Reflexes bei 14 Å und einer Abschwächung des (002)-Reflexes bei 7,1 Å bestimmt werden. Sein dioktaedrischer Habitus konnte nicht sicher festgestellt werden, da Illit die dafür charakteristischen Reflexe bei 1,54 Å und 1,503 Å überlagerte.

Quarz wurde anhand des (100)-Reflexes bei 4,26 Å und des (101)-Reflexes bei 3,34 Å bestimmt.

Feldspat scheint aufgrund schwacher Reflexe bei 3,85 Å und 3,79 Å vorhanden zu sein, kann aber nicht sicher nachgewiesen werden.

Reflexe bei 4,98 Å, 6,27 Å, 3,29 Å und im Bereich von 4,85—4,20 Å scheinen auf Eisen- und Aluminium-Hydroxide hinzudeuten (Goethit, Lepidokrokit, Hämatit, Gibbsit, Boehmit), erlauben jedoch wegen der Dämpfung der Zeigerauslässe keine sichere Identifizierung.

#### 4.523 Auswertung der DTK-Diagramme

Die Abgabe des Adsorptionswassers erfolgt in Stoberg in einem eng begrenzten thermischen Bereich; die spitze endotherme Zacke hat ein Maximum bei etwa 180° C, was für Illit-Minerale sehr typisch ist.

In Bachheim ist der gleiche thermische Bereich sehr weit, die endotherme Zacke niedriger und breiter (Maximum bei etwa 174°—178° C). Dies könnte auf eine in Stoberg stärkere und im gesamten Profil einheitliche Illit-Aufweitung hindeuten, während dies in Bachheim offenbar nicht der Fall ist.

Die Dehydroxylierungs-zacke hat in beiden Profilen bei 556°—568° C ihr Maximum. In Bachheim ist sie jedoch oft verbreitert, so daß sie von 450°—650° C reicht. Dies gilt besonders für Probe 64, wo der 1. Peak bei 482° C auf einen hohen Anteil an Chloriten hinweist, deren Reaktionstemperatur nach BROWN, 1961, mit zunehmender Fe-Substitution herabgesetzt wird. Schwankungen innerhalb der Dehydroxylierungs-zacke dürften durch wechselnde Anteile an verschiedenen Tonmineralen bedingt sein.

Im Bereich des Kristallgitterzusammenbruchs bei 840°—910° C ist in Bachheim die exotherme, in Stoberg dagegen die endotherme Zacke meist deutlicher ausgebildet. Daraus kann auf eine fortgeschrittene Umwandlung

der Illit-abgeleiteten Tonminerale in Stoberg geschlossen werden. Die exotherm-endothemer Reaktion ist in beiden Profilen zur Basis hin ausgeprägter, womit die Mineralumwandlung von unten nach oben gut zum Ausdruck kommt.

#### 4.524 Auswertung der Röntgenbeugungsdiagramme

Die Tonmineralverteilung wurde durch Vermessung der Peakhöhen (bezogen auf den Basisabstand) bei den verschiedenen Behandlungen errechnet und dürfte mit erheblichen Fehlern (bedingt durch unterschiedlichen Basisabstand, Tonmineralgemische usw.) belastet sein. Trotzdem wurde der Versuch einer Umsetzung in Prozentzahlen gemacht, um einen Vergleich innerhalb der Profile und untereinander zu ermöglichen.

Sind in Stoberg (Abb. 2) die Abweichungen bei den einzelnen Tonmineralen innerhalb des Schotterkörpers meist auch sehr gering, so zeigt sich doch insgesamt folgende Tendenz:

1. Zunahme des Kaolinit (Durchschnittsgehalt ca. 31%) und des Illits (Mittelwert ca. 19%) im Profil von oben nach unten bis zum jeweiligen Höchstwert bei Probe 40 (35% bzw. 38%), danach leichte Abschwächung und erneute geringe Zunahme bis Probe 43;
2. Abnahme der Vermiculits (Durchschnittsgehalt ca. 25%) zur Basis hin, niedrigster Wert ebenfalls bei Probe 40.

Demnach nimmt die Verwitterungsintensität im Gesamtprofil von oben nach unten leicht ab, die Verwitterung ist jedoch bereits soweit fortgeschritten (Aufweitbarkeit der Magnesium-belegten und Glycerin-gesättigten Prä-

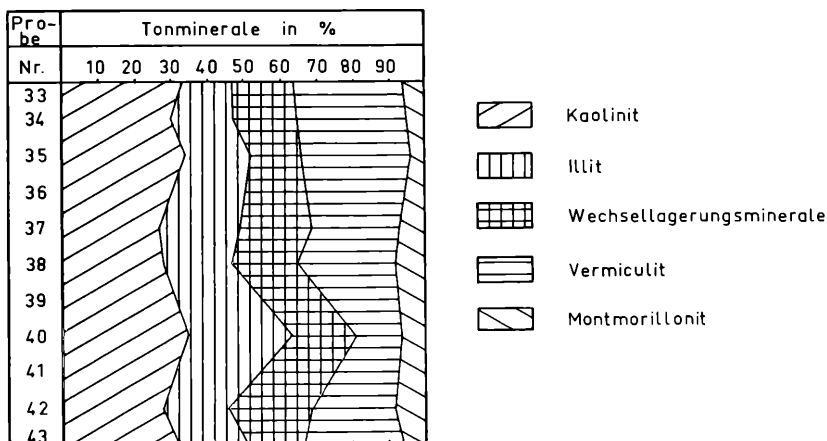


Abb. 2: Tonmineralverteilung im Profil Stoberg

parate auf 18 Å), daß große Unterschiede im Profil ausbleiben (vergl. die relative Konstanz des Montmorillonit-Anteils). Probe 40 nimmt vermutlich deshalb eine Sonderstellung ein, weil die äußeren Einflüsse (Kalküberschüttung, Stauwasser) hier am geringsten waren.

Aufgrund der Tonmineralverteilung in B a c h h e i m (Abb. 3) kann der Schotterkörper sehr gut in einen Bereich, der die Proben 64—68 umfaßt, und einen 2. Bereich, der von Probe 69 bis zur Basis (Probe 86) reicht, gegliedert werden. Die Tonminerale verteilen sich auf diese beiden Abschnitte (Angabe der Mittelwerte) wie folgt:

	Proben 64-68	Proben 69-86
Kaolinit	ca. 33 %	ca. 23 %
Chlorit	ca. 28 %	—
Illit	ca. 18 %	ca. 30 %
Vermiculit	ca. 18 %	ca. 31 %
Wechselagerungs- minerale	4 %	ca. 16 %

Aus diesen Zahlenverhältnissen ergibt sich eine im Vergleich zum unteren Teil des Schotterkörpers stärkere Verwitterung des oberflächennahen Bereichs, die zu einer größeren Zersetzung der Feldspäte (hoher Kaolinit-Anteil) und verstärktem Abbau der Glimmer-abgeleiteten Tonminerale durch randliche Aufweitung und Blockierung der Zwischenschichten (Chloritisierung) geführt hat. Dabei wurde die primäre Verwitterung durch sekundäre Umwandlung der Tonminerale zu Chlorit überlagert; sie setzt direkt unter Flur ein und verliert mit zunehmender Tiefe an Intensität; ab Probe 69 sind keine Chlorite mehr nachzuweisen. — Ferner liegt der Anteil der Glimmer-abgeleiteten Tonminerale (Illit, Vermiculit, Wechselagerungsminerale) ab hier deutlich über dem Kaolinit-Anteil. Aus der kontinuierlichen Zunahme von Kaolinit und Illit bei gleichzeitiger Abnahme von Vermiculit und Wechselagerungsmineralen zur Basis hin kann gefolgert werden:

1. die Verwitterungsintensität nimmt in diesem Teil des Profils zur Basis hin ab;
2. die Verwitterung hat hier im wesentlichen erst bei den instabilsten Mineralen, den Glimmern, intensiv eingesetzt.

Dennoch kann aufgrund der tonmineralogischen Befunde nicht von einer entscheidenden Tonmineral-Inhomogenität im gesamten Schotterkörper von Bachheim gesprochen werden. Insgesamt ist im Profil von oben nach unten eine Abnahme der Aufweitung zu verzeichnen, die im oberen Teil durch Chloritbildung fixiert worden ist. Von Probe 69 an ist die Verwitterung bedeutend schwächer, was auch in der Mineralauszählung zum Ausdruck kommt (z. B. Feldspatzunahme nach unten, vergl. Kap. 4.51).

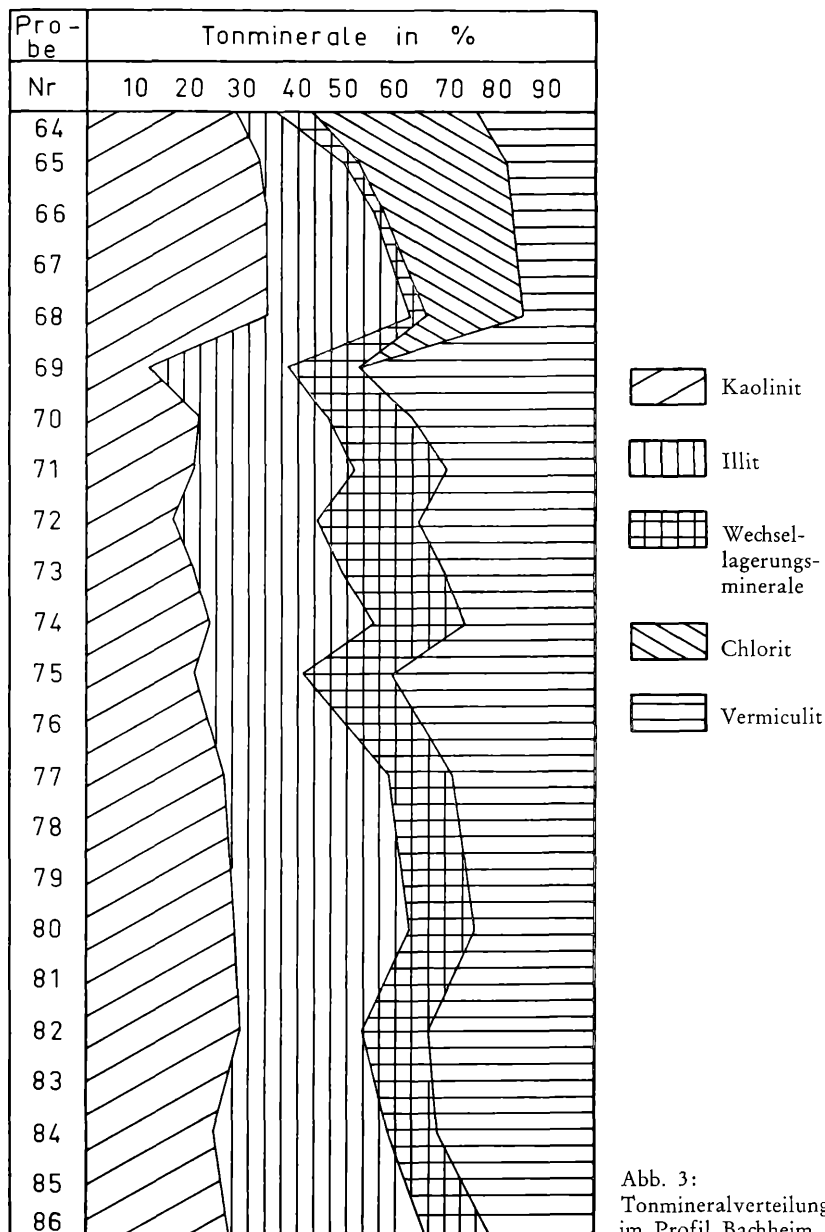


Abb. 3:  
Tonmineralverteilung  
im Profil Bachheim

#### 4.525 Vergleich der tonmineralogischen Untersuchungen von Stoberg und Bachheim

Ein Vergleich der Röntgendiagramme beider Profile zeigt folgende Unterschiede auf:

1. in Stoberg liegt der Kaolinitanteil mit ca. 31 % höher als in Bachheim (ab Probe 69 ca. 23 %) — dies deutet auf intensiveren Abbau der Feldspäte hin, eventuell auch auf eine beginnende Verwitterung der Illite zu Kaolinit;
2. in Stoberg ist die Quellung der mit Magnesium und Glycerin belegten Präparate bedeutend stärker als in Bachheim, wobei neben der Aufweitung der 10 Å-Mineraie nach 14 Å (Vermiculit) im gesamten Profil eine zusätzliche Aufweitung nach 18 Å erfolgt (Montmorillonit);
3. bei anschließender Kalium-Belegung und zusätzlicher Erhitzung der Präparate auf 500° C erfolgt in Stoberg eine vollständige Kontraktion der aufgeweiteten Tonminerale. In Bachheim bleiben nach der Erhitzung ein Reflex bei 14 Å (sehr wahrscheinlich sekundär durch Einlagerung von Al-Hydrokomplexen in aufgeweitete 10 Å-Mineraie gebildeter Chlorit) und Reflexe zwischen 11,5-12,8 Å (randlich blockierte Wechsellagerungsminerale) stehen, d. h. die Kontraktion ist deutlich unvollständig.

Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, daß der Schotterkörper von Stoberg insgesamt eine stärkere Verwitterung erfahren hat als die fluvio-glazialen Ablagerungen von Bachheim, wobei hier eine kontinuierliche Abnahme der Verwitterungsintensität zu beobachten ist.

### 5. Zusammenfassung

#### 5.1 Verwitterungsintensität in den Profilen Stoberg und Bachheim

Aus den o. g. physikalischen, geochemischen und mineralogischen Untersuchungsergebnissen kann in bezug auf die Verwitterungsintensität in den Profilen Stoberg und Bachheim festgestellt werden:

Bei Stoberg zeigt sich im Gegensatz zu Bachheim, daß der prozentuale Anteil in der Korngröße  $> 200 \mu$  (Grobsand) bedeutend geringer ist (37 % : 68 %), dagegen im Feinsand, Schluff und Ton kontinuierlich steigend zunimmt. Dies läßt eine erheblich intensivere Verwitterung im Profil Stoberg vermuten.

Übereinstimmend mit diesen physikalischen Untersuchungsergebnissen zeigen die geochemischen Analysen, daß im Profil Stoberg höhere Extraktionsquoten der Elemente Eisen, Aluminium und Mangan erzielt werden konnten (Verhältniszahlen Stoberg: Bachheim in mg/100 g Feinmaterial:  $Fe_d$  2330 : 705;  $Fe_o/Fe_d$  0,11 : 0,30;  $Al_{HCl}$  1800 : 1200;  $Al_o$  325 : 130;  $Al_d$  545 : 155).

Diese Extraktionswerte deuten darauf hin, daß durch unterschiedlich intensive Verwitterung eine veränderte Mineralzusammensetzung, vor allem in der Oxidfraktion, beider Profile vorliegen muß. Außerdem müssen die unterschiedlich extrahierbaren Mengen an Eisen, Aluminium und Mangan als Folgen einer verschiedenartigen Verwitterung von Primärmineralen angesehen werden.

Dies wird aus den mineraloptischen Untersuchungen ersichtlich, wobei das Bild vom Grobsand über den Feinsand um so klarer wird, je weiter man bei den Untersuchungen in die kleinsten Korngrößenbereiche vordringt. Während in der Grobsandfraktion durchaus noch Zufälligkeiten in der Sedimentation eine Rolle spielen können, sind diese Schwankungen in der Fraktion  $< 2 \mu$  weitgehend beseitigt. Insgesamt zeigt sich bei der Grobsandfraktion, daß der Quarz in beiden Profilen von oben nach unten abnimmt, während der Feldspat- und Glimmeranteil steigen. Bei der Feinsandfraktion wird diese Tendenz noch deutlicher, da hier der Quarz gegenüber dem Feldspat kontinuierlich abnimmt.

Diese Befunde aus den physikalischen, geochemischen und mineraloptischen Untersuchungen werden durch die Ergebnisse der differentialthermokalorimetrischen und röntgenographischen Untersuchungen der Fraktion  $< 2 \mu$  weiter abgestützt. Diesen Analysen kommt aufgrund der hohen Reaktionsempfindlichkeit der Tonminerale für diagnostische Zwecke eine besondere Bedeutung zu.

Für Unterschiede in der Tonmineralfraktion beider Profile insgesamt ist zusätzlich das Verhältnis der 7 Å-Mineralen (Kaolinit) zu den 10 Å- und 14 Å-Mineralen und Wechsellagerungsmineralen von Bedeutung. Der mineraloptisch festgestellten Abnahme der Feldspatfraktion im Grobsand entspricht eine Zunahme der Kaolinit-Fraktion, die bei etwa 100% liegt. Dies läßt vermuten, daß der Kaolinit-Anteil aus der Verwitterung des Feldspat-Anteils herrührt, zumal unterstellt werden muß, daß in den beiden Profilen die gleichen Mineralfraktionen (aufgrund des einheitlichen Anlieferungsgebietes) bei der Sedimentation vorlagen.

Neben dem Verhältnis der Tonmineralfraktionen 7 Å 10/14 Å zeigt sich im Verhältnis Illit/Wechsellagerungsminerale zu Vermiculit/Montmorillonit, daß im Profil Stoberg eine stärkere Illit-Aufweitung vorliegt. Gleichzeitig fehlt hier die Chloritbildung, die durch den Bicarbonat-Metabolismus (vergl. Kap. 4.41) in Stoberg infolge späterer Kalküberlagerung des Schotterkörpers bedingt sein dürfte.

Dagegen zeigt sich im Profil Bachheim eine einheitliche Verwitterungstendenz in diesen Mineralfraktionen von oben nach unten, die kontinuierlich in der Verwitterungsintensität abnimmt. Da in Bachheim während keiner Zeit der Verwitterung ein Bicarbonat-Metabolismus auftreten konnte, sondern von Beginn der Verwitterung an mit einer raschen Ab-



senkung des pH-Wertes in diesen kristallinen Ablagerungen zu rechnen war, treten naturgemäß im oberen, stärker verwitterten Teil des Profils sekundäre Chlorite (Proben 64-68) auf, die nach unten zu abnehmen. Aufgrund der röntgenographischen Befunde kann angenommen werden, daß es sich hier um eine sekundäre Chloritisierung von Glimmer-abgeleiteten Illiten nach ihrer verwitterungsgenetisch bedingten Expandierung handelt.

Anhand dieser differentialthermokolorimetrischen und röntgenographischen Untersuchungsergebnisse der Tonfraktion  $< 2 \mu$  kommt klar zum Ausdruck, daß das Profil Bachheim insgesamt weniger stark verwittert ist als das Profil Stoberg, zudem innerhalb des Profils Bachheim keine Verwitterungsdiskontinuität besteht, die man allein aufgrund morphometrischer bzw. Korngrößenanalytischer Analysen vermuten könnte (vergl. PAUL, 1969.) Dies wurde schon aus den o. g. geochemischen und mineralogischen Befunden deutlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Ablagerungen von Stoberg und Bachheim einen einheitlichen Verwitterungsgang aufweisen, der sich aber in der Intensität grundlegend unterscheidet. Daher ist es sehr wahrscheinlich, daß die Schotter in Bachheim später abgelagert wurden als in Stoberg, wobei man die hier von SCHALCH, 1908, vorgenommene Datierung (auf der PFANNENSTIEL & RAHM, 1963 und 1966, aufbauen) bestätigen kann.

## 5.2 Zur Aussagefähigkeit der angewandten Methoden

Kann eine morphometrische Analyse (vergl. BLUM & BURWICK, 1971/72) nur als Arbeitshypothese für spezifischere Untersuchungen zur Feststellung der Verwitterungsintensität von Schottern dienen, so erlauben die hier angewandten Methoden eine mit der Differenzierung in kleinere Korngrößenbereiche zunehmend klare Aussage. So konnte weder mit der Korngrößenanalyse noch mit der pH-Bestimmung noch mit der mineraloptischen Untersuchung der Grobsandfraktionen eindeutig geklärt werden, ob sedimentogene oder verwitterungsgenetisch bedingte (pedogene) Ursachen für die aufgezeigten Unterschiede in Frage kamen. Erst die mineraloptische Untersuchung am Feinsand sowie die tonmineralogischen Untersuchungen zeigten klare Tendenzen auf. Da die geochemischen Untersuchungen gerade auch in diesem Korngrößenbereich wirksam werden, sind sie in ihrer Aussagefähigkeit den o. g. Untersuchungsmethoden gleichzusetzen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen deutlich, daß erst durch die Differenzierung und Bilanzierung innerhalb der Feinsandfraktion nach verwitterungsresistenten und leicht verwitterbaren Mineralen, durch die unterschiedliche Extrahierbarkeit von Eisen, Aluminium und Mangan und

durch die Untersuchung der Zusammensetzung der Tonfraktion eindeutige Aussagen in bezug auf die Verwitterungsintensität gemacht werden können.

### Referenz

Herrn Dozent Dr. W. E. BLUM bin ich sehr verbunden für die Einführung in die Thematik und Methodik der vorliegenden Arbeit sowie für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. M. PFANNENSTIEL danke ich für die angebotene Veröffentlichung in den „Berichten der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg im Breisgau“

### 6. Angeführte Schriften

- BLUM, W. E., & BURWICK, P.: Zur morphometrischen Ansprache von Schotterprofilen. — Ber. Naturf. Ges. Freiburg 61/62, 93—104, 1971/72.
- BLUM, W. E., & MAUS, H.-J.: Mineralogische Untersuchungen an Sedimentgesteinen und Böden des südlichen Oberrheingrabens und der Schwarzwaldvorbergzone. I. Mitt.: Mineralbestand der Gesteine. Ber. Naturf. Ges. Freiburg 57, 175—202, Freiburg 1967.
- DÜMMLER, H., & SCHROEDER, D.: Zur qualitativen und quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Dreischicht-Tonmineralen in Böden. — Z. Pflanz. Düng. Bodenkde 109, 35—47, Heidelberg, Berlin 1965.
- KÖHN, M.: Korngrößenbestimmung mittels Pipettenanalyse. — Tonindustrie — Zeitung 1, 729—731, Goslar 1929.
- MAREL, H. W. van der: Quantitative Analysis of Clay Minerals and their Admixtures. — Contr. Min. Petrol. 12, 96—138, Berlin 1966.
- MUNSELL SOIL COLOR CHART, Baltimore 1954.
- PAUL, W.: Die plio- und pleistozänen Schotter der Wutach-Donau am Ost-Schwarzwald. — Eiszeitalter und Gegenwart 20, 232—242, Öhringen 1969.
- PFANNENSTIEL, M., & RAHM, G.: Die Vergletscherung des Wutachtales während der Rißeiszeit. — Ber. Naturf. Ges. Freiburg 53, 5—61, Freiburg 1963.
- PFANNENSTIEL, M., & RAHM, G.: Nochmals zur Vergletscherung des Wutachtales während der Rißeiszeit. — Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg 8, 63—85, Freiburg 1966.
- SCHALCH, F.: Geologische Spezialkarte des Großherzogtums Baden. Erläuterungen zu Blatt Blumberg (Nr. 133). — 86 S., Heidelberg 1908.
- SCHEFFER, F., & SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. — 7. Aufl., 478 S., 121 Abb., 70 Tab., 1 Farbtafel, Stuttgart 1970.
- SCHWERTMANN, U.: Das Verhalten des austauschbaren Aluminiums bei der Alterung von H-Tonmineralen. — Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 1, 319—323, Göttingen 1963.
- SCHWERTMANN, U.: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. — Z. Pfl. Ernährung, Düng., Bodenkde 105, 194—202, Heidelberg, Berlin 1964.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1973

Band/Volume: [63](#)

Autor(en)/Author(s): Burwick Peter

Artikel/Article: [Untersuchungen zur Verwitterungsintensität pleistozäner Schotter Ä— am Beispiel der quartären Wutachsotter von Stoberg und Bachheim 23-48](#)