

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

MATHEMATISCHE-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

ABHANDLUNGEN · NEUE FOLGE, HEFT 130

ALFRED BUCHNER

Das Sedimentgefüge
im unteren Teil der Süßbrackwassermolasse
Niederbayerns

mit 23 Abbildungen, 2 Karten, 4 Tabellen und 12 Bildtafeln

Vorgelegt von Herrn Albert Maucher
am 4. November 1966

MÜNCHEN 1967

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
IN KOMMISSION BEI DER C.H.BECK'SCHEN VERLAGSBUCHHANDLUNG MÜNCHEN

Druck der C. H. Beck'schen Buchdruckerei Nördlingen
Printed in Germany

INHALT

1. Einleitung	7
1.1 Problemstellung	8
1.2 Das Untersuchungsgebiet	10
1.21 Geographische Lage	10
1.22 Die geologischen Verhältnisse	11
2. Die Arbeitsmethoden	13
2.1 Die Probenahme	13
2.2 Härtung der ungestörten Sedimentproben	15
2.3 Schrägschichtungsmessungen	17
2.4 Identifizierung des Gefüges durch Röntgenstrahlen	18
2.5 Korngrößenanalysen	20
3. Die Gefügeabbildung	21
4. Das anorganogene Sedimentgefüge	22
4.1 Die Schrägschichtungsarten	22
4.11 Die bogige Schrägschichtung	24
4.12 Die Kreuzschichtung	27
4.13 Asymmetrische Strömungs-Kleinrippeln	27
4.131 Strömungs-Kleinrippeln, entstanden durch vertikale Anlagerung	28
4.132 Strömungs-Kleinrippeln, entstanden durch seitliche Anlagerung	29
4.14 Oszillationsrippeln	31
4.15 Interferenzrippeln	33
4.2 Die Schrägschichtung und ihre Schüttungsrichtung	35
4.3 Ebene Feinschichtung	36
4.4 Schichtinterne Fältelungserscheinungen	37
4.5 Subaquatische Rutschungen	41
5. Das organogene Sedimentgefüge	43
6. Schottereinlagerung	48
6.1 Stoffeigenschaften des Schotters	48
6.2 Orientierung der A-Achsen der Gerölle	49
7. Bruchschillanreicherung	52
8. Fossilinhalt der bearbeiteten Feinsedimente	55
9. Skalare Gefügeeigenschaften der untersuchten Feinsedimente	57
9.1 Mineralzusammensetzung und Kornform	57

9.2 Korngrößenverteilung und Sortierung	57
9.3 Kornverteilung und Schichtungstyp	58
9.4 Sortierung in Abhängigkeit vom Medianwert	64
10. Folgerungen	65
10.1 Das Ablagerungsmilieu	65
10.11 Sedimentationsbecken	65
10.12 Wassertiefe und Strömungsverhältnisse	66
10.13 Umlagerungen und Sedimentationsrate	69
11. Zusammenfassung	72
Literatur	74

Anhang: 12 Bildtafeln

VORWORT

Angeregt durch meinen Lehrer, Herrn Professor Dr. F. NEUMAIER, führte ich in den Jahren 1964 und 1965 diese Arbeit als Dissertation am Institut für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie der Universität München durch.

Der Stiftung „*Volkswagenwerk-Stipendium*“ bin ich zu ganz besonderem Dank verbunden. Erst durch ihre Hilfe wurden die umfangreichen Geländebegehungen und die Besuche der einschlägigen Institute ermöglicht.

Herr Privatdozent Dr. H.-E. REINECK und Herr Diplomeologe F. WUNDERLICH, beide von der Forschungsanstalt für Meeres-Geologie und Meeres-Biologie, „*Senckenberg*“, Wilhelmshaven, haben mich freundlich unterstützt. Auf Wattenbegehungen mit ihnen hatte ich Gelegenheit, die Gefügebildung rezenter Meeressedimente zu studieren. In vielen Diskussionen vermittelten sie mir wertvolle Ratschläge und Gedanken. Ich möchte ihnen deshalb sehr herzlich danken.

Dank gebührt ebenso den Herren Dr. H. BATSCHE, Priv.-Doz. Dr. W.-D. GRIMM und Univ.-Doz. Dr. P. WURSTER, die den Fortgang der Arbeit mit großem Interesse verfolgten.

Nicht zuletzt gehören meine dankbaren Empfindungen meinen Studienfreunden und Kollegen, die durch ihr Interesse und ihre Kritik und durch die stete Kameradschaft viel zu meiner Arbeit beigetragen haben.

1. EINLEITUNG

Die Untersuchungen in der Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns beschränken sich während der ersten Zeit vorwiegend auf Spezialkartierungen und feldgeologische Arbeiten. Erst NEUMAIER & WIESENER (1939) und ZÖBELEIN (1940) erweitern den Rahmen der reinen Kartierung, indem sie ihre Geländebefunde durch eingehende sedimentpetrographische Untersuchungen ergänzen. Ihre Aussagen über eine mögliche Gliederung der brackischen Sedimente waren auf einen engen Kartierungsraum beschränkt.

Einen beachtlichen Fortschritt über die Kenntnisse der ungefalteten Vorlandsmolasse Niederbayerns vermittelt uns die Arbeit von WITTMANN (1957). Er gewinnt an Hand einer systematischen Ordnung der lithologischen und faunistischen Fakten der brackischen Psammite und Pelite aus der Molasse Ostniederbayerns eine erste brauchbare Gliederung der früher als Gesamtschichtkomplex angesehenen Oncophoraschichten. Durch WITTMANN wissen wir, daß die brackischen Schichten und die darüberliegenden limnischen Schichten zum Komplex der Süßbrackwassermolasse zusammengefaßt werden können und daß sie ein Korrelat der Süßbrackwassermolasse der westdeutschen Vorlandsmolasse (LEMCKE, v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER, 1953) darstellen.

Vier übereinanderliegende Einheiten sind es, die WITTMANN in der Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns unterscheidet:

Hangendes: Uniosande + Limnische Süßwasserschichten
Schillsande
Glimmersande
Liegendes: Mehlsande

In dieser Schichtfolge sind wiederum durch WITTMANN weithin aushaltende und eindeutig definierte Leithorizonte gefunden worden: Der *Leithorizont I (Schillhorizont)* und der *Leithorizont II (Aussüßungshorizont)*. Wie spätere Arbeiten zeigten, erwies sich diese nach subtilen Untersuchungen gefundene Gliederung im gesamten Verbreitungsgebiet der Süßbrackwassermolasse als gültig.

Während die früheren sedimentpetrographischen Untersuchungen nur auf kleinere Teilbereiche aus dem noch wenig bekannten Verbreitungsgebiet der Süßbrackwassermolasse beschränkt bleiben, geht SCHIESSL (1962) erstmals daran, die Schwermineralverteilung im gesamten Vertikal- und Horizontalprofil der Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns zu untersuchen.

Schließlich behandelt GRIMM (1963 und 1964) neben einer kurzen Beschreibung der Mehl- und Glimmersande den Schillhorizont nach seiner Ausbildung, Verbreitung, Genese und nach seiner bergbaulichen Gewinnung. Er geht weiter ein auf die Uniosande und die Limnischen Süßwasserschichten und gewinnt in seiner Betrachtung einen Einblick in den Aussüßungsvorgang des miozänen Brackmeeres.

Von der paläontologischen Seite her behandelt SCHLICKUM (1964) die niederbayerische Süßbrackwassermolasse. Er gibt eine ausführliche und umfassende Beschreibung ihrer Molluskenfauna und geht auf stratigraphische Fragen ein.

1.1 PROBLEMSTELLUNG

Man könnte vielleicht glauben, daß durch die bisherigen Arbeiten die Probleme der Süßbrackwassermolasse Niederbayerns bereits ihre endgültige Klärung gefunden haben. Doch es schien, als ob eine Betrachtung des Gefüges der mittel- bis obermiozänen Sedimente der unteren Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns noch manch klärende und zusätzliche Aussagen über die Genese dieser Schichtfolge bringen könnte. So eine gefü-

Tabelle 1: Verzeichnis der Aufschlüsse

Nr. Aufschluß	Blatt	R	H ¹	untersuchte Schichten
1 Türkenbach	Marktl	67130	45880	GS, AS ²
2 Hitzenau	Marktl	73000	47640	GS, AS
3 Hinterholz	Marktl	73300-74080	49580-50700	MS, SH, GS, AS
4 SW Hinterholz	Simbach/Inn	74190	49380	MS
5 W Branzmühle	Simbach/Inn	75150	49880	MS, SH, GS
6 NW Edmühle	Simbach/Inn	74970	50670	MS
7 Thalham	Simbach/Inn	76940	49570	MS, SH, GS
8 E Thalham	Simbach/Inn	77200-77230	49530-49710	MS, SH, GS, AS
9 Pettenau	Triftern	81880-82140	51980-52070	MS, SH, GS, AS
10 Stubenberg	Triftern	79660	52820	MS
11 SE Straß	Triftern	83000	53460	MS
12 Schmid im Kirn	Triftern	81120-81340	56000-56150	MS, SH, GS
13 SW Warzenwies	Triftern	83900	56530	MS, SH, GS
14 N Hurn	Triftern	84530	57670	GS
15 Kößlarn	Triftern	83185	59550	MS, SH, GS
16 Kößlarn	Triftern	83650-83780	59690-59720	MS
17 SW Moosmühle	Triftern	84450	59540	MS
18 Asenham	Birnbach	79320	63620	MS, SH, GS
19 NW Asenham	Birnbach	78870	63890	GS
20 Woching	Pfarrkirchen	70820	64860	AS
21 Loderham	Birnbach	76180	65190	MS, SH, GS
22 E Thalham	Birnbach	77460	65950	GS
23 W Brombach	Pfarrkirchen	73240	66940	GS
24 Stadel Rott	Pfarrkirchen	72760	67070	GS, AS
25 Neudeck	Birnbach	79110	66150	GS
26 N Weng	Birnbach	85280	70580	MS, SH, GS
27 SW Lerchen	Birnbach	82950	71850	GS
28 Anzenkirchen	Birnbach	75640	65880	MS
29 Martinstödling	Aidenbach	80960	78440	GS
30 E Gopping	Aidenbach	79920	79550	GS, AS

¹ R = Rechtswert, H = Hochwert; den Rechtswerten ist die Zahl 45, den Hochwerten die Zahl 53 vorzusetzen.

² MS = Mehlsande, SH = Schillhorizont, GS = Glimmersande, AS = Aussüßungshorizont.

Nr. Aufschluß	Blatt	R	H ¹	untersuchte Schichten
31 W Holzpauli	Aidenbach	80630	79850	GS
32 Aidenbach	Aidenbach	80980	81620	MS, GS
33 NNW Beutelsbach	Aidenbach	82180	80620	GS
34 N Goppenberg	Aidenbach	82960	79370	GS, AS
35 Beutelsbach	Aidenbach	83730	80420	GS
36 SE Freyung	Aidenbach	83910	81560	MS
37 Rotthalmünster	Rotthalmünster	87520–87780	57340–57390	GS
38 St. Salvator	Ortenburg	87730	75090	GS

kundliche Arbeit war aber nur auf der Grundlage von Spezialkartierungen möglich. Für meine Untersuchungen waren deshalb die von WITTMANN (1957) und MAYR (1957) stammenden geologischen Unterlagen unentbehrlich.

Im Vordergrund des Interesses stand das Studium des Schichtgefüges der Sedimente der Süßbrackwassermolasse, das als *richtungenthaltendes, vektoriell Element* im Handstück- und im Aufschlußbereich beschrieben, gemessen und gedeutet wurde. Nachdem die *nichtrichtungenthaltenden*, sog. *skalaren Gefügedaten* auch mit dem Schichtgefüge in Beziehung stehen, habe ich diese Merkmalswerte der Sedimente ebenfalls bestimmt.

Das Gefüge und seine Änderung sollten im Horizontalprofil und im Vertikalprofil vollständig und exakt erfaßt werden. Es sollte außerdem untersucht werden, ob eine feststellbare Gefügeänderung im Vertikalprofil zusätzliche Kriterien für die Gliederung der brackischen Schichten liefern könnte. Die zum gleichen Schichtkomplex gehörenden Sedimente sind in den natürlichen Aufschlüssen häufig in verschiedenen Höhenlagen ihres Vertikalprofils angeschnitten.

Da die Aufschlüsse (s. Tabelle 1) in der Regel verhältnismäßig klein (1–5 m hoch, 3–30 m breit) und z.T. verfallen sind, erschien es sinnvoller, die Untersuchungen intensiv und extensiv über das gesamte Verbreitungsgebiet hin durchzuführen.

Letzten Endes sollten die bei der geologischen Kartierung bereits erhaltenen Daten durch eine gefügekundliche Bestandsaufnahme ergänzt werden, um Aussagen über Schütungsrichtung, Bildungsmilieu und Absatzbedingungen der brackischen Sedimente zu gewinnen. In einem solchen Fall tut man gut, nach dem v. HOFF-LYELL'schen Aktualitätsprinzip (KAISER 1931, S. 391) zu arbeiten: Man versucht aus den Erscheinungen der Gegenwart die Geschehnisse der geologischen Vergangenheit zu verstehen. So wird also die Gegenwart zum Schlüssel der Vergangenheit.

R. RICHTER (1928, S. 29) hat dies einmal so formuliert: „Das Wattenmeer muß die eigentliche Vorschule des jungen Geologen werden. Die Anschauung des status nascendi, der vor den Augen werdenden Geologie, ist der sicherste Weg zum geologischen Denken.“ R. RICHTER (1928, S. 20): „Sind die Gesetzmäßigkeiten aufgedeckt und die Anzeichen kritisch festgelegt, so ist es möglich, aus dem fossilen Befund die in der Vergangenheit waltende Gruppierung der Naturkräfte und Stoffe zu enthüllen.“

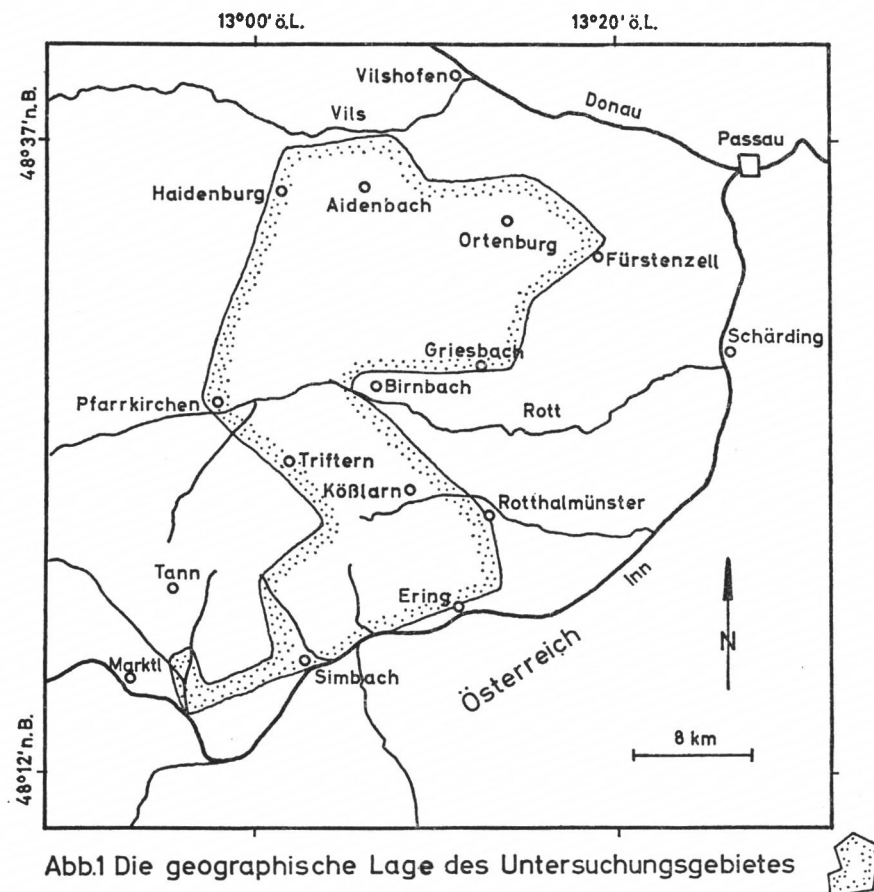
Trotz der Vorteile, die das Aktualitätsprinzip bietet, darf es bei der Deutung fossiler Gefügetypen nur mit Vorbehalt angewandt werden. Wissen wir z.B. bei einem Vergleich von fossilen Meeressedimenten mit rezenten, ob es sich tatsächlich um homologe Bildungen handelt? Man darf jedoch auf jeden Fall annehmen, daß die möglichen Fehler, die der Aktualismus in sich birgt, um so kleiner werden, je jünger die untersuchten Sedimente sind.

² München Ak.-Abh. 1967 (Buchner)

1.2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

1.21 Geographische Lage

Das Arbeitsgebiet, etwa 470 km² (s. Abb. 1), liegt in Ostniederbayern zwischen den Längengraden 12° 54' und 13° 20' (östliche Länge von Greenwich) und den Breitengraden 48° 14' und 48° 37' (nördliche Breite). Seine natürliche Begrenzung bildet im Süden das Inntal zwischen Marktl, Simbach und Ering. Im Norden wird das Untersuchungsgebiet etwa vom südlichen Vils- und Donautal begrenzt. Die westliche Grenze des Verbreitungsgebietes der Süßbrackwassermolasse verläuft zwischen Marktl, Triftern, Pfarrkirchen und Haidenburg. Eine Linie von Ering über Rotthalmünster, Birnbach, Griesbach nach Fürstenzell grenzt das Gebiet nach Osten ab.



Als Unterlagen zu den Untersuchungen wurden folgende Gradabteilungsblätter (Maßstab 1 : 25 000) verwendet:

Aidenbach	7444
Ortenburg	7445
Pfarrkirchen	7543
Birnbach	7544

Griesbach	7545
Triftern	7644
Rotthalmünster	7645/7745
Marktl	7743
Simbach	7744

1.22 Die geologischen Verhältnisse

Die sedimentpetrographischen und gefügekundlichen Untersuchungen beschränken sich auf den unteren Teil der Süßbrackwassermolasse: auf die Mehlsande, den Schillhorizont, die Glimmersande und den Aussüßungshorizont (Abb. 2). Sie erfassen also die Schichtfolge des 1. *Aussüßungszyklus* (WITTMANN 1957, GRIMM 1963) der *Miozänmolasse*.

Darüber folgt der 2. *Aussüßungszyklus*, der mit den brackischen Schillsanden beginnt und über die Uniosande und die Limnischen Süßwasserschichten bis zur Ablagerung der Fluviatilen Süßwasserschichten der Oberen Süßwassermolasse andauert. SCHLICKUM (1964) lehnt den rhythmischen bzw. zyklischen Aufbau der Süßbrackwassermolasse – bedingt durch unterschiedliche Sedimentationsverhältnisse im Absatzraum – ab. Auf Grund von paläontologischen Befunden glaubt er nur an einen einmaligen, einheitlichen Aussüßungsvorgang mit örtlichen Differenzierungen.

Alter			Fazies			Bezeichnung d. Schichten	Einheiten und Leithorizonte		Mächtigkeit	wichtigster Fossilinhalt	
			Milieu	Ausbildung							
MIOZÄN	Torton	OSM	fluviatil	Sande Kiese		Fluviatile Süßwasserschichten			0-25 m	Dinotherium bavaricum (kleine Form)	
		SBM	limnisch z.T. auch brackisch	Mergel Schluffe Sande	2. Aussüßungszyklus	Limnische Süßwasserschichten Uniosande	Einheit IV		0-70 m	Ancylus, Anodonta, Brotia, Clithon, Congeria, Gyraulus, Hydrobia, Limnopageticia, Melanopsis, Nematurella, Unio	
	brackisch		Schluffe Sande	Schillsande		Einheit III		10-15 m	Clithon, Congeria, Limnopageticia, Melanopsis, Radix, Rzehakia, Theodoxus		
	Helvet		?	limnisch z.T. brack.	Schluffe, Mer- gel, Sande	1. Aussüßungszyklus	Aussüßungshorizont	Einheit II	Leithorizont II	0,1-1 m	Clithon, Congeria, Hydrobia, Melanopsis, Theodoxus
				brackisch	Schluffe Sande Kiese		Glimmersande		10-50 m	Congeria, Euchilus, Limnopageticia, Melanopsis, Rzehakia	
				brackisch	Schill Sande		Schillhorizont		Leithorizont I	0-0,5 m	Congeria, Hydrobia, Rzehakia
				brackisch	Mergel Schluffe		Mehlsande	Einheit I		0-45 m	Congeria, Euchilus, Limnopageticia, Rzehakia
			OMM	marin	Mergel Schluffe Sande		Blättermergel / Glaukonitsande			10-15 m	Haifischzähne, marine Muscheln und Schnecken
	OSM Obere Süßwassermolasse SBM Süßbrackwassermolasse OMM Obere Meeresmolasse Untersuchungsbereich										

12

1. Einleitung

Abb. 2 Gliederung der Süßbrackwassermolasse in Ostniederbayern

2. DIE ARBEITSMETHODEN

Der Zustand der untersuchten Aufschlüsse (s. Karte 1) war in den meisten Fällen (besonders im Bereich der Mehlsande) so ungünstig, daß das Sedimentgefüge zunächst nicht zu erkennen war. Erst nach einer langwierigen Bearbeitung der 65°-schrägstehenden bis senkrechtstehenden Aufschlüsse waren die Untersuchungen durchführbar. Die verrutschten Bereiche wurden, wenigstens an einigen Stellen, mit einem Spaten freigelegt. Danach wurde die gesamte aufgeschlossene Fläche mit einem stabilen Messer (Schneide: 5 cm breit, 25 cm lang) möglichst glatt angeschnitten. Erst dann kam das in der rauhen, unpräparierten Aufschlußwand verborgene Interngefüge mehr oder weniger deutlich zum Vorschein.

Diese Arbeitsweise setzte jedoch eine Sedimentkonsistenz voraus, die einen glatten Anschnitt mit einem Messer ermöglichte. Waren die Schichten durch Konkretionsbildungen fest oder hart verkittet, oder bröckelten sie beim Anschneiden immer wieder ab (Bröckelstruktur!), so mußte die Gefügeuntersuchung auf, für einen vertikalen Planschnitt gerade noch geeignete, kleine bis kleinste Aufschlußbereiche (bis 1 dm²) beschränkt werden. Aber auch die Gefügeelemente aus solchen Detailbereichen liefern wichtige Daten für die Erfassung des Gesamtgefüges.

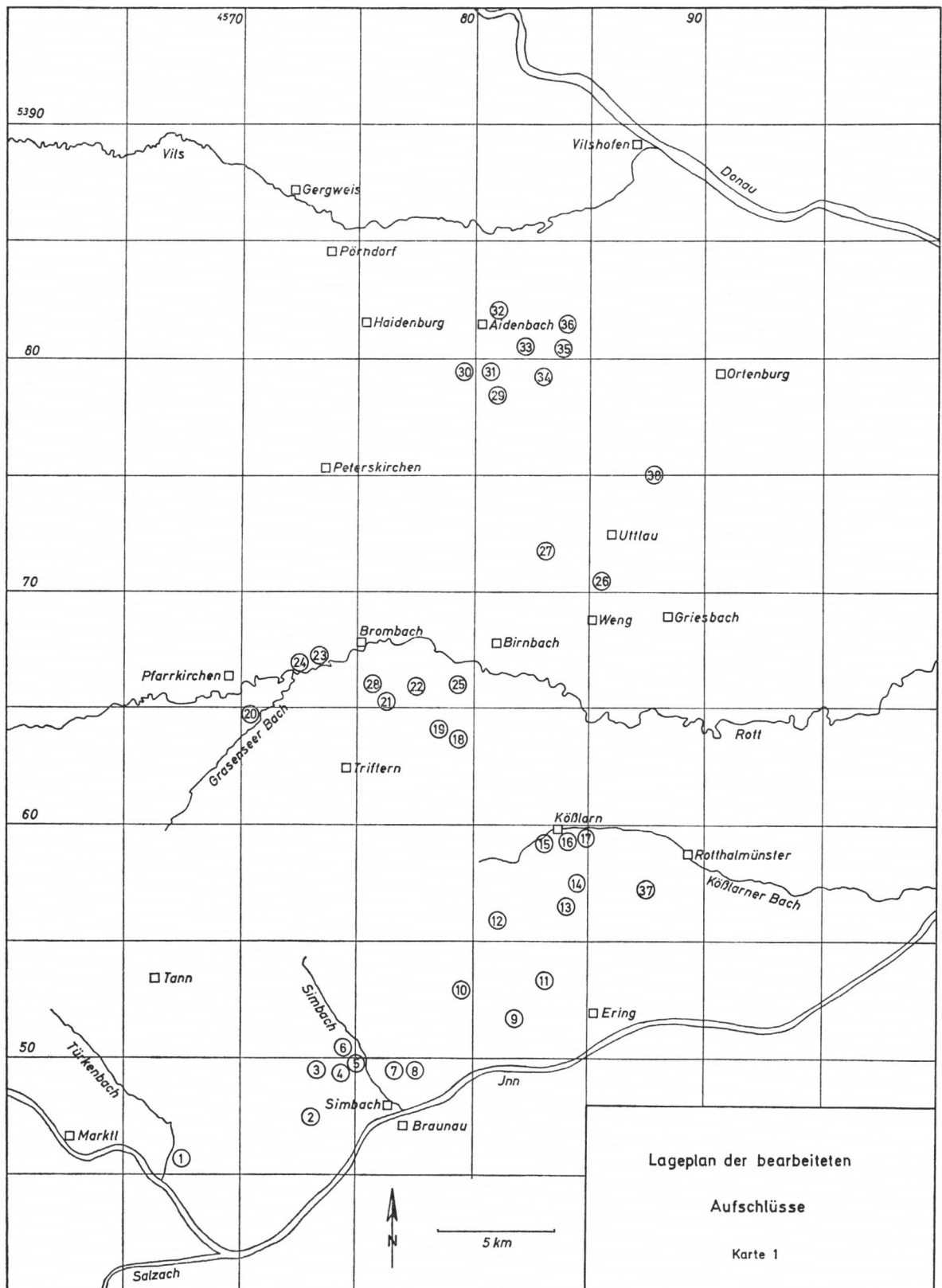
2.1 DIE PROBENAHEME

Ein Großteil der Untersuchungen (Schrägschichtungsmessungen, Bestimmung der Orientierung von Geröllen und Fossilien, Bestimmung der Mächtigkeit und Form der Schüttungskörper, Beschreibung des sichtbaren Schichtgefüges, Untersuchung der Schichtoberkante, Anfertigung von Zeichnungen usw.) wurde in den Aufschlüssen vorgenommen. Für die Vertiefung und Präzisierung der Geländebeobachtungen aber war eine systematische Probenahme für die spätere Laborarbeit erforderlich.

Die Kornverteilung der Sedimente wird von ihrem Lagenbau stark beeinflusst. Damit die untersuchten Proben überhaupt repräsentativ für einen bestimmten Bereich sind, bin ich nach einem Vorschlag von APFEL (1938) vorgegangen. Ich war also bestrebt, immer eine bestimmte „Phase“ zu erfassen, d. h. einer bestimmten Schichtdicke zu entnehmen, die offensichtlich einem Zeitabschnitt mit gleichbleibenden Transportbedingungen entsprach.

Um die durchschnittliche Kornverteilung im Vertikalprofil und im Horizontalprofil zu erfassen, wurden die Probenahmen möglichst gleichmäßig auf das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt. Die einzelnen Sedimentproben wurden einem 0,5–1,0 m langen Schurfschlitz entnommen.

Es sollte schließlich untersucht werden, ob einem bestimmten Schichtungstyp eine besondere Korngrößencharakteristik zukommt. Dazu war es notwendig, die Proben nur aus solchen Sedimentations- oder Schüttungseinheiten zu entnehmen (z. B. Schrägschichtung oder Horizontalschichtung), die unter gleichen oder ähnlichen Bildungsbedingungen entstanden.



Es wurde bereits erwähnt, daß das Sedimentgefüge z. T. auch nach der Präparation der Aufschlußwände nur schwach und verschwommen zu sehen war. Um auch in diesen Fällen eine detaillierte und scharfe Gefügeabbildung zu erzielen, wurden zur Herstellung von An- und Dickschliffen ungestörte und orientierte Sedimentproben entnommen. Dazu dienten am Anfang der Untersuchungen Aluminium-Hartblech-Stechkästen mit den Ausmaßen $10 \times 15 \times 6$ cm und $8 \times 10 \times 3$ cm. Die für eine Probenahme ausgewählten Stellen der Aufschlußwand wurden mit einem scharfen Messer ebenflächig angeschnitten. Anschließend wurde der dem verwendeten Stechkasten entsprechende Flächeninhalt vorsichtig ausgeschnitten, damit der Rahmen des Kastens leichter einzudrücken oder einzuschlagen war. Nachdem die Rückseite der Probe vom Sedimentverband abgetrennt war, konnten die Ober- und Unterseite des Stechkastens mit je einem Deckel dicht verschlossen werden. Diese Arbeitsweise war oft recht umständlich und, wenn überhaupt, meist erst nach mehrmaligen Versuchen erfolgreich. Außerdem mußten die Proben vor der Härtung im Labor wieder aus den Aluminium-Kästen herausgenommen werden, wobei sie oft zerfielen und unbrauchbar wurden. Im allgemeinen lassen sich die bergfeuchten Lockersedimente wegen ihrer besser zusammenhaftenden Konsistenz leichter entnehmen als trockene Sedimente. Um auch diese zu gewinnen, habe ich die trockenen Aufschlußwände regelmäßig angefeuchtet und dadurch jene leichtere Art der Probenahme erzielt, die bergfeuchten Sedimenten eigen ist. Nach dieser Manipulation konnten die orientierten Proben mehr oder weniger leicht entnommen werden. Ihre Größe richtete sich nach der jeweiligen Sedimentfestigkeit. Im Durchschnitt liegt die Probengröße bei 8 cm Breite, 12 cm Länge und 3 cm Dicke. Die so gewonnenen ungestörten Sedimentblöcke wurden vorsichtig auf Papier oder in Blechdosen gelegt und, in Kartons verpackt, in das Labor gebracht. Hier wurden sie ca. 2–5 Monate bei Zimmertemperatur getrocknet.

2.2 HÄRTUNG DER UNGESTÖRTEN SEDIMENTPROBEN

Die getrockneten, aber locker gefügten Sedimentproben müssen für die Anfertigung von An- und Dickschliffen gehärtet werden.

Früher wurden als Härtemittel für Lockersedimente Paraffin und Wachs verwendet. Diese Mittel hatten nur eine geringe Festigkeit und sie waren nicht schleifbar. Heute werden sie nur noch in einigen Fällen, besonders zur Härtung von rezenten Meeressedimenten, herangezogen. Seit etwa 1930 wurden für die Sedimenthärtung Harze und Lacke verwendet, deren Schleifhärte aber immer noch nicht den gewünschten Anforderungen entsprach. Erst durch die Anwendung ungesättigter Polyesterharze erreichte die Herstellung von Sedimentschliffen einen beachtlichen Fortschritt. In vielen Veröffentlichungen (GOEMANN 1937, KUBIENA 1937, INGERSON & RAMISCH 1954, ALTEMÜLLER 1956, REINECK 1958 a, BAUTSCH & RICHTER 1959, BORCHERT 1961 und 1963, REINECK 1963) wird über solche Härtungsmethoden berichtet.

Zur Härtung meiner Lockersedimente wurden zwei von der Firma CIBA A.G., Wehr/Baden, empfohlene Harztypen verwendet.

Die Mischungen bestehen beim Typ Nr. 1 aus:

	Mischungsverhältnis
a) Kunstharz Araldit CY 219 (zähflüssig)	100 Teile
b) Härter Hy 977 (flüssig)	50 Teile
c) Beschleuniger DY 219 (dickflüssig)	1 bis max. 2 Teile

(Die Härtungszeit betrug bei einer Temperatur von 70° C ca. 7–15 h).

beim Typ Nr. 2 aus:

	Mischungsverhältnis
a) Kunstharz Araldit MY 740 (zähflüssig)	100 Teile
b) Härter HY 951 (flüssig)	10 Teile
c) Beschleuniger DY 061 (dickflüssig)	1 bis max. 2 Teile

(Die Härtingszeit betrug bei einer Temperatur von 90° C ca. 10–20 h).

Die Anfangsviskosität dieser Harz-Härter-Beschleuniger-Mischungen liegt, bei einer Temperatur von 20°–25° C, in beiden Fällen zwischen 500 und 1500 cP. Die Viskosität bei 70°–90° C betrug etwa 35–70 cP; sie konnte durch Zugabe von etwa 10–20 Gewichtsteilen flüssigen Dibuthylphthalats noch weiter herabgesetzt werden.

Die trockenen und plangeschnittenen Sedimentproben – ca. 100 Stück – legte ich mit größter Sorgfalt mit ihrer künftigen Schlißfläche nach unten in einzelne Aluminium-Formen. Proben, die bei diesem Arbeitsgang zerbrachen, wurden, sofern noch möglich, wieder vorsichtig zusammengebunden. Die einzelnen Aluminium-Formen, aus einer ca. 40 µ starken Folie³ angefertigt, waren jeweils nur einmal zu gebrauchen. Das Kunstharzgemisch wurde bei Zimmertemperatur angerührt. Es wurde nur so viel angesetzt, wie zu einer Präparation notwendig war. Im Trockenschrank konnten 5–8 Proben untergebracht werden; für ihre Härtung benötigte ich etwa 300–500 g Harzgemisch. Dem abgewogenen Kunstharz (Gewichtsteile des Gemisches siehe oben) wurde zuerst der Beschleuniger zugesetzt; seine Menge soll 2 Gewichtsteile (auf 100 Teile Harz) nicht überschreiten, da sonst die exotherme Reaktion bei der Härtung zu stark wird und auftretende innere Spannungen zu Bruch und Rißbildungen der Proben führen. Erst nachdem die beiden Komponenten gut verrührt waren, wurde der Härter zugegeben. Nach erneuter kräftiger Durchmischung – eine gleichmäßige Verteilung der Komponenten muß gewährleistet sein – wurde das Gemisch mit Dibuthylphthalat verdünnt. Die angegebene Reihenfolge der Komponenten-zugabe gilt für beide Harztypen.

Die gebrauchsfertige, dünnflüssige Mischung wurde nun vorsichtig in die einzelnen Aluminium-Formen mit ihren, im Trockenschrank auf 30°–50° C vorgewärmten Sedimentproben gegossen. Die Unterseite (= Schlißfläche) der Proben mußte vollständig und reichlich mit Gießharz benetzt sein. Dann wurden die Proben in einen auf 70° bzw. 90° C (je nach Harztyp) aufgeheizten Trockenschrank gestellt, in dem ein Vakuum von 35 bis 40 mm-Hg erzeugt wurde. Durch die Evakuierung wird ein besseres Eindringen des Härtungsmittels ermöglicht. Das Gießharz konnte nun von unten (Kapillarwirkung!) in den Porenraum des Sediments eindringen. Nach ca. 30 Minuten wurden die Proben aus dem Unterdruck-Trockenschrank genommen und ein letztes Mal intensiv und allseitig mit Kunstharz beträufelt. Anschließend kamen die Stücke wieder in den auf 70° bzw. 90° C vorgewärmten Wärmeschrank, in dem sie bei normalem Luftdruck, je nach Harztyp nach etwa 7–20 Stunden, gehärtet und schleiffähig waren.

Von den abgekühlten Proben wurden Anschliffe und Dünnschliffe gemacht. Diese fertigte ich nach der für die Dünnschliff-Herstellung aus Festgesteinen bekannten Methode an. Die Stücke wurden, soweit ihre Festigkeit es zuließ, an zwei bzw. drei aufeinander senkrecht stehenden Flächen naß geschliffen (Vertikalanschliffe und Horizontalanschliffe). Die Schleifarbeit begann mit grobem Schleifpulver (Körnung 150). Später wurde feineres (Körnung 320) und zuletzt ein Schleifpulver mit der Körnung 600 verwendet. In manchen Fällen drang das Kunstharz nicht gleichmäßig tief in die Sedimentproben ein. Der Anschliff

³ Die Folie war im Handel nicht erhältlich; sie wurde mir freundlicherweise von einer Münchner Stanniol-Verarbeitungsfirma zur Verfügung gestellt.

erreichte dann ungetränkte Stellen (meist tonige Lagen), die eine Nachtränkung mit Zaponlack notwendig machten. Diese Arbeitsweise wirkte sich im allgemeinen nicht störend auf das Gesamtbild der Anschlifffläche aus. Die mit Zaponlack behandelten Stellen erscheinen nur heller als die mit Kunstharz getränkte Umgebung. Die angeschliffenen Flächen der Proben ließen aber häufig nur im angefeuchteten Zustand Einzelheiten des Gefüges erkennen. Durch eine wiederholte Lackierung mit Zaponlack gelang es, das Gefügebild der Schlifffläche für unbegrenzte Zeit sichtbar zu erhalten. Die lackierten Anschliffe wurden im Auflicht mit einem Stereo-Mikroskop (stärkste Vergrößerung 100-fach) untersucht.

Die bei der Polymerisation des Harzgemisches auftretenden Schwunderscheinungen waren minimal und für die Untersuchungen ohne Bedeutung. Durch die Harztränkung trat in den Anschliffen ein Farbeffekt (vorwiegend Grüntöne!) auf, der sich bei der Bearbeitung keineswegs störend auswirkte.

Schließlich möchte ich als relativ billiges und einfach zu verarbeitendes Härtemittel noch Herosinol, einen Zweikomponentenlack auf Desmodur-Desmophen-Basis, erwähnen. Eine Mischung aus „Herosinol hell“ und „Herosinol blond“ im Verhältnis 1 : 1 ergibt die Härteflüssigkeit. Die Mischung ist dünnflüssig. Die Härtungsdauer bei Zimmertemperatur beträgt 1–2 Tage. Durch Wärme- und Lichteinwirkung kann sie beschleunigt werden. Die Härtungsarbeiten mit dem Kunstharz Araldit waren bereits vor Bekanntwerden des Herosinols in vollem Gange. Herosinol wurde daher nur in seltenen Fällen verwendet, und zwar zur Härtung von ca. 60 cm³ großen mittel- bis grobkörnigen Sedimentproben. Deshalb sind keine endgültigen Aussagen über die Eignung dieses Mittels möglich.

Nähere Einzelheiten über die verwendeten Härtungsmittel sind den Merkblättern der Firmen CIBA A.G., Wehr/Baden, und ROSNER OHG, München, zu entnehmen.

2.3 SCHRÄGSCHICHTUNGSMESSUNGEN

In der Literatur werden mehrere Meßverfahren zur Bestimmung der Schüttungsrichtung der schräggeschichteten Sedimente beschrieben (REICHE 1938, ILLIES 1949, NIEHOFF 1958, WURSTER 1958, EINSELE 1960). Die Anwendung der einzelnen Verfahren hängt von dem jeweiligen Untersuchungsziel ab. In jedem Fall ist aber auf eine systematische Anordnung der Meßstellen zu achten. Es wurde immer versucht, in den einzelnen Aufschlüssen möglichst viele Messungen zu machen, um daraus wirklich repräsentative Mittelwerte zu gewinnen. Eine gefühlsmäßige Auswahl der Meßstellen muß, um Zufallswerte auszuschließen, vermieden werden. Die direkte Messung von Einfallswinkel und Einfallsrichtung durch Eindringen eines Leichtmetallbleches an der Meßstelle war oft schwierig.

Zur Bestimmung der mittleren Schüttungsrichtung der Glimmersande erschien mir deshalb die Meßmethode nach ILLIES (1949) am zweckmäßigsten. Im Bereich der ebenflächig präparierten Aufschlußwand wurden über die gesamte aufgeschlossene Höhe senkrechte, ca. 10 cm breite Schurfschlitze angebracht. Ihr Abstand hing von der Größe der einzelnen Schüttungskörper ab. Nun konnten Streichen und Fallen der an der Aufschlußwand und im senkrechten Einschnitt beobachteten Schichtspuren gemessen und notiert werden. Für jede einzelne Schrägschichtungsmessung wurden also jeweils die zwei zueinander senkrecht stehenden Schichtspuren eingemessen. Diese lagen in einer Ebene, in der Schichtebene (= Schichtfläche). Auf dem SCHMIDT'schen Netz konnten nun aus den Meßwerten der zwei zueinander senkrecht stehenden Schichtspuren die wahre Einfallsrichtung sowie der wahre Fallwinkel der Schrägschichtung konstruiert werden. Die untersuchten Schrägschichten sind tektonisch ungestört.

Bei der meist vorhandenen $\pm$ starken Krümmung der einzelnen Schichtblätter ist die Bestimmung der Schüttungsrichtungen durch Schrägschichtungsmessungen häufig ungenau. NIEHOFF (1958) hat sehr ausführlich beschrieben, wie je nach dem Winkel der Aufschlußwand zu den einzelnen Schichtblättern rein zufällige Gefügeanschnitte entstehen können. Nur wenn die Anschnitte in der Symmetrieebene der Schichtblätter liegen, entspricht die gemessene Neigungsrichtung (senkrecht zum Schichtstreichen) der wahren Anlagerungsrichtung. In allen anderen Schnittlagen parallel zur Symmetrieebene treten Abweichungen im Fallwinkel und in der Einfallsrichtung auf, die um so stärker werden, je größer der Abstand der Schnittebene zur Symmetrieebene und je intensiver die entsprechende Blattkrümmung ist. Anschnitte senkrecht zur Symmetrieebene gekrümmter Schichtblätter sind meist an den muldenförmigen Blattspuren zu erkennen (s. Abb. 3).

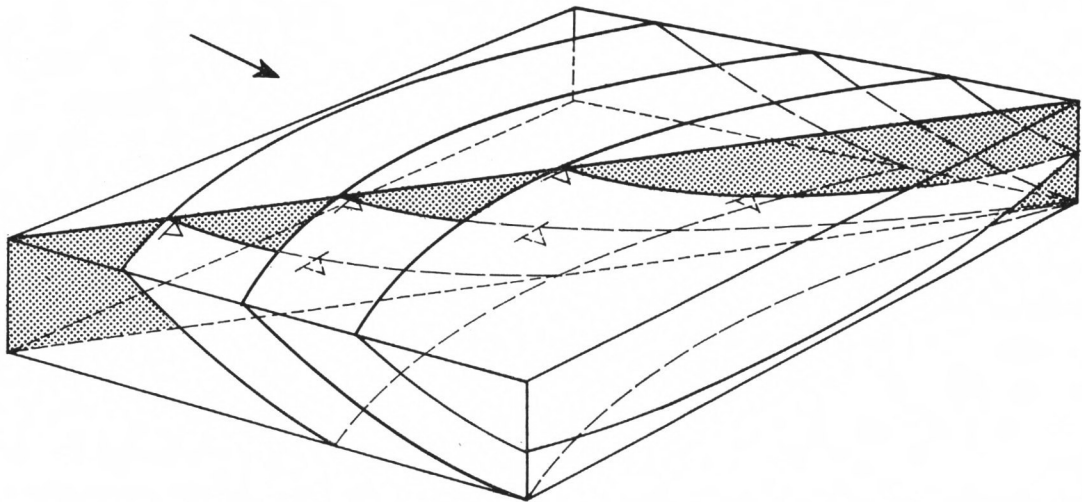


Abb. 3. Schichtblattspuren der Schrägschichtungs-Serie im Raumbild (nach NIEHOFF 1958). Dargestellt sind drei Schrägschichtungsblätter (schwach grau getönt), die durch drei aufeinander senkrecht stehende Ebenen angeschnitten sind. Die Spuren der Blätter in den jeweiligen Anschnittebenen sind eingezeichnet.

Die dunkel getönte Ebene zeigt die Spuren der Schrägschichtungsblätter im Diagonalschnitt.

$\triangleleft$ = Streichen und Einfallsrichtung der Schrägschichtungsblätter

Schüttungsrichtung (Pfeil) der Schrägschichtungsblätter: von links oben nach rechts unten.

Kompliziertere Schichtungsbilder ergeben jene Anschnitte, die diagonal zu den Gefüge-Haupttrichtungen verlaufen. Wie stark dabei die gemessenen Richtungswerte von der wirklichen Schüttungsrichtung abweichen können, geht aus der Abb. 4 hervor. Nur bei ungekrümmten Blättern ist aus einem Diagonalschnitt die wahre Anlagerungsrichtung zu bestimmen. Die in einem Aufschluß übereinanderliegenden Schüttungskörper sind aber häufig in verschiedenen Bereichen ihrer Blattkrümmung angeschnitten, so daß man aus der Variationsbreite der erhaltenen Meßwerte auf die mittlere Transportrichtung schließen kann. Je enger der Streubereich der Werte ist, desto genauer kann die wirkliche Schüttungsrichtung ermittelt werden.

2.4 IDENTIFIZIERUNG DES GEFÜGES DURCH RÖNTGENSTRAHLEN

An acht lackierten Sedimentanschliffen waren keine oder nur unscharfe Gefügemerkmale zu erkennen. Es wurde deshalb versucht, das möglicherweise verborgene Interngefüge

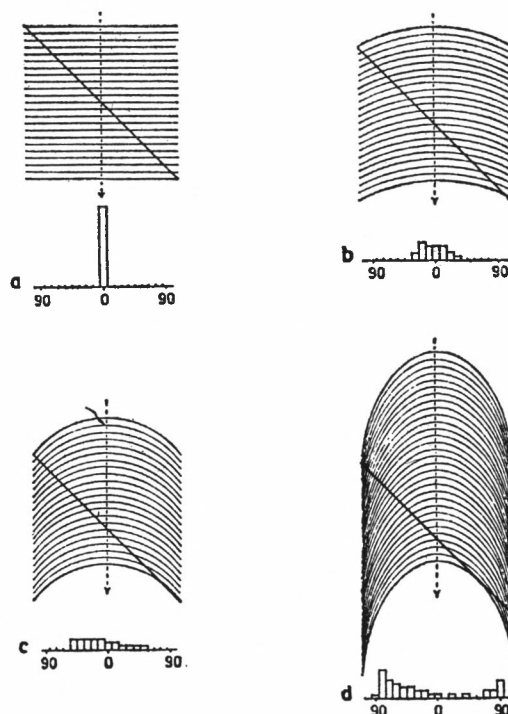


Abb. 4. Die bei Diagonalschnitten auftretenden Streuungen der meßbaren Richtungswerte in Abhängigkeit von der Krümmung der Schrägschichtungsblätter (nach NIEHOFF 1958).

- a) ungekrümmte Blätter: im Diagonalschnitt erhält man konstante Richtungswerte,
- b) und c) schwach bis stärker gekrümmte Blätter: im Diagonalschnitt erhält man Richtungswerte, die von der wirklichen Einfallrichtung abweichen,
- d) stark gekrümmte Blätter: im Diagonalschnitt erhält man Richtungswerte, die von der wahren Einfallrichtung bis zu 180° differieren können.

nach einer Methode von HAMBLIN (1962) durch Röntgenstrahlen sichtbar zu machen.⁴ Der Effekt beruht auf einer verschieden starken Absorption der Röntgenstrahlen infolge von Dichte-Inhomogenitäten im Dickschliff; sie sind bedingt durch den schichtigen Aufbau der Sedimente (Materialunterschiede) und durch ihre unterschiedliche Konsolidierung.

Von den in Frage kommenden Anschliffen wurden kleine Stücke mit einer Fläche von $12\text{--}16\text{ cm}^2$ abgesägt und daraus planparallele, $2\text{--}4,5\text{ mm}$ dicke Sedimentplatten angefertigt. Extrem dünne Schliffe sind für Röntgen-Untersuchungen ungeeignet, da die Dichteunterschiede zu gering sind, um angezeigt zu werden.

Die getrockneten Dickschliffe, zuletzt mit einem Schleifpulver der Körnung 800 behandelt, wurden nun auf einen medizinischen Röntgenfilm (Agfa-L-DIN) gelegt, mit einer 1 mm starken Aluminiumfolie abgedeckt und durchstrahlt. Die Röntgenstrahlen wurden bei einer Spannung von 35 KV erzeugt; die Stromstärken lagen im Bereich von $30\text{--}50\text{ mA}$. Die Aufnahmen wurden aus einer Entfernung von $1,5\text{ m}$ gemacht. Die Belichtungszeiten variierten zwischen $0,5$ und $1,5\text{ sec}$. Die unterschiedlich dicken Sedimentplatten wurden immer zusammen auf einem Röntgenfilm aufgenommen. Auf diese Weise konnte die Bildqualität der einzelnen Stücke gut verglichen werden. Durch eine wiederholte Änderung der

⁴ Die Röntgen-Untersuchungen wurden von Herrn Dr. KLEMM, Röntgenologe an der II. Medizinischen Universitätsklinik, München, durchgeführt. Ich möchte ihm auch an dieser Stelle nochmals herzlichst danken.

Aufnahmedaten war es möglich, für die einzelnen Schliffe optimale Bedingungen herauszufinden. Von den Negativen des Röntgenfilms wurden auf sehr hartem Papier Kontaktabzüge gemacht.

Zu den erzielten Ergebnissen kann folgendes gesagt werden: Die Gefügemerkmale erschienen im Röntgenbild nur dann deutlich, wenn sie auch im lackierten Anschliff erkennbar waren. Die Strukturen auf dem Röntgenbild sind aber meist viel schärfer zu sehen als im Anschliff. In den Fällen, wo im Anschliff kein Gefüge erkennbar war, brachte auch das Röntgenbild keinen zusätzlichen Befund. Die möglichen Folgerungen, die man daraus ziehen kann, werden im Hauptteil erörtert (s. 4.11).

2.5 KORNGRÖSSENANALYSEN

Zur Vorbereitung für die mechanische Analyse wurden die Sande mit 20%igem Wasserstoffperoxyd gekocht, um so eventuell vorhandene organische Substanzen zu zerstören. Sodann wurden die Sedimente bei 105° C gut getrocknet. Nachdem nach der Trocknung der Proben die Gefahr einer Selbstsortierung besteht (KÖSTER 1960), wurden die endgültigen Proben nach der Methode der Viertlung entnommen. Die Einwaage betrug bei Sanden 100 g, bei Mittel- und Grobkies bis 20 kg. Die Trockensiebung der Mittel- bis Grobsande erfolgte in einer elektrischen Schüttelmaschine mit den Sieben: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1,0 mm und 2,0 mm (DIN 4188). Nach 10–15 Minuten wurde zur Vermeidung von Fehlern bei der Siebung die Schüttelfrequenz geändert. Eine Siebung dauerte 20–30 Minuten. Feinsandige Sedimente und Mittel- und Grobsande mit hohem Schluffanteil (ab ca. 10%) wurden grundsätzlich naß gesiebt, denn nur so war die Erfassung der wahren Kornverteilung gewährleistet.

Tonige und schluffige Sedimente wurden nach der Aräometer-Methode von BOUYOCOS-CASAGRANDE untersucht (SCHULTZE-MUHS 1950). Für eine Analyse waren 50 g Sediment nötig. Die zum Teil festverbackenen Sedimentbrocken wurden mit 15–20%igem Wasserstoffperoxyd aufbereitet. Nach mehrstündigem Schütteln wurde das H₂O₂-freie Sediment-Flüssigkeitsgemisch in einen Standzylinder gefüllt, der bis zur 1000 cm³-Marke mit dest. Wasser beschickt wurde. Durch Zusatz einiger Tropfen einer 0,01 m Natriumpyrophosphat-Lösung (Na₄ P₂O₇ · 10 H₂O) konnte eine Koagulation verhindert werden.

Die Korngrößen >0,1 mm sind mit der Aräometer-Methode nicht mehr zu erfassen, weil sie sich bereits nach den ersten 15 sec absetzen. Damit auch ihr Anteil bestimmt werden konnte, wurde die Suspension nach Abschluß der Analyse durch das Sieb der Maschenweite >0,06 mm gegossen. Betrug der getrocknete Siebrückstand mehr als 15%, so wurde davon eine Trockensiebung durchgeführt. Die Bestimmung der Korndurchmesser <0,1 mm erfolgte aus einem Nomogramm nach LORENZ (SCHULTZE-MUHS 1950, S. 182).

3. DIE GEFÜGEABBILDUNG

Durch die Diagenese kann das Schichtungsbild von Sedimenten stark verwischt, durch die Metamorphose sogar restlos zerstört werden.

Die jungtertiären Lockersedimente des Arbeitsgebietes haben im allgemeinen nur eine schwache diagenetische Umwandlung im Sinne einer Entwässerung und Verfestigung durchgemacht, die aber das Schichtungsbild nicht beeinträchtigt. Die Gefügeabbildung in den untersuchten Sedimenten beruht in den meisten Fällen auf einer kontinuierlichen Folge von dünnen, hellen und dunklen Lagen im Vertikalprofil.

Diese dunklen Lagen enthalten ca. 60–70% glasklare (vereinzelt auch schwach gelb gefärbt oder milchtrüb), eckige Quarze. Ihr Glimmergehalt – Biotit, Chlorit und Muskovit – beträgt etwa 20–25%. Biotit und Chlorit sind vorherrschend. Der Rest des Sediments besteht aus Feldspäten und anderen Mineralien. Ein schwacher Karbonatgehalt (bis 5%) ist fast immer vorhanden, und zwar in den dunklen und in den hellen Lagen. Er ist teils durch winzige Schalensplitter, teils durch klare, wahrscheinlich sekundär gebildete Kalkaggregate bedingt.

In den hellen Lagen erreicht der Quarzgehalt etwa 70–80%. Die restlichen 20–30% bestehen wieder aus Glimmermineralien, Feldspäten u. a. Die Hell- und Dunkelglimmer sind mit etwa gleichen Anteilen am Aufbau der hellen Lagen beteiligt. Die Glimmerblättchen sind in den dunklen Lagen meist größer als in den hellen.

Häufig entsteht die räumliche Anordnung der Gemengteile (= Textur!) durch einen vertikalen bzw. lateralen Wechsel von feinkörnigen (Schluffe) und grobkörnigen (Sande) Sedimenten. Ein unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalt der einzelnen Schichten führt besonders in den feinkörnigen Bereichen zu einer kontrastreichen Abbildung des Gefüges. Das Schichtgefüge kann auch durch schichtparallele Einregelung von verkohlten Holzsplittern, Häcksel, Fossilien, Glimmerblättchen und von Feinkiesgeröllen angezeigt werden. In den mittel- bis grobkörnigen Sedimenten kann die Schichtung durch zusätzliche orange bis rostbraune Farbeffekte, die meist durch Eisenausfällungen bedingt sind, hervorgehoben werden.

Die Grundfarben der untersuchten Schichtglieder schwanken von hellgrau bis beige-farben in den Mehlsanden und von gelb bis rotbraun in den Glimmersanden. Im Aus-süßungshorizont herrschen hellgraue, kakao- bis dunkelschwarzbraune, z. T. auch violett-stichige Farben vor. Der Schillhorizont ist schmutzigweiß gefärbt und wird stellenweise von beigen und rostbraunen Bändern durchzogen.

4. DAS ANORGANOGENE SEDIMENTGEFÜGE

SANDER (1948) definiert das Gefüge allgemein als die Summe aller Raumdaten im Innern eines betrachteten Bereiches. In den einzelnen Gefügeelementen sind die im Ablagerungsmilieu herrschenden Bewegungsabläufe fixiert.

Die durch anorganische Kräfte entstandenen (*anorganogenen*) Sedimentgefüge (Schichtgefüge) werden in der Literatur häufig als *Primärgefüge* oder als *primäre Sedimenttexturen* bezeichnet. Die sedimentären Texturen können im Gegensatz zu den exakt definierten, geometrischen Figuren und Körpern der Mathematik nur durch eine detaillierte Beschreibung in befriedigender Weise definiert werden. In der Literatur werden oft verschiedene Bezeichnungen für ein und dasselbe Sedimentgefüge verwendet, so daß es häufig schwierig ist, in einer vergleichenden Betrachtung Zusammengehörendes zu erkennen und Unterschiedliches zu trennen. Für die Beschreibung der in den untersuchten Sedimenten vorhandenen Schrägschichtungstexturen erschien mir die von MCKEE & WEIR (1953) vorgeschlagene Terminologie am brauchbarsten. Es wird im folgenden versucht, die wichtigsten im Text verwendeten Begriffe an Hand der Tabelle 2 zu definieren. Die Erscheinungen der Schrägschichtung werden in Abb. 5 dargestellt. Die von MCKEE & WEIR verwandte Terminologie hat allerdings den Nachteil, daß sie die Texturen in jedem beliebigen Anschnitt berücksichtigt. Unterschiedliche Anschnittfiguren müssen aber nicht unbedingt verschiedene Schüttungskörper anzeigen. Sie können auch aus homologen Schüttungskörpern durch verschiedene Raumschnitte entstehen (STEINLEIN 1953, NIEHOFF 1958, WURSTER 1958). Weitere Fachausdrücke sind dem Atlas von PETTIJOHN & POTTER (1964) entnommen worden.

4.1 DIE SCHRÄGSCHICHTUNGSARTEN

Die fossilen Schrägschichtungsfolgen wurden von NIEHOFF (1958) als Relikte von Großrippeln gedeutet.

Ein Gefüge, „das aus Schichten besteht, die ihrerseits die Leeblätter durch Vorschütten verlagelter Strömungsrippeln enthalten“, wird nach REINECK (1963, S. 14) als Rippelschichtung bezeichnet. REINECK (1963) unterscheidet zwischen Großrippelschichtung (Mächtigkeit einer Großrippelschicht: im allgemeinen > 2 cm; auch mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung) und Kleinrippelschichtung (Mächtigkeit einer Kleinrippelschicht: im allgemeinen < 2 cm; auch kleindimensionale Schrägschichtung).

Tabelle 2: Übersicht über die wichtigsten im Text verwendeten Begriffe des anorganogenen Sedimentgefüges

Begriff	Erläuterungen
Blatt (Schichtblatt, Schichtlamelle)	Kleinste Einheit einer Schicht. (Dicke eines Blattes < 1 cm).
Leeblatt (Vorschüttungsblatt)	Blatt aus einer Serie von geneigten, systematisch angeordneten Blättern einer schräggeschichteten Einheit. Das Leeblatt setzt sich auf dem stromabwärts geneigten Leehang ab.
Luvblatt	Liegt auf dem Luvhang und ist stromaufwärts geneigt. Luvblätter immer flacher geneigt als Leeblätter.
Blattspur	Schnittlinie eines Schichtblattes mit einer beliebigen Anschnittebene. Aus der Blattspur kann man auf die räumliche Gestalt des Schichtblattes schließen. Man unterscheidet gerade (ebene), schaufelförmige, muldenförmige und sigmoidale Blattspuren (= Blattfiguren).
Schichtung	Entsteht durch eine systematische Anordnung von Schichtblättern. Feinblättrige Schichtung: Mächtigkeit der einzelnen Blätter < 1 cm.
Ebene Feinschichtung (Horizontalschichtung, Parallelschichtung, Stromwechselschichtung)	Blätter ebenflächig; Blattspuren gerade und horizontal. Dicke der einzelnen Blätter < 1 cm.
Ebene Schrägschichtung	Blätter (Leeblätter) sind ebenflächig und stromabwärts geneigt. Die geradlinigen Blattspuren fallen nach einer Richtung ein.
Bogige Schrägschichtung	Blattspuren gebogen – schaufelförmig, muldenförmig, sigmoidal – und mit einheitlicher Neigungsrichtung.
Tafelige Schrägschichtung	Die schräggeschichtete Einheit wird an ihrer Sohl- und Dachfläche ebenflächig begrenzt, so daß sie im Anschnitt tafelförmig erscheint.
Linsenförmige und keilförmige Schrägschichtung	Die schräggeschichteten Einheiten haben im Anschnitt linsen- bzw. keilförmige Gestalt.
Schrägschichtungsserie (Sedimentationseinheit)	Kleinste schräggeschichtete Einheit. Alle Leeblätter der Einheit habe gleiche Neigungsrichtung.
Schrägschichtungsfolge	Mehrere über- und nebeneinanderliegende, schräggeschichtete kleinste Einheiten (Sedimentationskörper). Leeblattspuren sämtlicher Einheiten haben gleichen Neigungssinn. Sind Einheiten dazwischengeschaltet, deren Leeblattspuren in entgegengesetzter Richtung einfallen, so spricht man auch von Kreuzschichtung.
Kleindimensionale Schrägschichtung (auch Kleinrippelschichtung)	Länge der schräggeschichteten Einheiten (Schrägschichtungs-serien) im Anschnitt ≤ 30 cm; Mächtigkeit: ≤ 4 cm.
Mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung (auch Großrippelschichtung)	Länge der schräggeschichteten Einheiten im Anschnitt 0,30 bis 6,0 m bei der mitteldimensionalen und $> 6,0$ m bei der großdimensionalen Schrägschichtung.
Asymmetrische Rippelmarken	Rippeln im Längsprofil (= parallel zur Strömungsrichtung) unsymmetrisch. Flacher Luvhang und steiler, stromabwärts gerichteter Leehang. Kleinrippeln: Kammabstand < 20 cm. Großrippeln: Kammabstand > 20 cm.
Rippelindex (vertikaler Formindex)	Verhältnis der Rippellänge λ zur Rippelhöhe h ($R_f = \lambda/h$).
Grad der Asymmetrie (horizontaler Formindex)	Asymmetrie-Grad: Verhältnis der Abstände: Rippeltal–Rippelkamm (= b) zu Rippelkamm–Rippeltal (= a).
Oszillationsrippeln (Seegangsrippeln)	Rippeln mit spitzen Kämmen und häufig symmetrischem Querschnitt.
Interferenzrippeln (zusammengesetzte Rippelmarken, Kreuzrippeln, tadpole nests)	Überlagerung von 2 Rippelsystemen; die polygonalen Vertiefungen sind wabenartig aneinandergereiht.

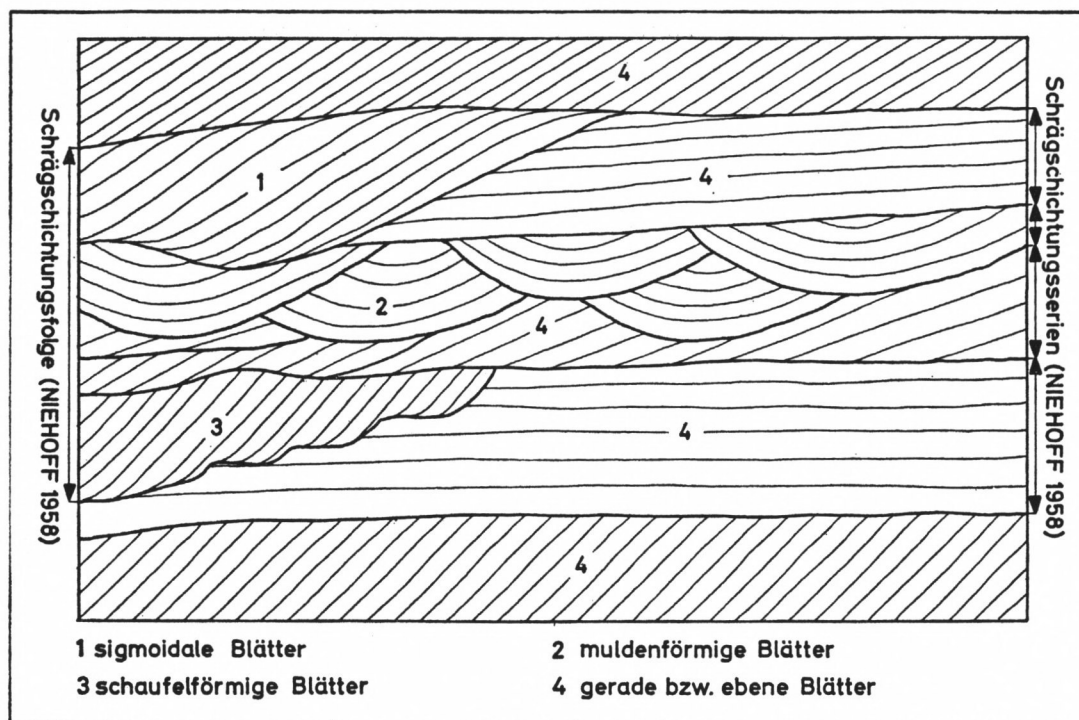


Abb. 5: Terminologie der Schrägschichtung nach McKee & Weir (1953). (Schematisch). Die einzelnen Schrägschichtungs-Serien 1-4 ergeben zusammengefaßt eine Schrägschichtungs-Folge.

4.11 Die bogige Schrägschichtung

Die bogige Schrägschichtung umfaßt viele Einzelformen. Der Formenreichtum der im Aufschluß und im Handstück zu beobachtenden Schichtblattspuren ist z. T. durch die Raumlage der Anschnittfläche bedingt (s. 2.3). Trotzdem die einzelnen Schichtblätter in den Lockersedimenten nicht freigelegt werden konnten, war ein Einblick in ihre Gestalt aus den Blattspuren verschieden orientierter Anschnittebenen zu gewinnen.

Die Spuren der Schichtblätter (= Blattfiguren) sind im Anschnitt, ungefähr parallel zur Schüttungsrichtung, überwiegend mehr oder weniger stark sigmoidal oder schaufelförmig, seltener auch geradlinig ausgebildet. Muldenförmige Blattspuren resultieren aus einem senkrecht zur Transportrichtung verlaufenden Schnitt (Abb. 3). Neben diesen Grundformen treten Übergangstypen auf.

Die einzelnen Blattfiguren sind nahezu gleich häufig am Aufbau der bogigen Schrägschichtung beteiligt. Typisch muldenförmige Blattspuren sind jedoch seltener. Die Einfallswinkel der Leeblätter (auch Vorschüttungsblätter genannt) liegen im Mittel zwischen 10° und 20° . Die Luvblätter sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht erhalten.

Die Mächtigkeiten der hellen und dunklen Einzellagen, die das Lamellargefüge aufbauen, schwanken zwischen 0,05 und 1,0 cm; häufig liegen sie um 1,0 mm. Mit abnehmen der Korngröße nimmt die Feinblättrigkeit im allgemeinen zu. Die Schichtdicken der einzelnen Lagen variieren: einmal werden die helleren mächtiger, einmal die dunkleren.

Die einzelnen Schichtblätter, die unter annähernd gleichen Sedimentationsbedingungen gebildet wurden, ergeben zusammen eine *Schrägschichtungs-Serie* (s. Abb. 5 Beschriftung rechts senkrecht, nach OTTO (1938, S. 575) auch „*sedimentation-unit*“ benannt.

Im Anschnitt sind die einzelnen Serien durchschnittlich ca. 5–30 cm lang. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 0,5 und max. 4 cm. Die unteren Begrenzungen der Schrägschichtungs-Serien haben häufig einen muldenförmigen Verlauf (Erosion). An ihrer Oberseite sind sie häufig diskordant abgeschnitten. Die geschichteten Einheiten sind im zweidimensionalen Anschnitt teils linsenförmig, teils sind sie jedoch unregelmäßig geformt; seltener haben sie keilförmige oder tafelförmige (hier sind die Grenzflächen eben) Gestalt. Die angeführten Anschnittformen können selbst im Handstückbereich nebeneinander vertreten sein.

Einige Anschliffe, an denen Interntexturen nur sehr verschwommen bzw. überhaupt nicht zu erkennen waren, wurden geröntgt. Die Methode war bei einem Anschliff sehr erfolgreich (s. Taf. 2, Fig. 1 und Fig. 2). Die Röntgenaufnahmen der restlichen Dickschliffe zeigten nur undeutliche Texturen (Taf. 2, Fig. 3–6). Da die Gefügeabbildung durch eine unterschiedliche Absorption der Röntgenstrahlen zustande kommt, kann man aus den z. T. negativen Ergebnissen folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Dichteunterschiede der einzelnen Schichtblätter können zu gering sein, um bei der Röntgendurchstrahlung wirksam zu werden.
2. Die Stücke enthalten nur einzelne dicke, homogen zusammengesetzte Schichtlagen.
3. Die primären, lagigen Dichteunterschiede der Schichtblätter können durch die Tätigkeit von Organismen verwischt worden sein.

Die oben beschriebene feinblättrige, bogige Schrägschichtung setzt sich aus Schüttungskörpern zusammen, deren Länge < 30 cm beträgt. Sie wird daher nach MCKEE & WEIR als kleindimensionale Schrägschichtung bezeichnet. Im Untersuchungsgebiet tritt die kleindimensionale Schrägschichtung in den mittleren (hier jedoch nur vereinzelt) und oberen Mehlsanden, im unteren und mittleren Teil der Glimmersande sowie im sandig ausgebildeten Aussüßungshorizont auf (s. Taf. 1–3). Sie ist immer nur an geringmächtige 5 bis max. 40 cm mächtige Lagen gebunden, die sich im Vertikalprofil wie-

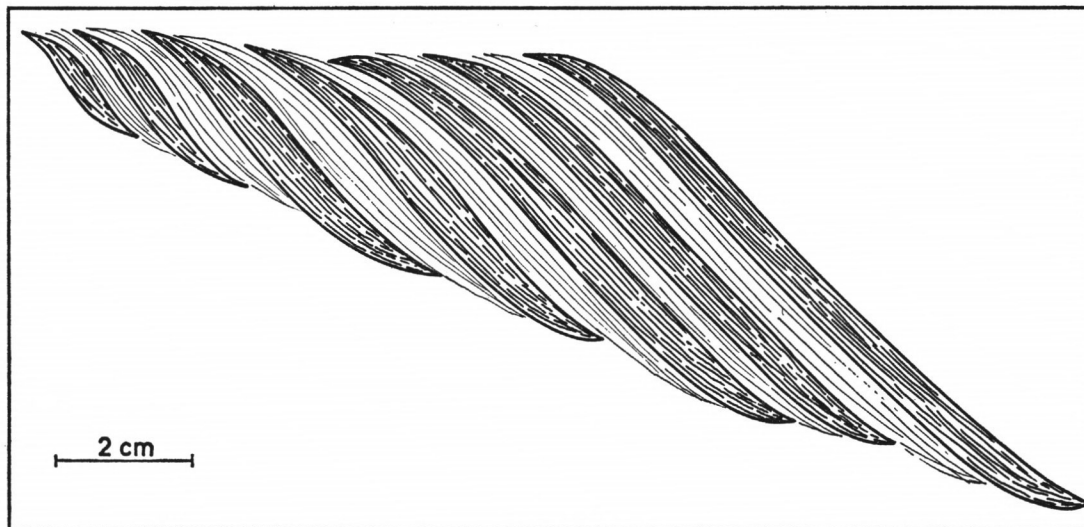


Abb. 6: Sigmoidal geschwungene Schichtblätter. Die dunklen Lagen sind reicher an Dunkelglimmer als die hellen Lagen. Thalham (Nr. 8), Glimmersande.

derholen können. Meist sind sie über die gesamte Aufschlußbreite zu verfolgen. Eine Vergesellschaftung mit dünnen (cm-Bereich) Mergellagen, Mergellinsen oder kleinsten Mergelbutzen konnte verschiedentlich beobachtet werden.

Nach HAMBLIN (1961) kann sich die kleindimensionale Schrägschichtung in vielen Ablagerungsbereichen bilden. Sie zeigt auf jeden Fall nur eine geringe Bewegungsenergie des transportierenden Mediums an.

Die Ausbildung der Blattfiguren bei der mitteldimensionalen Schrägschichtung (= medium-scale cross-bedding nach McKEE & WEIR 1953, S. 388; Länge der Schüttungskörper im Anschnitt: 0,3–6,0 m) ist ähnlich wie die der kleindimensionalen Schrägschichtung. Die muldenförmigen Blattspuren sind selten. Sehr schöne, bis 12 cm lange Sigma-Blätter wurden über eine Breite von 60 cm in einem Hohlweg nördlich Thalham (Aufschluß Nr. 8, obere Glimmersande) beobachtet (Abb. 6). Ihr Einfallswinkel betrug 25° . Die einzelnen Blätter bestehen aus etwa gleichdicken, hellen und dunklen Lagen. Die Helligkeitsunterschiede werden durch den unterschiedlichen Dunkelglimmergehalt be-

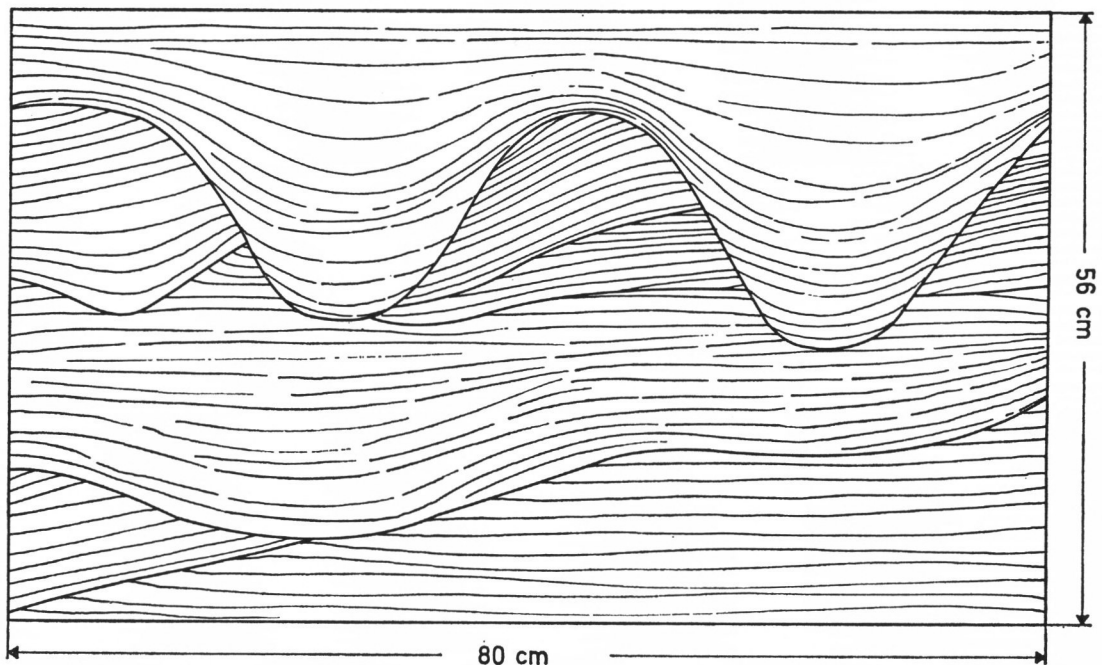


Abb. 7. Mitteldimensionale Schrägschichtung. Kößlarn (Nr. 15), Mehlsande.

dingt. Im Aufschluß am Stegerkeller/Kößlarn (Nr. 15) war in den oberen Mehlsanden über eine Breite von etwa 1 m eine bogige Schrägschichtung (Muldenschichtung) zu beobachten (Abb. 7), die an ihrer Untergrenze ein sehr starkes Relief aufwies. Die Vermutung, daß hier kleine Erosionsrinnen vorliegen, hat sich bei einer genauen Untersuchung als falsch erwiesen. Es handelte sich um zusedimentierte Kolke (Durchmesser bis 30 cm), die wahrscheinlich durch Wasserwalzen entstanden sind.

Die mitteldimensionale Schrägschichtung kommt in den oberen Mehlsanden vor. In den Glimmersanden tritt sie im gesamten Vertikalprofil auf, überwiegt jedoch in den mittleren und oberen Bereichen des Schichtprofils (s. Taf. 3, Fig. 2 und Fig. 3). Im Ausübungshorizont fehlt die mitteldimensionale Schrägschichtung.

Die Blattspuren bei der großdimensionalen Schrägschichtung (Länge der schräggeschichteten Schüttungskörper $> 6,0$ m) sind größtenteils nur noch schwach schaufelförmig bis geradlinig. S-förmig geschwungene Blätter sind selten, muldenförmige wurden nicht mehr beobachtet. Die oberen und unteren Grenzlinien der im Anschnitt

sichtbaren Schüttungskörper verlaufen gerade oder sind nur sehr schwach konvex oder konkav gebogen. Die Schrägschichtungs-Serien – Ähnliches gilt auch für die mitteldimensionale Schrägschichtung – haben im Anschnitt meist keilförmiges oder tafelförmiges, seltener linsenförmiges Aussehen (Taf. 3, Fig. 4, Taf. 4, Fig. 1). Die mittlere Mächtigkeit der Serien liegt zwischen 10 und 60 cm, nur manchmal wird sie >60 cm (Taf. 3, Fig. 4). Die Dicke der einzelnen Schichtblätter liegt im allgemeinen unter 1,0 cm.

Die großdimensionale Schrägschichtung tritt, wenn auch nicht allzu häufig, nur in den mittleren und oberen Glimmersanden auf.

Schrägschichtungs-Serien, die geradlinig verlaufende Blattschnitte enthalten (ebene Schrägschichtung), gehören an sich nicht mehr zur bogigen Schrägschichtung. Nachdem sich aber das Anlagerungsgefüge der ebenen Schrägschichtung kaum von dem der bogigen Schrägschichtung unterscheidet, führte ich sie auch an dieser Stelle an.

In den mittel- bis großdimensionalen Schrägschichtungs-Serien – also vorwiegend im mittleren und oberen Teil der Glimmersande – war häufig eine Kieseinschaltung festzustellen. Die Gerölle waren entweder im Sediment eingestreut oder in Linsen oder perl-schnurartig auf den Leehängen (meist im unteren Hangabschnitt, aber auch an anderen Stellen) angereichert. Die Durchschnittsgröße der längsten Geröllachsen liegt zwischen 0,5 und 1,5 cm. Die größten Gerölle erreichen bis $9,0 \times 2,5 \times 2,5$ cm. Ihre längsten Achsen sind teils senkrecht zur Einfallrichtung der Leebblätter, teils parallel dazu orientiert. Eine Geröllauszählung einer Probe aus Stadel Rott (Nr. 24) ergab folgende Zusammensetzung: 84% Quarze, 10% Kristallingerölle, 6% Karbonatgerölle.

Die größeren Quarze sind meist gerundet und stengelig, die kleineren haben geringe Sphärizität, sind aber auch gut kantengerundet. Die Kristallingerölle sind meist zerbrochen und verwittert. Die Karbonatgerölle (größtes Geröll $1,1 \times 0,4 \times 0,7$ cm) sind immer gut kantengerundet und haben meist stengelige bis ellipsenförmige Gestalt. Nur vereinzelt sind sie isometrisch oder plattig.

Linsen- oder keilförmige Einschaltungen von kleinen Quarzgeröllchen (3–6 mm lang) sind z. T. von zahlreichen plattigen Mergelgeröllchen (mittlerer Durchmesser: 0,5–1,0 cm) begleitet.

4.12 Die Kreuzschichtung

Der Begriff Kreuzschichtung wird für eine *Schrägschichtung* mit *wechselnder Einfallrichtung* verwendet. Die Blattfiguren der Kreuzschichtung unterscheiden sich von denen der Schrägschichtung nicht. Die Kreuzschichtung kann im untersuchten Schichtprofil klein-, mittel- und großdimensionale Formen annehmen, wobei erstere überwiegen.

4.13 Asymmetrische Strömungs-Kleinrippeln

BUCHER (1919, S. 207) bezeichnet alle welligen Oberflächenformen, die sich entlang einer Grenzfläche zwischen einer sich bewegenden Flüssigkeit und einem unkonsolidierten Sediment bilden, als Rippeln (durch Wind verursachte wellige Sedimentoberflächen werden jedoch auch als Rippeln, Windrippeln, bezeichnet). Die wellige Kontaktfläche stellt ein Reibungsminimum dar. Typische Strömungsrippeln sind durch einen sanften Luvhang und steilen Leehang charakterisiert (Abb. 8). Das Verhältnis b/a gibt den Grad der Asymmetrie (= horizontaler Formindex) an. Der Rippelindex (= vertikaler Formindex) wird durch das Verhältnis λ/h definiert. Die Strömungs-Kleinrippeln haben einen Kammabstand < 20 cm (RICHTER 1926).

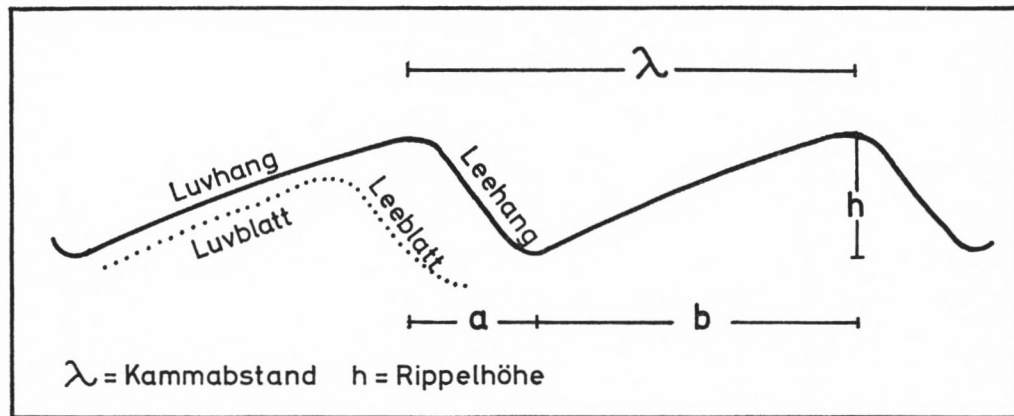


Abb. 8: Asymmetrische Strömungsrippeln und ihre Daten.

a = horizontaler Abstand: Rippelkamm – Rippeltal

b = horizontaler Abstand: Rippeltal – Rippelkamm.

Der steile Leebhang ist stromabwärts gerichtet.

Auf Grund ihres unterschiedlichen Anlagerungsprinzips kann man nach McKEE (1939) zwei Grundtypen unterscheiden.

4.131 Strömungs-Kleinrippeln, entstanden durch vertikale Anlagerung

In den von mir untersuchten Schichtgliedern haben die gerippten Bereiche immer nur geringe Mächtigkeiten. Sie liegen im Durchschnitt zwischen 3 und 15 cm. Die rippelgeschichteten Einschaltungen sind horizontbeständig über die gesamte Aufschlußbreite (5–40 m) zu verfolgen. Im Liegenden und Hangenden dieser Bereiche können ebene Feinschichtung (s. 4.3), klein- bis vereinzelt mitteldimensionale Schrägschichtung,⁵ z. T. mit wechselnder Einfallsrichtung oder verwühlte Bereiche (s. Kapitel 5) auftreten. Am Aufbau der gerippten Partien waren häufig hauchdünne Glimmerbestege und z. T. feinste Mergelbänder beteiligt.

Im Vertikalanschnitt bzw. im lackierten Anschliff konnte das Anlagerungsgefüge in allen Einzelheiten studiert werden. Die Kämme der sich rhythmisch überlagernden, verhältnismäßig schwach asymmetrisch gestalteten Schichtblätter treten durch eine aufgehellte, 2–5 mm breite Zone besonders klar hervor. Die Aufhellung an den Rippelkämmen ist durch eine Anreicherung von hellen Mineralien (hauptsächlich Quarzkörner) bedingt. Die einzelnen 0,02–1,0 mm mächtigen Schichtblätter sind sanft geschwungen und ziehen horizontal durch den Anschliff (Taf. 4, Fig. 2 u. Fig. 4). Zum Hangenden hin kann der wellenförmige Charakter der Schichtblätter stark abnehmen. Im Extremfall gehen die geschwungenen Blätter kontinuierlich, ohne nachweisbare Diskordanzen, in ebene bzw. geradlinige über. Die Abstände von Wellenberg zu Wellenberg liegen zwischen 6 und 9 cm.

Den Mechanismus der Anlagerung („uniform deposition“, McKEE 1939) zeigt Abb. 9. Bei der Gefügebildung handelt es sich nicht nur um eine vertikale Anlagerung, sondern auch um eine langsame, seitliche Verschiebung in Richtung der Strömung. Dies wird aus

⁵ Die kleindimensionale Schrägschichtung setzt sich aus übereinanderliegenden Strömungs-Kleinrippeln zusammen, deren Kämme meist stark gekappt sind. Typische Formen von Rippelmarken sind bei ihr im allgemeinen nicht mehr zu sehen. Es können jedoch fließende Übergänge zwischen beiden Typen bestehen,

den parallelen, schräg nach oben verlaufenden, hellen Kammlinien ersichtlich. Die seitliche Verlagerung der sich überlagernden Rippelkämme kann durch schnittbedingte Verzerrungen etwas überbetont sein.

Der hier behandelte Rippelschichtungstyp⁶ wird in der anglo-amerikanischen Literatur unter dem Sammelnamen „*ripple-drift cross lamination*“ geführt. In der Arbeit von WALKER (1963, S. 185, Fig. 6) ist aus den „Bude Sandstones“ ein Typ abgebildet, der mit dem von mir oben beschriebenen vergleichbar ist. WALKER und eine Reihe anderer Autoren (siehe WALKER 1963, Tab. 2, S. 178) fanden diese Art von Rippelschichtung in Ablagerungen mit „graded bedding“, also in Turbiditen. Sie nehmen an, daß diese Rippelschichtung durch Ablagerung aus einem Trübestrom (turbidity current) gebildet wird. „Graded bedding“ konnte in den Sedimenten des Arbeitsgebietes nicht festgestellt werden. Die Entstehung des hier vorkommenden Rippelschichtungstypes erfordert aber ebenfalls ein größeres Angebot an suspendiertem Sedimentmaterial. Das verhältnismäßig einheitlich gekörnte Material fällt bei schwächer werdender Strömung, z. B. infolge einer Querschnittsverbreiterung, aus und geht in ein geripptes Gefüge über. Der Bildungsprozeß dieses Typs ist also ähnlich dem von WALKER (1963) erwähnten in Turbiditen. Die Bildung der notwendigen Suspensionsströme ist jedoch unterschiedlich. Die zu gradierter Schichtung führenden Trübestrome entstehen durch abgleitende Sedimentmassen. Im Süßbrackwasserbecken wird als auslösendes Moment für die Bildung einer Suspension grundberührender Seegang mit anschließender schwacher Strömung angesehen.

4.132 Strömungs-Kleinrippeln, entstanden durch seitliche Anlagerung

Das Anlagerungsprinzip der transversalen Strömungsrippeln – Rippelkämme verlaufen etwa senkrecht zur Strömungsrichtung – wird durch Abb. 9 veranschaulicht. Die Sedi-
mentanlagerung erfolgt hier fast ausschließlich auf der Leeseite („*lee-side concentration*“, MCKEE 1939), während das Material auf der Luvseite fast immer erodiert wird. Die stromabwärtige Rippelwanderung ist durch das fortwährende Wechselspiel zwischen Erosion und Sedimentation bedingt.

Vorkommen dieser Art von Strömungsrippeln wurden vereinzelt in horizontal- bis schwach schräggeschichteten Glimmersanden beobachtet. Die Rippelmarken bestehen überwiegend aus 0,8–1,3 cm mächtigen Einzellagen, die verhältnismäßig waagrecht im Schichtverband liegen (Taf. 4, Fig. 3). Ihre Kämme sind nur minimal abgeschnitten. Bei der Bestimmung der Rippelindizes wurden die erodierten Teile berücksichtigt.

Einzelne Lagen von typisch ausgebildeten Rippelmarken kommen aber auch in den durch vertikale Anlagerung entstandenen, rippelgeschichteten Bereichen der oberen Mehlsande vor (Taf. 4, Fig. 2).

In einigen Anschliffen waren inmitten von durch „uniform deposition“ gebildeten Bereichen immer wieder 0,3–1,0 cm mächtige Zonen eingeschaltet, deren Gefüge im wesentlichen durch seitliche Anlagerung („*lee-side concentration*“) gebildet wurde. Eine scharfe Grenze zu den darüber- bzw. darunterliegenden welligen Schichtblättern konnte nicht festgestellt werden. Die Änderung der Anlagerungsrichtung, die z. T. noch im mm-Bereich nachweisbar war, geht fließend vor sich. Ein Wechsel in der Anlagerungsrichtung im dm-Profil deutet auf unterschiedliche Strömungsverhältnisse während der Sedimentation hin.

⁶ Es ist möglich, daß derartige Gefüge auch durch leichte Oszillation des Seeganges unter anhaltender Sedimentation, mit schwacher Strömung nach Westen (s. Taf. 4), entstehen können.

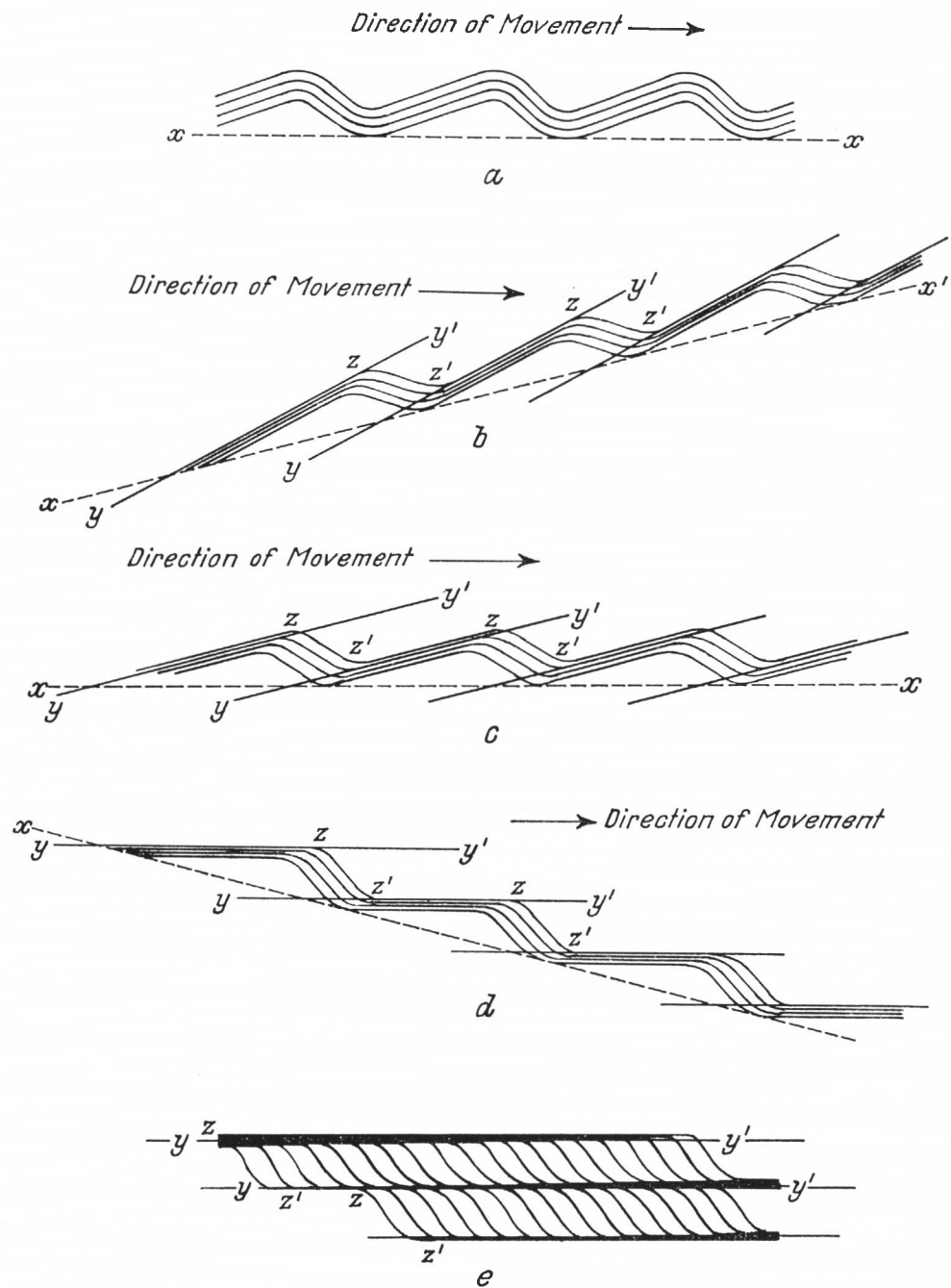


Abb. 9: Das Anlagerungsprinzip der Rippelschichtung in Sanden des Colorado River Deltas (nach McKEE 1939).

a) uniform deposition; b), c), d) lee-side concentration with deposition upslope, on level, and downslope; e) general effect of downslope ripple structure (d, when much repeated without change).

$x-x'$ = Neigung der Unterlage (Anlagerungsebene)

$y-y'$ = Neigung der Luvblätter zur Unterlage

$z-z'$ = Neigung der Leeblätter zur Unterlage.

Das Interngefüge der durch „lee-side concentration“ gebildeten Rippelmarken besteht aus Leeblättern, deren Fallwinkel $5-25^\circ$ betragen. Häufig liegen sie um 15° . Die Luvblätter fehlen fast immer. Das Anschmiegen der Leeblätter an ihre Unterlage wird in vielen Fällen durch schichtparallele Einregelung von kleinsten Pflanzenresten verdeutlicht.

Die Leeblattspuren sind von oben gesehen durchschnittlich mehr oder weniger gerade. Nach EINSELE (1960) kann daraus auf einen geradlinigen Verlauf der Rippelkämme geschlossen werden. Der Asymmetrie-Grad der Rippeln beträgt: $b/a = 1,3-3,5$. Die Werte schwanken also zwischen geringer ($b/a = 1,3$) und hoher ($b/a = 3,5$) Asymmetrie. Die Rippelindizes ($= \lambda/h$) sind in der Tabelle 3 zusammengefaßt. In einer eigenen Spalte sind die entsprechenden Mediandurchmesser angeführt. Sie wurden den Kornverteilungskurven (Schnittpunkt der Kurve mit der horizontalverlaufenden 50%-Linie) der die Rippelmarken aufbauenden Sedimente entnommen. Die Rippelindizes liegen bevorzugt zwischen den Werten 5 und 10 (Tab. 3). Die gewonnenen Daten haben keine Vergleichswerte, da das bisher vorliegende Material über fossile Rippelmarken noch recht spärlich ist.

Strömungs-Kleinrippeln, die durch vertikale und durch laterale Anlagerung gebildet wurden, kommen in den oberen Mehlsanden vor. In den Glimmersanden treten sie im gesamten aufgeschlossenen Vertikalbereich, bevorzugt jedoch im unteren und mittleren Teil, auf. Sie wurden aber meist nur im südlichen und mittleren Bereich des Arbeitsgebietes, also in der Gegend von Simbach bis Kößlarn, angetroffen.

Die in rezenten und fossilen Sedimenten nicht selten zu beobachtende Linsen- und Flaserschichtung war im Untersuchungsgebiet in ihrer typischen Ausbildung (Definitionen s. REINECK 1960, S. 369) nicht nachweisbar.

4.14 Oszillationsrippeln

Die Oszillationsrippeln stellen eine Modifikation von Strömungsrippeln dar; sie entstehen bereits bei geringem Wellengang. Sie sind im allgemeinen symmetrisch gebaut und haben scharfe Kämme. Eine genaue Abgrenzung der Strömungsrippeln gegen die Oszillationsrippeln ist wegen der fließenden Übergänge der einen Form in die andere unmöglich.

Eindeutige Oszillationsrippeln mit scharfgratigen Kämmen und symmetrischem Querschnitt wurden im Arbeitsgebiet nicht beobachtet. Das Anlagerungsgefüge eines etwa 35–40 cm mächtigen Bereiches im Aufschluß Hitzenau (Nr. 2) deutet zumindest im unteren Abschnitt auf eine Art Oszillationsrippelschichtung hin. Ähnliche Bereiche können im gesamten Vertikalprofil der Glimmersande, in 10 bis max. 40 cm mächtigen Lagen auftreten. Besonders auffallend waren sie jedoch wieder im Südteil des Untersuchungsgebietes.

Im Aufschluß Hitzenau folgt eine Oszillationsrippelschichtung horizontal über einem Bereich mit mittel- bis großdimensionaler Schrägschichtung. Die einzelnen, durchschnittlich 1,5–2,7 cm mächtigen, sandigen Rippellagen sind in rhythmischer Folge von 3–8 mm dicken, symmetrisch gewellten Tonmergellagen abgedeckt (Taf. 5, Fig. 1). Zum Hangenden hin fällt ein rascherer Wechsel zwischen Tonmergel und Sand auf. Eine Glimmeranreicherung bis zu 5–15 cm mächtigen Glimmerbestegen ist in diesen gerippten Bereichen häufig festzustellen. In den Glimmerlagen sind oft Quarzgerölle bis zu $11 \times 5 \times 5$ mm Größe enthalten. Im unteren Teil des rippelgeschichteten Bereiches sind verhältnismäßig stark asymmetrische Oszillationsrippeln angeschnitten. Ihr Interngefüge läßt eine ungleich-

Tabelle 3: Die Rippelmarken in den Glimmersanden

Aufschluß Nr.	Lokalität	Kammabstand λ in cm	Rippelhöhe h in cm	vertikaler Form- index λ/h bzw. Rippelindex	Mediandurch- messer in mm
3	Antersdorfer Bach	8,0	0,6–0,75	10,7–13,3	0,175
35	E Beutelsbach	15,0	2,5	6,0	0,185
3	Hinterholz	8,0–10,0 10,0 10,0 10,0–15,0	1,7–1,8 1,5 2,3 2,5	4,4–5,9 6,6 4,3 4,0–6,0	0,084–0,1
2	Hitzenau	1,2– 1,5 5,5– 6,0 5,3– 5,9 6,0– 7,0 7,0–10,0 8,0–10,0 9,0–12,0 9,0 15,0 12,0–15,5	0,2–0,3 0,8–1,0 0,4–0,5 1,7–2,0 2,5–2,7 1,5 0,8–1,0 1,5 1,5–1,7 2,5–3,5	4,0– 7,5 5,5– 7,5 10,6–14,7 3,0– 4,0 2,6– 4,0 5,5– 6,6 9,0–15,0 6,0 9,0–10,0 3,4– 6,2	
12	Schmid im Kirn	15,0–20,0	2,0	7,5–10,0	0,11
9	Pettenau	8,0– 9,0	1,2	6,6– 7,5	0,18–0,21
38	St. Salvator	10,0–18,0	2,0–4,0	2,5– 9,0	0,09–0,15
22	Thalham	7,0	1,2	5,8	0,10
26	N Weng	10,0 10,0–15,0 10,0	1,0 1,3–1,5 1,5–1,8	10,0 6,6–11,5 6,6– 5,5	0,06–0,09
15	Köblarn	6,8	1,9	3,6	
16		7,5– 7,8 7,0– 8,0 8,0 8,2 9,0 10,0–13,0 15,0	0,7–0,75 1,5 0,9–1,1 0,8–1,2 1,5 2,5–4,0 1,5–1,7	10,0–11,0 4,7– 5,5 7,3– 8,9 6,8–10,2 6,0 2,5– 5,2 8,8–10,0	
					0,033–0,040
					0,096–0,10
					0,033–0,040
18	Asenham	6,0– 8,0	1,0	6,0– 8,0	0,034–0,040

mäßige Oszillation der Wellenbewegung mit einer vorherrschend westlichen Strömungsrichtung (in Taf. 5, Fig. 1 nach links) erkennen. Die Oszillationsrippeln entstanden also in einem verhältnismäßig ruhigen Wasser bei einem Wechsel von z. T. stagnierenden Strömungsverhältnissen (Sedimentation von Mergellagen) mit schwachen Strömungen. Sie gehen vom Liegenden zum Hangenden allmählich in Strömungsrippeln mit seitlicher Anlagerung über. Zwischen die sandigen Leeblätter sind teilweise auch mergelige Blätter

eingeschaltet. Die Bildung von neuen, sandigen Leebältern nimmt immer eine gewisse Zeit in Anspruch, in der sich feines Material am freiliegenden Leebang anreichern kann. Einschaltungen von mergeligen Lagen deuten deshalb nicht immer auf eine Sedimentationspause hin (REINECK 1961).

Die oberen Mehlsande werden vereinzelt von welligen (Abstand von Wellenberg zu Wellenberg schwankt zwischen 9 und 15 cm), bis 2 cm mächtigen Mergellagen durchzogen. Das Interngefüge der von ihnen abgedeckten Sedimentlagen war jedoch nicht erkennbar, so daß eine Entscheidung, um welchen Rippeltyp es sich handelt, nicht möglich war.

Die Indizes der durch asymmetrische Oszillation von Wasserwellen (Seegang) entstandenen Rippeln liegen zwischen 3,0 und 6,6. Die Werte der Rippelindizes sind nach den bisherigen Untersuchungen an rezenten Sedimenten bei Oszillationsrippeln in der Regel kleiner als bei Strömungsrippeln (REINECK, frdl. mdl. Mitt.). Die Rippelindizes der asymmetrischen Strömungs-Kleinrippeln schwanken in den von mir untersuchten Sedimenten zwischen 5 und 10 (s. Kapitel 4.132).

4.15 Interferenzrippeln

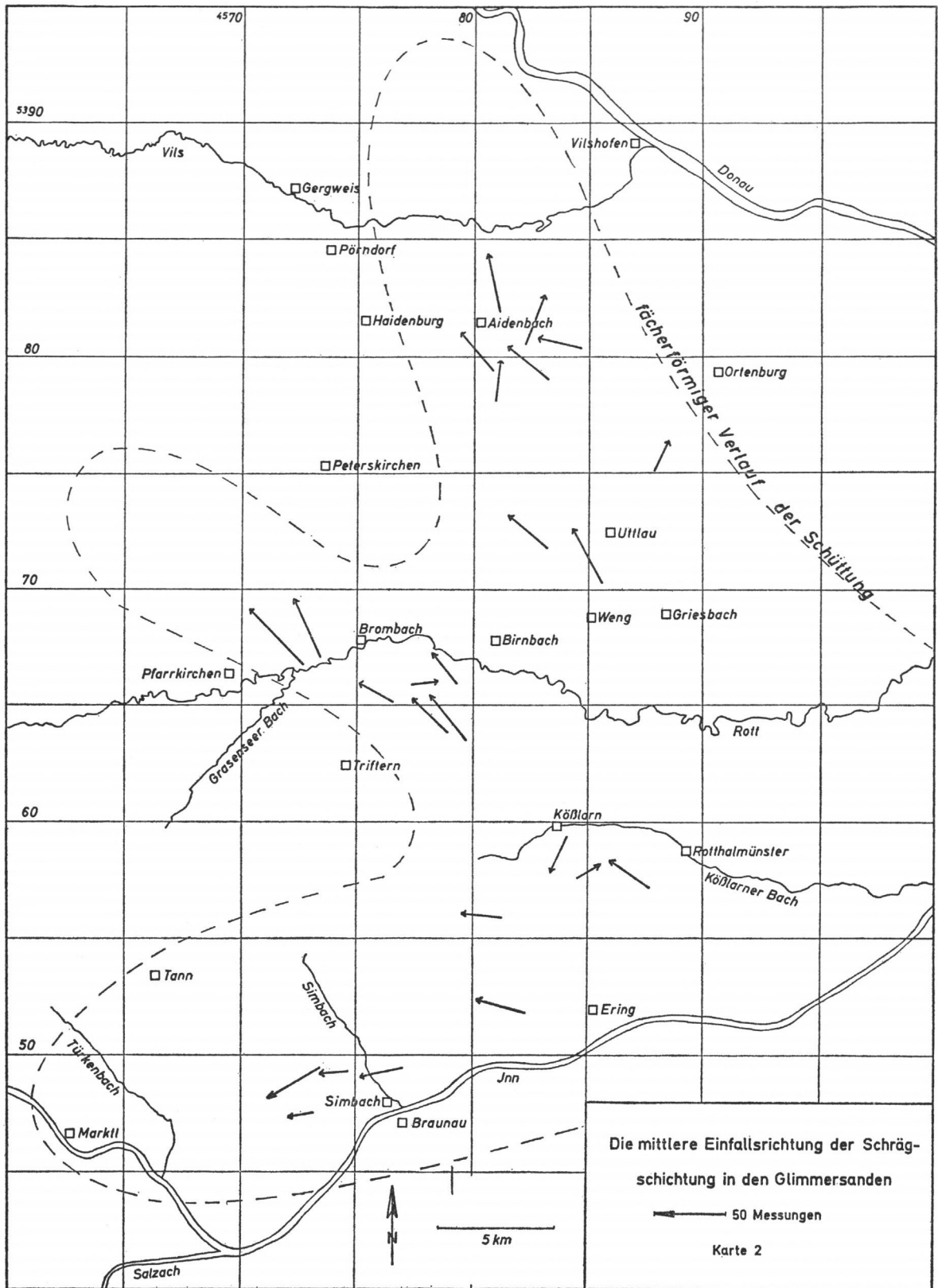
Im unteren und mittleren, seltener auch im oberen Teil der Glimmersande fallen in mehreren Aufschlüssen grau gefärbte, schwach gewellte, dünne, bis 2 cm mächtige Tonmergelbänder auf, die sich in einem vertikalen Abstand von 5 bis ca. 30 cm, vereinzelt auch > 30 cm, wiederholen können. Sie überlagern meist Abschnitte mit kleindimensionaler Schräg- bzw. Kreuzschichtung. Eine gewisse Rhythmik zwischen Strömung und Wasserruhe ist unverkennbar abgebildet.

Im untersuchten Fall wurde über horizontal- bis sehr schwach schräggeschichteten Glimmersanden eine einzelne Lage mit asymmetrischen Kleinrippeln beobachtet, die von einer Mergellage abgedeckt wird. Die obere Grenze der Feinsedimentlage verläuft nahezu geradlinig. Ihre untere Grenze zeichnet die Rippeloberseite nach. Die Mergellage erreicht an den Rippelkämmen 2–4 mm, in den Mulden wird sie bis 1,5 cm mächtig. Sie führt Häcksel und unbestimmbare Blattreste.

Aus dem Vertikalanschnitt konnten keine Aussagen über den räumlichen Rippelverlauf gemacht werden (Taf. 5, Fig. 2). Durch Abstechen der über der Feinsedimentlage folgenden Sande und durch vorsichtiges Abheben der Tonmergellage gelang es aber, über eine ca. 0,5 m² große Fläche ein gut erhaltenes Interferenzrippelfeld freizulegen (Taf. 5, Fig. 3). Weitere Versuche, Rippelmarken freizulegen, die anstatt mit Mergel mit Sand abgedeckt waren, blieben leider erfolglos.

Interferenzrippeln können durch Überlagerung eines Systems von Strömungsrippeln mit einem zweiten von Oszillationsrippeln oder auch durch die Überlagerung von zwei gleichen Rippelsystemen entstehen.

Das freigelegte Rippelfeld setzt sich aus teils quadratischen, teils aber unregelmäßig geformten Eindellungen (Pocken; in der Literatur findet man auch die Bezeichnung „tadpole nests“) zusammen. Seine Oberfläche ist mit Glimmern bedeckt. Die Kämmen der zwei Rippelsysteme verlaufen zueinander unter einem Winkel zwischen 70° und 90°. Die Kammabstände liegen zwischen 12 und 15,5 cm. Die Rippelhöhen schwanken zwischen 2,5 und 3,5 cm. Die daraus resultierenden Rippelindizes liegen zwischen 3,4 und 6,2. Auf Grund der verhältnismäßig symmetrischen und scharfen Kämmen der verschiedenen Rippeln könnte man annehmen, daß das Rippelfeld durch eine Interferenz von zwei Oszillations-



rippelsystemen gebildet wurde. Für diese Annahme sprechen auch die kleinen Rippelindizes. Die im Vertikalanschnitt (Taf. 5, Fig. 2) schwach erkennbaren Leeblätter – von oben gesehen sind die Blattspuren gerade – deuten aber mehr auf Strömungsrippeln hin. Es wurde bereits erwähnt, daß eine Unterscheidung zwischen Oszillations- und Strömungsrippeln oft sehr schwierig ist. Für die Folgerungen (s. Abschnitt 10), die man aus einem Interferenzrippelfeld ziehen kann, ist es unwesentlich zu wissen, durch welche Art von Rippeln es entstanden ist.

4.2 DIE SCHRÄGSCHICHTUNG UND IHRE SCHÜTTUNGSRICHTUNG

Die Schrägschichtung läßt eine statistische Ordnung erkennen (BRINKMANN 1933; WURSTER 1958). Die Vorschüttungsblätter der transversalen Schrägschichtung⁷ (REINECK 1958, S. 75) sind stromabwärts geneigt. Die Streichrichtung der Blätter verläuft also senkrecht zur Strömungsrichtung. Mit einer ausreichenden Zahl von Messungen kann man aus der Neigungsrichtung die ehemals vorherrschende Strömungsrichtung rekonstruieren (ILLIES 1949). Die Schrägschichtungsblätter können auch gegen die Fließrichtung geneigt sein („*antidune*“-*phase*, GILBERT 1914, S. 34; POWER 1961, S. 603–607), nur tritt dieser Fall so selten auf, daß er unberücksichtigt bleiben kann.

Auf Grund der Schichtgefüge-Ausbildung kam für die Ermittlung der Schüttungsrichtung nur der Bereich der Glimmersande in Frage. In den anderen bearbeiteten Schichtgliedern war eine Schrägschichtung entweder nicht ausgebildet oder infolge Verwühlung so verwischt, daß sie einer solchen Untersuchung nicht zugänglich waren.

Die Anzahl der Messungen wurde durch die Aufschlußqualität bestimmt. Im Durchschnitt waren in einem Aufschluß ca. 20–40 Messungen möglich. Aus den pro Aufschluß erhaltenen Meßwerten – der Streubereich der Daten beschränkte sich auf die halbe Kompaßrose – wurde jeweils die mittlere Einfallrichtung der Schrägschichtung nach der Methode der Vektoraddition (REICHE 1938, S. 919 f.) bestimmt. Die mittleren Einfallrichtungen der untersuchten Aufschlüsse werden durch Pfeile gekennzeichnet und in eine geographische Karte eingetragen (s. Karte 2). Die Pfeillängen sind proportional der Zahl der Messungen.

Im Südteil des Arbeitsgebietes herrscht eine westliche Schüttungsrichtung vor. Im Mittel- und Nordteil biegt die Richtung nach Nordwesten bis Norden um. An einigen Stellen weicht die ermittelte Transportrichtung von der generellen Richtung ab. Solche Abweichungen können, bedingt durch den Gefügeanschnitt, nur vorgetäuscht sein (Abb. 4d). Sie können aber auch auf lokale, episodisch auftretende Änderungen der Strömungsrichtung im Sedimentationsbecken zurückzuführen sein.

Die Vorschüttungsblätter der Schrägschichtung sind vorwiegend flachgeneigt. Über 50% der gemessenen Fallwinkel liegen zwischen 6° und 15° (Abb. 10). Werte >20° sind nur mit etwa 15% beteiligt.

⁷ Bei der longitudinalen Schrägschichtung streichen die Schichtblätter ungefähr parallel zur Strömungsrichtung. Sie ist „an verlandende oder wandernde Wasserrinnen gebunden“ (REINECK 1958, S. 78) und entsteht durch seitliche Sedimentation. Sie gilt als typisch für Auftauchbereiche. Im Untersuchungsgebiet ergaben sich jedoch keine Anzeichen für Auftauchbereiche.

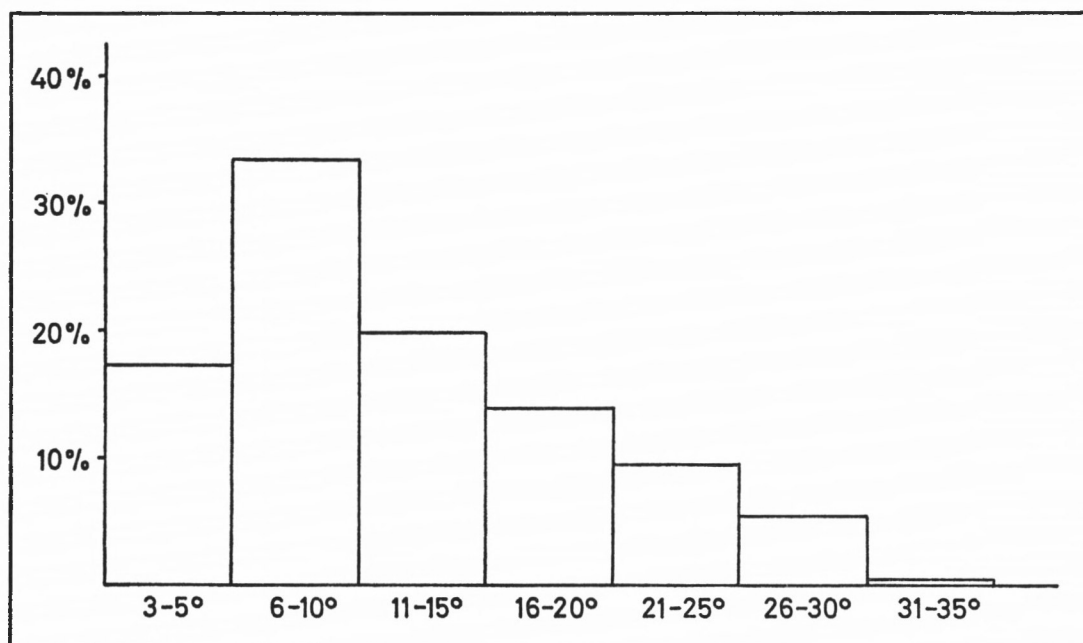


Abb. 10. Die prozentuale Verteilung der Fallwinkel der Schrägschichtungsblätter.

4.3 EBENE FEINSCHICHTUNG

Bereiche mit ebener Feinschichtung mit Mächtigkeiten bis max. 4–5 m wurden nur im Schichtprofil der Glimmersande, hauptsächlich in ihrem unteren und mittleren Teil, angetroffen. Den aufgeschlossenen Mehlsanden sind meist nur schmale, 1–10 cm mächtige Abschnitte mit ebener Feinschichtung zwischengeschaltet.

Im tonig-mergelig ausgebildeten Aussüßungshorizont tritt die ebene Feinschichtung als horizontale Bänderung auf.

Bei den Mehlsanden ist die horizontale Feinschichtung häufig durch eine z. T. rasche Wechsellagerung von dünnen, schluffig-mergeligen und sandigen Schichtblättern bedingt.

Die ebene Feinschichtung (Parallelschichtung, Stromwechselschichtung) besteht in den Glimmersanden aus einer Folge von horizontalen bis sehr schwach (max. 3°) geneigten, ebenflächigen Schichtblättern (Taf. 6, Fig. 1). Die einzelnen Blätter werden 0,3 bis max. 2,5 mm dick. Das Lamellargefüge kommt durch eine lagenweise Sonderung der hellen und dunklen Mineralien zustande. Die Mächtigkeiten der Lagen variieren regellos. Unter dem Mikroskop erkennt man, daß die Trennung in helle und dunkle Mineralien nicht quantitativ ist. Es handelt sich nur um eine relative Anreicherung an Dunkelglimmern in den dunklen Lagen gegenüber den hellen Lagen. Die Glimmerblättchen, besonders die in den dunklen Lagen, sind überwiegend parallel in die Schichtebene eingeregelt. Seltener können sie auch bis zu 30° aus der horizontalen Ebene gekippt sein. Verschiedentlich sind besonders die dunklen Glimmer bis zu 20 cm mächtigen Bestegen angereichert, in denen auch kleine Quarzkörner enthalten sind. Manchmal sind auch bis zu 5 cm mächtige Lagen oder Linsen, bestehend aus vielen plattigen Mergelgeröllen mit linsenförmigen und ovalen bis rundlichen Querschnitten, in die horizontalgeschichteten Glimmersande eingeschaltet. Die Mergelgerölle führen Häcksel und Blattreste. Mit den Mergelgeröllen sind kleine Quarze und Molluskenschalen vergesellschaftet.

Die einzelnen Schichtblätter durchziehen mit ziemlich gleichbleibender Mächtigkeit die Aufschlußwände. Die Winkeldiskordanzen waren immer so gering, daß sie erst im Anschliff deutlich wurden (Taf. 6, Fig. 1).

Die ebene Feinschichtung im Aussüßungshorizont wird durch parallele, helle oder dunkle Schlieren oder Bänder deutlich. In den hellen Bändern dominieren Glimmer, Quarze und Karbonate. Die dunklen Lagen bestehen aus einer nicht bestimmbaren faserig-krümeligen Substanz, die durch Eisenverbindungen gelblich bis schwach bräunlich angefärbt sein kann.

Die Feinschichtung im tonig-mergeligen Aussüßungshorizont kann sich nur in sehr ruhigem Wasser gebildet haben (Taf. 6, Fig. 3 und Fig. 4). Die ebene Feinschichtung in den Glimmersanden und in den Mehlsanden entstand wahrscheinlich überwiegend durch sich absetzenden Sand, der bei grundberührendem Seegang oder durch stark turbulent strömendes Wasser aufgewirbelt wurde (REINECK 1963). Die Bildung der mächtigeren Bereiche mit ebener bis schwach geneigter Feinschichtung muß nicht unbedingt durch Suspensionsströme erfolgt sein. Die Möglichkeit, daß in der flachgeneigten Feinschichtung Vorschüttungsblätter mit sehr geringen Neigungswinkeln verborgen sind, ist nicht auszuschließen (s. Abschnitt 10.12).

4.4 SCHICHTINTERNE FÄLTELUNGSERSCHENUNGEN

Bereiche mit z. T. lebhaften schichtinternen Verfaltungen finden sich fast nur in den unteren Glimmersanden. An einer Stelle wurde ein unbedeutendes Vorkommen auch in den oberen Mehlsanden (Köblarn, Nr. 15) beobachtet. Am Türkenbach-Prallhang (Nr. 1) konnte im sandig ausgebildeten Aussüßungshorizont ebenfalls ein schwach erkennbarer, gefalteter Abschnitt festgestellt werden. Besonders schön zu studieren waren die Schichtverfaltungen in den unteren Glimmersanden, und zwar in den Aufschlüssen mit den Nummern 3, 12, 14, 15, 18, 21, 22, 26 und 38 (Taf. 6, Fig. 2 und Taf. 7, Fig. 1 und Fig. 2).

Die gefalteten Bereiche waren nur bei einer deutlichen Feinschichtung sichtbar. Die Hell-Dunkel-Schichtung kommt durch eine Wechsellagerung von glimmerreichen und glimmerarmen Lagen zustande. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichtlamellen schwankt zwischen 0,3 bis max. 20 mm. Häufig liegt sie jedoch zwischen 1,0–3,0 mm. Die Mächtigkeiten der hellen und dunklen Lamellen variieren beliebig. Für alle verfalteten Lagen ist ein hoher Glimmergehalt charakteristisch.

Die schichtinternen Verfaltungen sind immer nur auf 5–20 cm, einmal jedoch bis 40 cm mächtige Zonen beschränkt. Sie halten in der Horizontalen oft mehrere Meter aus, bleiben aber zuweilen auch nur auf kleinere Bereiche beschränkt. Die Faltungsintensität kann zum Hangenden hin abnehmen. Die gefalteten Partien gehen dann ohne Diskordanz wieder in eine ruhige, z. T. schwach bogige, parallele Feinschichtung bzw. in eine flache Schrägschichtung über. Es wurden allerdings auch Vorkommen festgestellt, wo die Falten gekappt waren (Abb. 11). An einigen Stellen, so z. B. in Köblarn/Stegerkeller (Nr. 15) sind die verfalteten Lagen durch postsedimentäre Verwerfungen um 10–15 cm vertikal versetzt.

Im Aufschluß nördlich Hurn (Nr. 14) ist der gefaltete 25–40 cm mächtige Bereich zwischen horizontalgeschichtete bis flach schräggeschichtete Sande eingeschaltet. Über eine Breite von 4 m sind in Abständen zwischen 67 und 70 cm vier stehende Falten mit schmalen

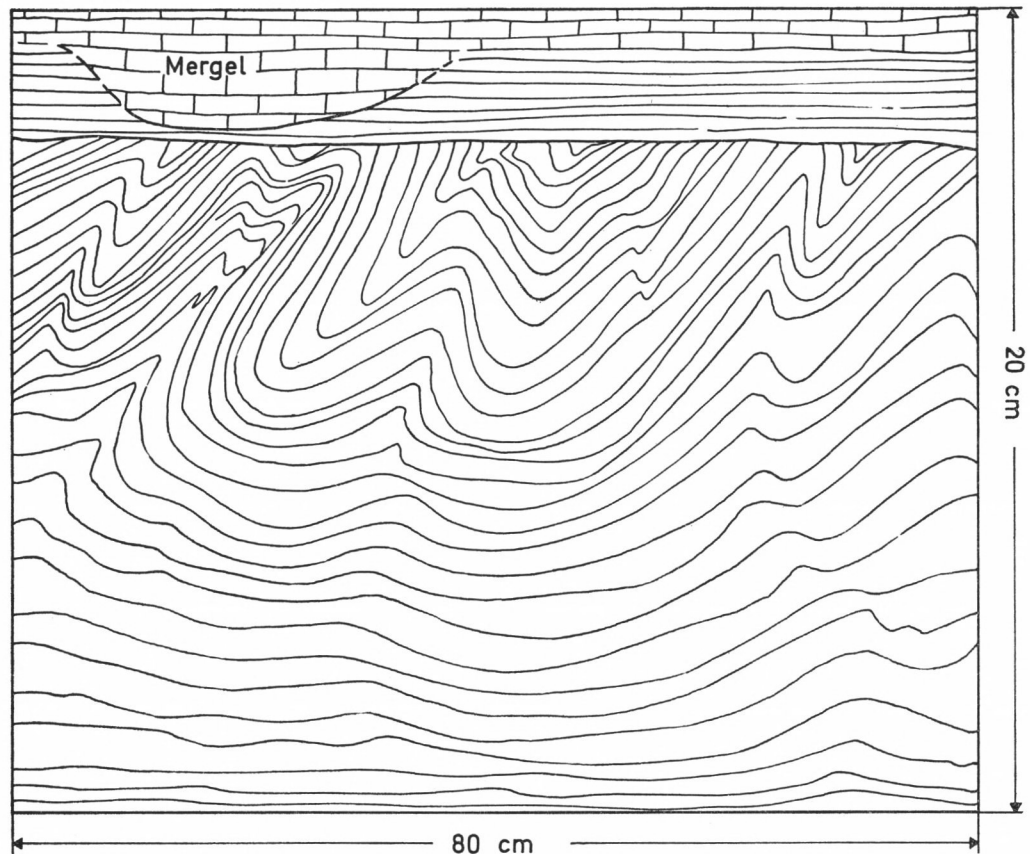


Abb. 11: Schichtinterne Verfaltungen. Die Falten sind an ihrer Hangendgrenze gekappt.
Nördlich Weng (Nr. 26), Glimmersande.

Sätteln und breiten, flachen Mulden aufgeschlossen (Abb. 12). Die Neigungswinkel der Schenkel einer Falte können annähernd gleich sein, häufig sind sie jedoch unterschiedlich. An den Scheitelpunkten der Falten war vereinzelt eine Aufspaltung in kleinere Sättel festzustellen. Schwache Fältelungen bzw. Kräuselungen an den Schenkeln und in den Mulden sind häufig. Ein Anschwellen und Ausdünnen der Blätter innerhalb der Verfaltungszonen war meist nicht erkennbar. An den spitzen Sattelformen war nur manchmal eine leichte Verdickung auffallend, der ein Ausdünnen an den Schenkeln und in den Mulden folgte.

Die Glimmerblättchen sind durchwegs gut schichtparallel in die Verfaltung eingeregelt. Nur an den Umbiegungsstellen herrscht eine gewisse Regellosigkeit vor. Diese ist an den schmalen Sätteln größer als in den breiten Mulden.

Die Verfaltungen sind in den vertikal und parallel zur Aufschlußwand liegenden Anschnitten ähnlich wie die eben beschriebenen. Die Faltungsintensität kann sich aber bei Parallelschnitten oft schon nach 3–5 cm so stark ändern, daß völlig neue Faltenbilder entstehen. Ein 4 cm dicker Anschliff (Fläche: 20 × 20 cm) zeigte auf der Vorderseite eine schöne aufrechte Falte. Auf seiner Rückseite konnte dagegen nur noch eine leichte Schichtverformung erkannt werden. Im Vertikalprofil war in einzelnen Aufschlüssen eine wiederholte Einschaltung von gefalteten Lagen in Abständen von 0,5–2,5 m festzustellen.

Im allgemeinen setzt die Verfaltung an einem bestimmten Schichtblatt ein. Innerhalb dieses Blattes können Abschnitte mit verschieden starker Kräuselung auftreten. Zum

Hangenden hin nimmt die Fältelung bis zu einem Maximum zu, und klingt dann entweder aus oder wird gekappt. Manchmal, z. B. im Aufschluß am Stegerkeller/Kößlarn (Nr. 15), kann eine Fältelung in einzelnen Teilbereichen an der Basis der Fältelungslage ganz schwach einsetzen, um dann immer stärker werdend bis zur Hangendgrenze der Verfältelung auszuhalten.

Die in diesem Abschnitt behandelten, nichttektonischen Schichtverformungen können unter dem Begriff des „*convolute bedding*“ (auch *convolute lamination*, Wickelschichtung, Wulstschichtung) zusammengefaßt werden. Unter „*convolute bedding*“ versteht KUENEN (1953, S. 1056) einen Teilbereich mit schichtinterner Verfältelung innerhalb eines unverformten Schichtpakets. Größere Gleitbewegungen, Gleitbahnen oder Abscherungen sind darin nicht zu beobachten.

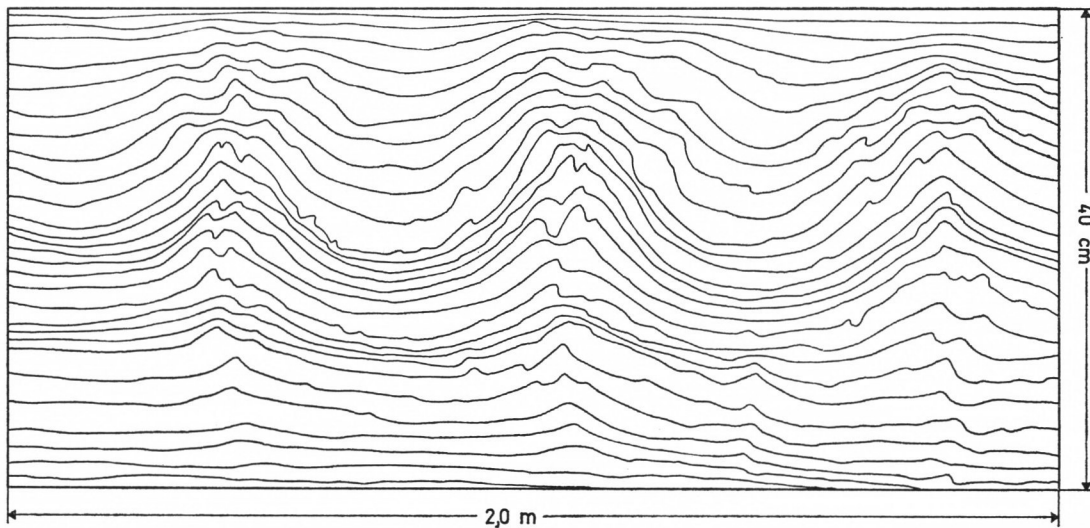


Abb. 12: Atektonische Schichtverformung. Die Verformung setzt an einem Schichtblatt ein, nimmt bis zu einem Maximum zu und klingt nach oben hin ohne Diskordanz aus. Hurn (Nr. 14), Glimmersande.

In den letzten Jahren wurde „*convolute bedding*“ zu einem Sammelbegriff für viele ähnliche Erscheinungsformen der atektonischen Faltung, die aber wahrscheinlich z. T. unterschiedlich gebildet wurden. In dieser Arbeit soll dem Ausdruck „*convolute bedding*“ keine genetische, sondern eine rein beschreibende Bedeutung zukommen.

Früher glaubte man, daß *convolute bedding* nur in Verbindung mit Turbiditen auftreten könne, bis es inzwischen auch in anderen Sedimenten gefunden wurde (DOTT & HOWARD 1962, S. 119). Zahlreiche neuere Arbeiten, besonders holländischer und angelsächsischer Wissenschaftler, behandeln die Entstehung des *convolute bedding* bzw. *convolute lamination*. In den Veröffentlichungen von EINSELE (1963) und VORTISCH (1963) werden die Deutungsversuche der einzelnen Autoren wiedergegeben und diskutiert.

Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Verfältelungen sind bestimmt nicht durch subaquatische Rutschungen (Hanggleitungen) entstanden. Bei der Einmessung einer Reihe von Sattel- und Muldenachsen ergaben sich Richtungswerte, die über die gesamte Kompaßrose streuen. Typische Rutschungsmerkmale, wie eine Ausbildung von Gleitflächen, ein gestörter Schichtverband und eine Sedimentakkumulation waren nicht zu sehen. Selbst in dem einen Fall (Aufschluß Nr. 15), wo der gefältelte Bereich über einer bis 15° geneigten Schrägschichtung lag, war keine Abscherung nachweisbar.

Nach RABIEN (1956, S. 46 f.) dürften über 90% aller bisher untersuchten Fältelungstexturen auf Ausgleichsbewegungen eines instabilen Sediment-Wasser-Breies während und unmittelbar nach der Sedimentation zurückzuführen sein.

Das in den Poren des Sediments eingeschlossene Wasser konnte aus den im Arbeitsgebiet vorliegenden feinkörnigen Sedimenten nur sehr langsam entweichen. Die Sedimente waren also verhältnismäßig lange in einem wasserreichen, mobilen Zustand: sie hatten nur einen kleinen Winkel der inneren Reibung (geringe Scherfestigkeit!), der die Fältelung wesentlich begünstigte.

Andererseits haben aber nach EINSELE (1963, S. 193) wasserreiche Sedimente meist noch eine so große innere Reibung, daß sie selbst auf einer geneigten Unterlage (Neigungswinkel häufig größer 10°) noch liegenbleiben oder bei kleinen Belastungen nicht wesentlich ausweichen. Der zur Verfältelung führende Prozeß kann daher nach EINSELE (1963) nur bei einem spontanen Verlust der Scherfestigkeit eintreten.

Über die zur Fältelung führenden Kräfte gehen die Meinungen auseinander. Schwerkraft (Belastung), Auftrieb, Fließerscheinungen innerhalb des mobilen Sedimentes und Strömung werden als die wichtigsten Faktoren angesehen. Bei den im Kleinbereich möglichen Fließbewegungen werden nach EINSELE (1963) nur Zentimeter- bis Dezimeterbeträge erreicht und die Lamellen der Feinschichtung werden dadurch nicht zerstört.

Die in meinem Arbeitsgebiet beobachteten Verfältelungen sind synsedimentär; sie entstanden z. T. unter der Sedimentoberfläche und teilweise an der Sedimentoberfläche. Die Verfältelungen sind häufig aus einer ebenen Feinschichtung (Parallelschichtung) bei wahrscheinlich schwachen oder fehlenden Strömungen hervorgegangen. Die wichtigsten Stadien der Gefügebildung sind nach EINSELE (1963, S. 190, Abb. 7) in der Abb. 13 dargestellt.

Die Fältelungsbereiche sind nur an die feinkörnigen, glimmerreichen unteren Glimmersande gebunden (s. Kornverteilung Abb. 20). Die Feinkörnigkeit und der hohe Glimmer-

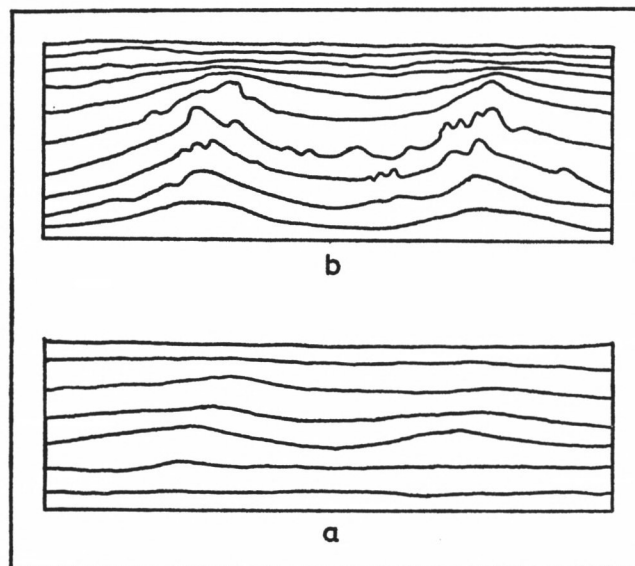


Abb. 13: Die Entstehung der Verfältelung aus einer Parallelschichtung.

a) schwach gewellte Parallelschichtung

b) über parallelen Feinlagen folgen gefältelte Lagen. Sie sind in den Mulden dicker als auf den Kämmen. Es kommt zu einem verstärkten Einsinken der Mulden und einer Auffaltung der Kämme (Sedimentfließen). Nach oben hin verschwinden die Vertikalbewegungen langsam (nach EINSELE 1963).

gehalt der Sedimente waren für den Verfältelungsprozeß wahrscheinlich unter anderem von entscheidender Voraussetzung.

Bei der Verfältelung können sicher noch eine Reihe anderer Faktoren von Bedeutung sein. Man kann bei der Deutung der atektonischen Schichtverformung die Möglichkeit nicht ausschließen, daß ein und dieselbe Erscheinungsform als konvergente Endform verschiedener Vorgänge entsteht. Auf der anderen Seite wiederum kann die gleiche Ursache zu verschiedenen Texturen (divergente Endform) führen.

4.5 SUBAQUATISCHE RUTSCHUNGEN

Subaquatische Rutschungen sind nach HEIM (1908) Gleitbewegungen (Schwerkraftgleitungen von meist größerem Ausmaß) von frisch abgelagerten Sedimenten unter Wasserbedeckung. Die Gleitungen können bereits auf einer nur wenige Grad (etwa $2-4^\circ$) geneigten Fläche erfolgen.

Anzeichen für Unterwasserrutschungen finden sich im Arbeitsgebiet nur in zwei Aufschlüssen. Ein Vorkommen in den Mehlsanden, ca. 2 m unterhalb des Schillhorizontes, wurde bereits von MAYR (1957, S. 321f.) erwähnt. Es liegt NW Edmühle (Nr. 6) an der Basis eines Bachanrisses (Abb. 14). Das Rutschungsgefüge konnte nur im nahezu senk-

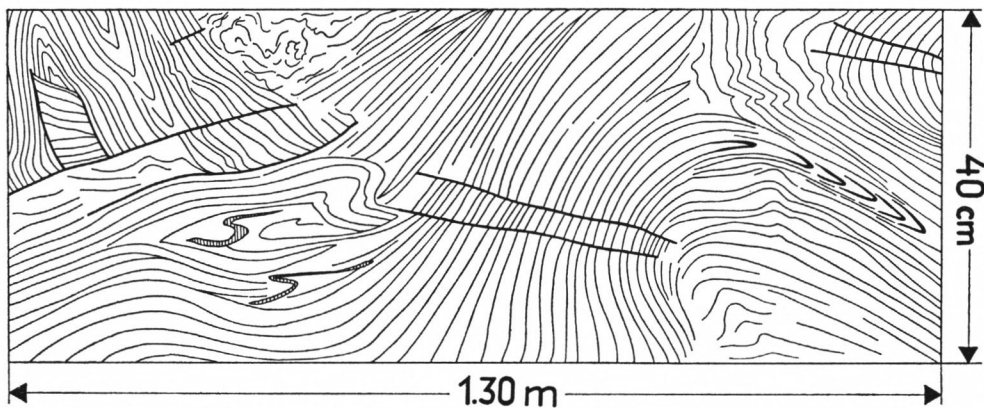


Abb. 14: Rutschungsgefüge im Anschnitt mit z. T. scharfen Brucherscheinungen. Nordwestlich Edmühle (Nr. 6), Mehlsande.

rechten Anschnitt untersucht werden. Aus dem komplizierten Spurenverlauf der angeschnittenen hellen und dunklen Schichtflächen kann auf eine verhältnismäßig intensive Sedimentdurchbewegung geschlossen werden. Die diskordant eingeschalteten, schmalen Bereiche sind an ihrer Ober- und Unterseite scharf begrenzt. Nur vereinzelt sind an den scharfen Brüchen kleine Schleppungen vorhanden. Derartige Gefüge deuten auf eine beginnende Konsolidierung des frisch sedimentierten Materials hin. Die Rutschung erfolgte also wahrscheinlich unmittelbar nach der Sedimentation.

Das Rutschungsgefüge wurde über eine Breite von 2,0 m freigelegt. Seine aufgeschlossene Mächtigkeit beträgt etwa 0,40 m. Darüber folgen mit einer scharfen Diskordanz schräg- bis bogiggeschichtete Mehlsande.

Bei Hitzenau (Nr. 2) sind in einer 17 cm mächtigen, schluffig-sandigen Lage des Aus-
süßungshorizontes kleinere Rutschungserscheinungen vorhanden. Das Gefüge wird durch

einen Wechsel von feinsandigen und schluffigen Lagen sichtbar. In den mergeligen Bereichen kommen gerade bis geschlängelte, helle bis dunkelgraue Schlieren vor. Die Farbnuancierung der Schlieren ist durch eine unterschiedliche Anreicherung von dunklen Flittern (Pflanzenreste) bedingt. Die Farbtönung kann auch noch durch Huminsäuren verursacht sein. Die einzelnen Lagen sind teils so heftig ineinanderverfaltet, daß sie aus ihrem Zusammenhang gerissen wurden. Für die Bildung dieses Gefügetyps wird eine synsedimentäre Gleitung im Kleinbereich angenommen (Taf. 7, Fig. 3).

5. DAS ORGANOGENE SEDIMENTGEFÜGE

Ein primär angelegtes Schichtgefüge wird durch die wühlenden Organismen, die im Sediment und auf seiner Oberfläche leben, mehr oder weniger stark modifiziert oder sogar zerstört. Nach RICHTER (1937 b) bezeichnet man alle Lokomotionsbewegungen (Ortsbewegungen) in Lockersedimenten mit „*Wühlen*“. Durch diese Bioturbation (SCHÄFER 1962) entsteht als sekundäres Gefüge (MOORE & SCRUTON 1957; REINECK 1963) das organogene Sedimentgefüge. In der Fachliteratur hat sich dafür der von RICHTER (1936) geprägte Begriff „*Wühlgefüge*“ eingebürgert.

Nach SCHÄFER (1962) kann das Wühlgefüge folgendermaßen gegliedert werden:

1. Verformungswühlgefüge

Der Schichtverband wird durch wühlende Organismen regellos verformt.

2. Gestaltungswühlgefüge

Der Schichtverband wird durch wühlende Organismen lokal umgestaltet, und zwar entweder durch endogene Tiefbauten oder durch exogene Hochbauten.

Nach REINECK (1963) ist eine Unterscheidung beider Wühlgefügetypen im vertikalen Schichtanschnitt auch bei rezenten Meeressedimenten nur in seltenen Fällen möglich.

Im folgenden Abschnitt werden die im untersuchten Schichtprofil vorkommenden fossilen Lebensspuren beschrieben. Dabei werden als Lebensspuren nach SEILACHER (1953 a, S. 423) alle Formen bezeichnet, „die einem unbelebten Substrat durch die Tätigkeit lebender Organismen aufgeprägt sind...“. Eine weitere Aufgliederung der Lebensspuren in Weidespuren, Kriechspuren, Wohnbauten und Freßbauten war in meinem Arbeitsgebiet nicht möglich.

Im gesamten Schichtprofil treten als häufigste erkennbare Wühltexturen Lokomotionsbahnen und Versatztexturen auf. Die Lokomotionsbahnen im Sediment entstehen bei Ortsbewegungen von Tieren, z.B. bei Nahrungssuche und Flucht. Sie sind im Vertikalanschnitt an den in vertikaler Richtung sich wiederholenden Schichtverbiegungen zu erkennen (Taf. 7, Fig. 4; Taf. 8, Fig. 2; Taf. 10, Fig. 1). Die Sackung der einzelnen Blätter ist um so ausgeprägter, je näher die Schnittlage am Zentrum des Wühlganges liegt (SCHÄFER 1962). Die Randzonen der Wühlbahnen sind unverklebt. Im zentralen Teil der Bewegungsspuren sind die nach unten gekrümmten Schichtlamellen meist nur schwach zu sehen. Die Begrenzungen zur Verwühlungsspur, in der Literatur auch Schichtköpfe genannt, zeigen im allgemeinen nach unten. Sie sind deshalb als Geopetalgefüge von Bedeutung. An einigen Lokomotionsbahnen war eine nach unten weisende Schichtverbiegung nur im Basisteil zu erkennen, während die höheren Schichtblätter nach oben geschleppt waren. Am Rande der Wühlspuren kann es vereinzelt auch zu kleinen Stauchungen der „Schichtköpfe“ kommen (Taf. 8, Fig. 2 und Fig. 5). Aus den abwärts gebogenen „Schichtköpfen“ kann im allgemeinen nicht erschen werden, in welcher Richtung das grabende Tier sich bewegt hat. Die Lokomotionsbahnen beginnen im Anschliff meist unvermittelt. Ihre Breite schwankt zwischen 0,3–15,0 mm, ihre Länge erreicht bis max. 8,0 cm. Die

Wühlbahnen sind an ihrem oberen Ende zuweilen durch Diskordanzen abgeschnitten, sie können aber auch vereinzelt noch über diese hinweg bis ins überlagernde Sediment hinein verfolgt werden.

Die Versatztexturen entstehen dadurch, daß das in einen Bau bzw. in einen Gang eingedrungene Sediment von dem sich darin aufhaltenden Tier teils ringsum, teils einseitig an die Gangwände gepreßt wird. Der wiederholte Vorgang dieser sog. „Räum-Auskleidung“ (REINECK 1958, S. 7) führt zu einem Preßgefüge (Versatzbau), das sich, je nach Schnittlage, entweder aus einer Serie von gekrümmten Mikroblättern oder aus nahezu parallelen Blättern zusammensetzen kann. Gekrümmte Lamellen liegen bei einem Schrägschnitt durch einen mehrwandigen Gang oder bei einem Vertikalschnitt mit einseitiger Räum-Auskleidung vor (Taf. 8, Fig. 8). Parallele Lamellen entstehen bei einem Längsschnitt durch einen Gang mit einseitiger oder allseitiger Räum-Auskleidung. Einzelne Gänge in den Anschliffen sind so geschnitten, daß gekrümmte und gerade zueinander parallel liegende Blätter in einem Gang zusammen vorhanden sind (Taf. 8, Fig. 1). Versatztexturen mit gekrümmten Blättern – Glimmerblättchen sind in die Krümmung eingeregelt – überwiegen jedoch bei weitem. Ihre Breite schwankt zwischen 1,0 und max. 5,0 mm, häufig liegt sie um 2,0–3,0 mm. Die maximale Länge im Anschliff lag bei 1,5 cm. Die Mächtigkeit der einzelnen gekrümmten Lamellen beträgt 0,1–0,5 mm. Die geradlinig bis bogig verlaufenden Versatzbauten sind sehr unterschiedlich über die Anschlifffläche verteilt. Sie können parallel, schräg und senkrecht zur Schichtung orientiert sein. Die konvexen Seiten der Mikroblätter können zum Hangenden hinweisen, meist zeigen sie jedoch das Liegende an. Die Ränder der Versatzbauten sind im allgemeinen unscharf, nur vereinzelt ist ein dünner, dunkler Saum erkennbar.

Nicht selten fielen im Anschliff auch $\pm$ konzentrisch angeordnete Mikroblätter auf, deren maximaler Durchmesser bei 1,2 cm, oft jedoch um 3,0 mm lag (Wicklungstexturen!) (Abb. 15). Es handelt sich hier vermutlich ebenfalls um quergeschnittene Gänge mit Räum-Auskleidung (Taf. 8, Fig. 6).

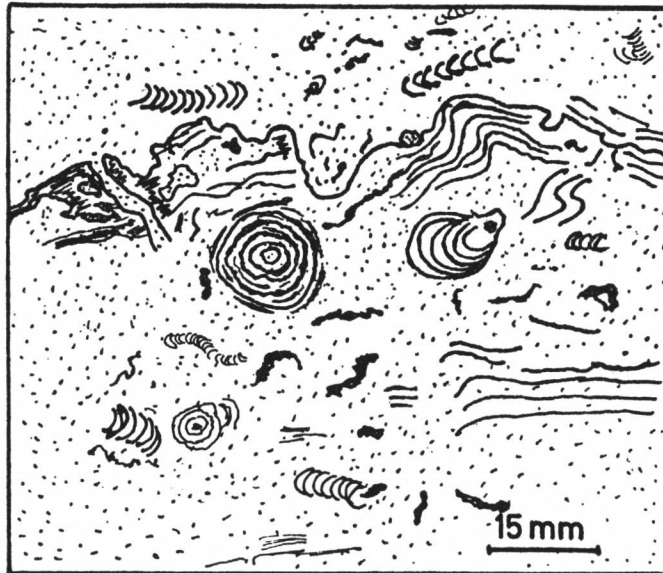


Abb. 15: Konzentrisch angeordnete und linear angeordnete gekrümmte Lamellen (Versatztexturen) in einem stark verwühlten Bereich. Lokal ist das ursprüngliche Schichtungsbild noch erhalten. Nach einem Anschliff gezeichnet. – Ziegelei Aidenbach (Nr. 32), Mehlsande.

In einem Anschliff (Moosmühle, Nr. 17) ist ein unverzweigter vertikal- bis schrägverlaufender 2,5–4,0 mm breiter Gang auf eine Länge von 6,5 cm angeschnitten. Der Gang ist nur z. T. von mergeligem Material eingefast (Taf. 9, Fig. 1). Die Gangfüllung unterscheidet sich weder in der Textur noch in der Farbe von dem umgebenden Sediment. Die Möglichkeit, daß hier ein gemauerter Gang vorliegt, ist nicht von der Hand zu weisen.

Einzelne Anschliffe lassen in stark verwühlten Bereichen unregelmäßig gewundene, sich gegenseitig durchkreuzende und sich verzweigende, stengelige Formen erkennen. Sie bestehen aus größeren, meist hellen Sedimentpartikeln und heben sich deshalb unter dem Mikroskop verhältnismäßig gut vom umgebenden Material ab. Manchmal sind die schlauchförmigen, 0,7–1,5 mm breiten und 4–10 mm langen Gebilde an einem Ende pilz- bis kugelförmig erweitert (Taf. 8, Fig. 3). Ihre Ränder sind durch einen dunklen Saum gekennzeichnet, der teils durch eine tapetenförmige Glimmeranordnung und teils wahrscheinlich durch tierische Schleimabsonderung bedingt ist. Die Glimmerblättchen sind vereinzelt in Schnüren oder Nestern angereichert. Es ist anzunehmen, daß sie auch als Bauelement eine gewisse Bedeutung hatten.

In den parallel zu den Schichtflächen verlaufenden Schnitten beobachtet man häufig reichverzweigte Systeme von 0,5–1,5 mm breiten, texturlosen Gängen (Taf. 10, Fig. 4).

Gutgeschichtete Bereiche enthalten in Vertikal- und in Horizontalschnitten oft runde, ovale bis längliche, texturlose, sandige Einschaltungen mit Durchmessern von 1,0–7,0 mm. In mergeligen Lagen wurde Ähnliches beobachtet. Es handelt sich dabei wahrscheinlich um vertikale und horizontale Ganganschnitte, die mit Sand ausgefüllt sind (Taf. 8, Fig. 4; Taf. 10, Fig. 2).

Die 1–2 cm mächtigen Mergelbänder, die den Schluffen und Sanden häufig zwischengeschaltet sind, können an ihrer Ober- und Unterseite stark angebohrt sein. Aus einer manchmal sichtbaren, leichten Schichtaufwölbung in den überlagernden Sanden kann man ersehen, in welcher Richtung das wühlende Tier sich bewegte (Taf. 8, Fig. 6 und 7). Die Mergellagen sind teils so stark verwühlt, daß sie in einzelne unregelmäßig geformte Körper aufgelöst sind, die in einer texturlosen, sandigen Grundmasse schwimmen. Manchmal sind mergelige Partien von vielen wirr verlaufenden, sandigen Gängen durchsetzt, so daß im Anschnitt sehr eigenartige Gefüge sichtbar werden (Taf. 10, Fig. 3).

Die obigen Beschreibungen der bioturbaten Texturen beschränken sich im allgemeinen auf die der Ausbildung von Einzelformen. In den weiteren Ausführungen soll das Wühlgefüge in seiner Gesamtheit und in seiner Beziehung zu den untersuchten Schichtgliedern erfaßt werden.

Die Mehlsande sind – von einigen Ausnahmen abgesehen – vom Liegenden bis zum Hangenden meist stark durchwühlt. Die Verwühlung ist in einzelnen Lagen häufig so stark, daß die ursprüngliche Schichtung nur noch als Relikt erhalten ist. Bei einer Gesamtanschlifffläche von 160 cm² waren in einem Fall nur noch 1–5 cm² schwach geschichtet. Aber auch diese Schichtrelikte liegen z. T. bereits verstellt im Verwühlungsbereich. Die Schichten wurden in vielen Fällen sicher mehrmals durchpflügt. Eindeutig erkennbare bioturbate Texturen können völlig fehlen. In einigen Anschliffen war die Entschichtung so vollkommen, daß die Primärschichtung überhaupt nicht mehr zu erkennen war (Taf. 9, Fig. 3). Nach RICHTER (1936) ist eine Schichtungslosigkeit aber noch kein Beweis für eine Entschichtung durch Wühler. Schichtungslosigkeit kann auch durch Ausflockungseffekte bei der Durchmischung von Süß- und Salzwasser bedingt sein (JOHNSTON 1922). Jener vertikale und auch laterale Wechsel von Bereichen mit schwacher, stärkerer, bis zu solchen mit restloser Schichtverwühlung läßt jedoch eindeutig auf eine Entschichtung durch Organismen schließen. Völlig entschichtete Bereiche erscheinen meist grau bis braun gefleckt (mottled struc-

ture nach MOORE & SCRUTON 1957) und mergelige Fragmente sind regellos in einer grauen, schluffig-sandigen, z.T. homogen erscheinenden Grundmasse eingestreut. Die Mächtigkeiten der unterschiedlich, z.T. aber bis zur Entschichtung verwühlten Horizonte variieren zwischen 3 und 25 cm; seltener liegen sie darunter oder darüber. In diese Verwühlungshorizonte sind in der Regel 0,3–5 cm mächtige, geschichtete Lagen eingeschaltet, deren Ober- und Unterseiten aber auch schon stark angebohrt sein können. Die Lagen selbst waren auch bewohnt. Die Verwühlung geht aber hier über $\pm$ starke Schichtdeformationen meist nicht hinaus, so daß das teilweise mehrere Diskordanzen enthaltende Primärgefüge in groben Zügen immer noch zu erkennen ist. Das Hangende dieser Lagen stellt die Basis eines neu beginnenden Verwühlungsbereiches dar. In den oberen Mehlsanden konnte eine Abnahme der Verwühlungsintensität in einzelnen Aufschlüssen (z.B. bei Kößblarn, Nr. 15 und Nr. 16) festgestellt werden. Die verwühlten Bereiche sind im Durchschnitt geringmächtiger. Vertikale Lokomotionsbahnen – eine 3–5 mm breite Sackungsbahn war über eine Länge von 18 cm angeschnitten – sind hier häufiger als sonst in den Mehlsanden beobachtet worden. Die oberen Grenzen von geschichteten, unverwühlten Bereichen sind im Anschnitt sehr oft durch eine unruhige Morphologie gekennzeichnet, die durch die rege Wühltätigkeit von Organismen bedingt ist.

Der wiederholte Wechsel zwischen stark verwühlten, z.T. entschichteten Abschnitten und solchen mit schwächerer Schichtverwühlung spiegelt eine Periodizität im Wechsel der Sedimentationsgeschwindigkeit und der Strömungsverhältnisse wider (Taf. 9, Fig. 1 u. Fig. 4; Taf. 11, Fig. 1 u. Fig. 2).

Die Sandzwischenlagen des Schillhorizontes sind sehr selten von Wühlbahnen durchsetzt.

In den Glimmersanden tritt eine stärkere Schichtverwühlung, die vereinzelt sogar bis zur Entschichtung führen kann, nur noch in ihrem Basisteil auf, und zwar vorwiegend in schmalen, bis 5 cm mächtigen Lagen, in die Mergelbänder eingeschaltet sind (Taf. 10, Fig. 1, Taf. 11, Fig. 4). Die verwühlten Horizonte sind an ihrer Obergrenze durch erosive Vorgänge manchmal scharf von einer ebenen, unverwühlten Feinschichtung abgeschnitten (Taf. 12, Fig. 1).

Ein merkwürdiges Gefüge, das auch in einzelnen Aufschlüssen bis zu einer Mächtigkeit von 0,5–1,0 m beobachtet werden konnte, enthielt ein Anschliff aus einem Aufschluß bei Hinterholz (Nr. 3). Ein 2,5 cm mächtiger Bereich mit kleindimensionaler Schrägschichtung geht allmählich in eine 2,5 cm mächtige Partie über, die eine unregelmäßige und verhältnismäßig verwaschene Schichtung zeigt (Taf. 11, Fig. 3). Die einzelnen, z.T. auseinandergerissenen Schichtlamellen sind durchbewegt und bogig verformt. Die Glimmerblättchen – in den geschichteten Lagen immer gut schichtparallel eingeregelt – liegen regellos durcheinander. Über diesem Abschnitt folgt eine ebene Feinschichtung, deren Blätter nur noch im Detailbereich leicht verformt sind. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist das beschriebene Gefüge durch Organistentätigkeit entstanden. Dafür sprechen auch die darin enthaltenen Preßgefüge und die nicht selten zu beobachtenden Lokomotionsbahnen.

Schmale, unterschiedlich stark verwühlte, mergelige Lagen und meist vertikal- bis schrägverlaufende Wühlbahnen kommen auch in den mittleren Glimmersanden vor. Die oberen Glimmersande sind außer vereinzelt auftretenden Wühlspuren unverwühlt.

Im sandig und mergelig ausgebildeten Aussüßungshorizont tritt die Verwühlung wieder auf. Abgesehen von geringmächtigen, im allgemeinen leicht verwühlten bis vereinzelt entschichteten Lagen erlangt sie aber hier, ebenso wie in den Glimmersanden, bei weitem nicht mehr das Ausmaß wie in den Mehlsanden (Taf. 12, Fig. 2).

Das im Untersuchungsgebiet vorkommende Wühlgefüge ist wahrscheinlich überwiegend ein Verformungswühlgefüge. Die Schichtverwühlung kann mit der Sedimentation, also kontinuierlich von unten nach oben, erfolgt sein, sie kann aber auch nachträglich von der Sedimentoberfläche aus nach unten, etwa 10–20 cm tief, stattgefunden haben; beide Fälle sind möglich. Bei den mergeligen Lagen, deren Obergrenze häufig stärker angebohrt ist, könnte man eine an der Sedimentoberfläche stattfindende Verwühlung annehmen. Größtenteils dürfte aber die Verwühlung durch freibewegliche Tiere im Sediment selbst erfolgt sein.

Welche Organismen an der Verwühlung teilhaben, ist nur in wenigen Fällen mit Sicherheit zu klären. Lediglich aus der Breite der Lebensspuren kann auf die ungefähre Größe der Urheber geschlossen werden.

Die meisten Lokomotionsbahnen sind wahrscheinlich durch Bewegungen – Fluchtbewegungen infolge Sedimentation oder Erosion, Nahrungssuche – der vorwiegend im Sediment lebenden Lamellibranchiaten entstanden. Dies wird durch die vereinzelt am oberen Ende von Wühlspuren noch in Lebensstellung angetroffenen Muscheln bestätigt (s. Taf. 9, Fig. 2).

Die Versatztexturen (Preßgefüge) gehen vermutlich überwiegend auf die Tätigkeit von Würmern zurück.

Inwieweit andere Tiere an der Bildung der Wühlgefüge beteiligt waren, konnte nicht ermittelt werden. Auf Grund der großen Variationsbreite und der häufigen Konvergenzerscheinungen ist es meist auch unmöglich, die fossilen Spuren mit bestimmten Tierarten zu identifizieren (SEILACHER 1957). Dies wird durch die Untersuchungen im Wattbereich bestätigt. Von den aus den Jadewatten bisher bekannten typischen Spuren haben nur wenige (etwa 25%) fossile Pendants.

6. SCHOTTEREINLAGERUNG

Obwohl ich mich im Rahmen dieser Arbeit in der Hauptsache mit dem Gefüge von Feinsedimenten beschäftigte, wurde auch der in die Glimmersande eingeschaltete Pettenauer Schotter (MAYR 1957) gefügekundlich untersucht. Ich erwartete nämlich aus den Gefügedaten dieses Grobsedimentes zusätzliche Merkmalswerte über Schüttungsrichtung und Strömungsintensität. Der Pettenauer Schotter tritt nur an einer Stelle (Nr. 9) als 2,5 m mächtiger, z. T. konglomeratisch verfestigter Grobkies auf, und er wird durch eine 1,5 m mächtige, schräggeschichtete Sandlage in zwei Pakete getrennt. Die Grenze Glimmersande-Schotter ist schwach gewellt (Taf. 3, Fig. 4).

6.1 STOFFEIGENSCHAFTEN DES SCHOTTERS

Nach KALTERHERBERG (1956) sind die Stoffeigenschaften eines Schotters charakterisiert durch die Kornform und die Kornverteilung seiner Komponenten.

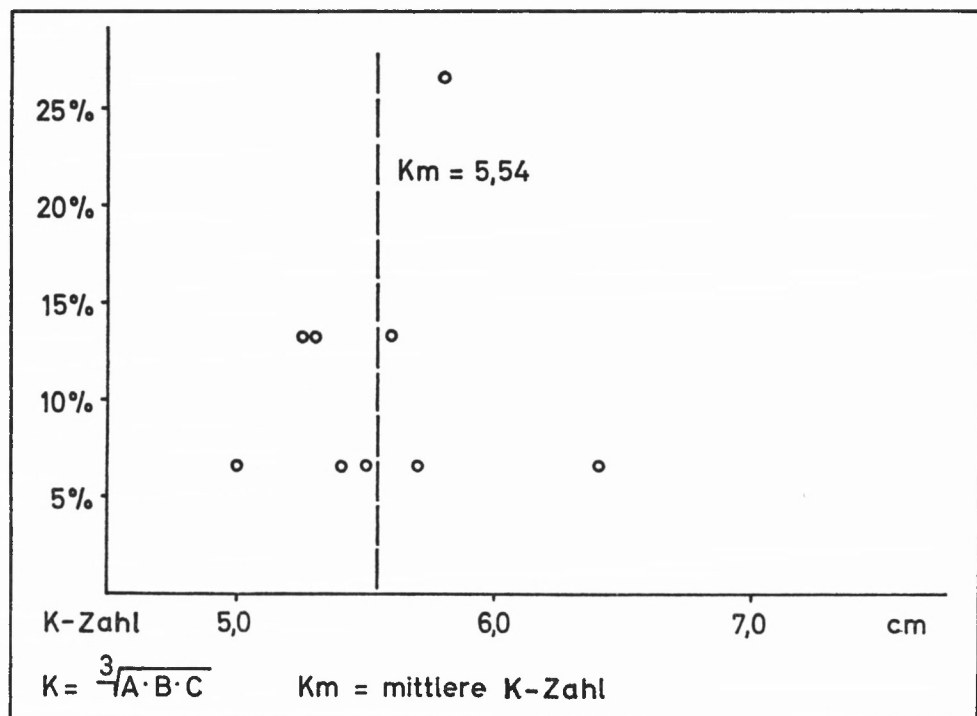


Abb. 16: Die prozentuale Häufigkeit der Geröllmaxima im Pettenauer Schotter.

Die Gerölle im Pettenauer Schotter sind überwiegend gut kantengerundet. Zur Charakterisierung der Geröllform ist auch der Grad der Stengeligkeit F von Bedeutung. Er wird durch das Verhältnis der morphologisch längsten (A-Achsen) zur morphologisch mittleren (B-Achse) Geröllachse ausgedrückt (KALTERHERBERG 1956). Die Geröllform ist um so stengeliger, je größer der Wert F ist. Von den 20 größten (A-Achsen > 8 cm) aus dem Anstehenden entnommenen Geröllen schwanken die Werte der Stengeligkeit zwischen 1,2 und 3,1. Im Durchschnitt liegen sie um 1,7, d. h. der Pettenauer Schotter ist durch seinen F -Wert als Schotter geringer Stengeligkeit charakterisiert. Zur Bestimmung der Geröllgröße wurden von den 20 größten Geröllen die Längen der drei aufeinander senkrecht stehenden A-, B- und C-Achsen gemessen. Das geometrische Mittel ($K = \sqrt[3]{A \times B \times C}$, RUCHIN 1958, S. 429) dieser Werte liefert brauchbare Vergleichswerte. Die K -Zahlen des Pettenauer Schotters liegen im Bereich zwischen 5,2 und 6,4 cm. Die mittlere K -Zahl beträgt ca. 5,5 cm (Abb. 16); der Schotter ist also verhältnismäßig feinkörnig.

Die Kornverteilung des Pettenauer Schotters ist in der Abb. 19 durch eine Summenkurve dargestellt. Die Kurve weist zwei deutliche Maxima auf: eines im Mittelsandbereich, das andere im Mittelkiesbereich (s. Abb. 19, Klassifizierung nach v. ENGELHARDT). Die Kornfraktion zwischen 0,5–2,0 mm fehlt. Das sandige Zwischenmittel des Schotters unterscheidet sich weder in der Kornpetrographie noch in der Kornverteilung von den oberen Glimmersanden (s. Abschnitt 9).

Eine grobe petrographische Aufteilung des Schotters in Quarz-, Karbonat- und Kristallingerölle führte, bezogen auf verschiedene Korndurchmesser, zu folgendem Ergebnis:

Korndurchmesser	Quarzgerölle	Karbonatgerölle	Kristallingerölle
> 1 mm	74%	24%	2%
> 4 mm	74%	22%	4%
> 8 mm	70%	22%	8%
> 20 mm	71%	17%	12%

Man sieht also, daß die Quarzgerölle in allen vier Kornfraktionen mit nahezu gleichbleibenden Prozentanteilen vertreten sind. Die Karbonatgerölle reichern sich mit abnehmendem Korndurchmesser an, der Gehalt an Kristallingeröllen wächst dagegen mit zunehmender Korngröße.

6.2 ORIENTIERUNG DER A-ACHSEN DER GERÖLLE

Die Längsachsen der Gerölle legen sich in Wasserläufen quer zur Strömungsrichtung oder in die Strömungsrichtung (RUCHIN 1958). Zwischen Geröllorientierung und ehemaliger Schüttungsrichtung besteht somit eine einfache und eindeutige Beziehung (KRUMBEIN 1939; ILLIES 1949).

Bei einem raschen Absinken der Transportkraft des schüttenden Mediums, also bei schneller Sedimentation, werden die langen Geröllachsen quer zur Transportrichtung sedimentiert (KALTERHERBERG 1956).

Nimmt die Transportkraft langsam ab, so kann ein Großteil der primär quer zur Transportrichtung abgelagerten Gerölle noch parallel zur Strömungsrichtung eingeregelt werden (SUTTER 1962).

KÜRSTEN (1960) stellte bei Untersuchungen an rezenten Flußablagerungen fest, daß im Transportbereich eines Flusses die Gerölle mit ihren langen Achsen die Querlage einnehmen. Im Sedimentationsbereich dagegen orientieren sie sich mit ihrer Längsachse hauptsächlich parallel zur Fließrichtung.

Zur Einmessung der morphologisch längsten Achsen (= A-Achsen) wurde die Obergrenze des unteren Pakets des Pettenauer Schotters vorsichtig auf 1 m² freigelegt und 100 Gerölle, länger als 3,0 cm, eingemessen.

Die gemessenen Streich- und Fallwerte der A-Achsen der Gerölle (A-Achsen-Durchstichpunkte) wurden im flächentreuen Polnetz (untere Lagenkugel) dargestellt (Abb. 17). Das A-Achsen-Diagramm weist mehrere kleine Felder maximaler Belegdichte auf. Die Belegdichte von 6% wird nicht überschritten. Die Randlage der Belegdichtefelder kennzeichnet das flache Einfallen der A-Achsen. Der Mittelwert der Fallwinkel bewegt sich zwischen

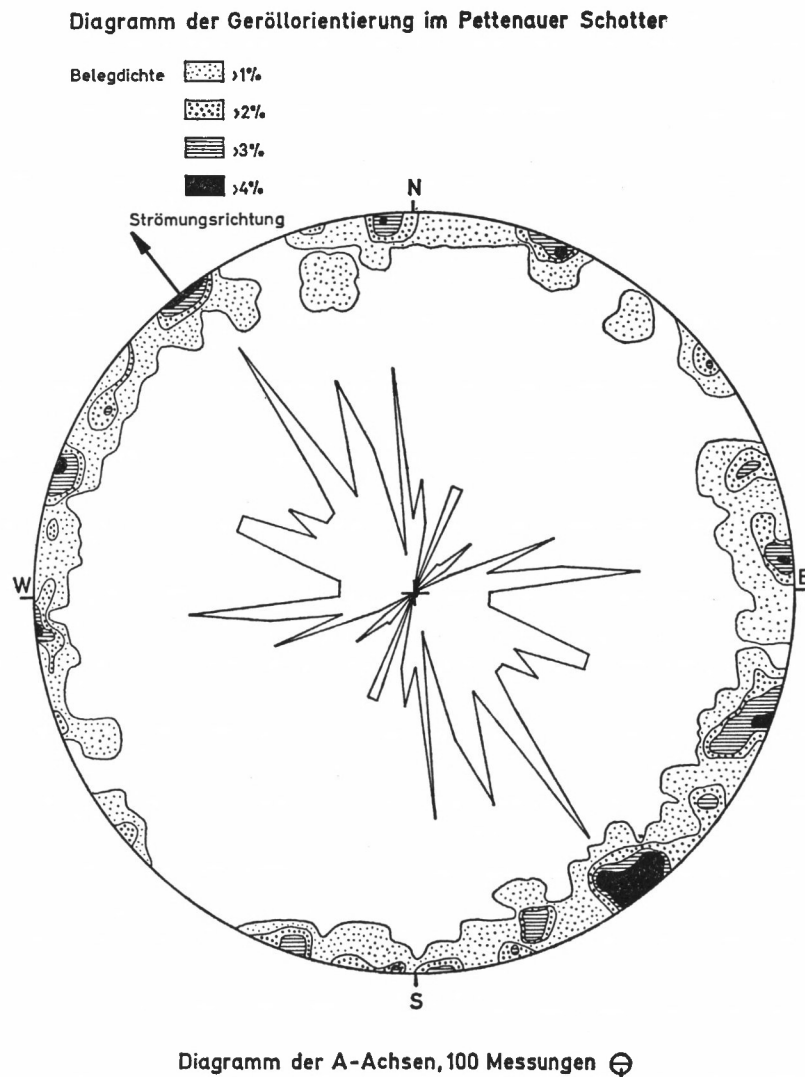


Abb. 17: Die Orientierung der Geröll-Längsachsen (= A-Achsen) im Pettenauer Schotter, dargestellt durch die Belegdichte und die Richtungsrose der A-Achsen. 54% der gemessenen A-Achsen liegen parallel der Richtung SSE-NNW (= 110°-160° bzw. 290°-340°).

0–8°. Nur 5% der gemessenen Fallwinkel erreichen 12–15°. Das Gesamtbild des Diagramms zeigt eine breite Streuung der Belegdichtefelder. Bei der Auswertung kam nur den Feldern mit höherer Belegdichte eine größere Bedeutung zu. Durch eine Richtungsrose der A-Achsen im Innern des Polnetzes wird die Verteilung der Belegdichte verdeutlicht.

In dem Sektor zwischen 290° und 340° bzw. 110° und 160° ist eine bevorzugte Geröllorientierung erkennbar. Eine Geröllausrichtung senkrecht dazu ist nur schwach ausgebildet.

Aus dem Diagramm allein sind noch keine eindeutigen Aussagen über die Transportrichtung des Schotters möglich. Die ermittelte Schüttungsrichtung der zwischen den beiden Schotterpaketen und der darunterliegenden, schräggeschichteten Glimmersande stimmt jedoch mit der Haupteinregelungsrichtung der A-Achsen verhältnismäßig gut überein (s. Karte 2). Deshalb kann mit größter Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die A-Achsen in Strömungsrichtung eingeregelt wurden und gegen diese geneigt sind (s. Abb. 17). Nach SUTTER (1962) kann daraus auf eine langsam abnehmende Transportkraft des schüttenden Mediums geschlossen werden.



7. BRUCHSCHILLANREICHERUNG

Die Grenze Mehlsande – Glimmersande ist durch eine Bruchschillanreicherung charakterisiert, die flächenhaft und horizontbeständig auftritt. Es ist dies der sog. Schillhorizont, einer der wichtigsten Leithorizonte in einem Teilbereich der Süßbrackwassermolasse Niederbayerns.

Das flächenhafte und horizontbeständige Auftreten des Schillhorizontes, seine einzigartige Ausbildung, sein Fossilinhalt, die Orientierung der Schalen im Sediment und die Lage des Schills im Gesamtschichtverband erlauben im Zusammenhang mit den sedimentgefügekundlichen Befunden zusätzliche Aussagen über die Durchlüftung, Durchströmung und die Sedimentationsrate des Absatzbeckens.

Verbreitung, Ausbildung, Fossilinhalt und Genese des Schillhorizontes wurden bereits eingehend beschrieben (WITTMANN 1957, MAYR 1957, GRIMM 1963 und SCHLICKUM 1964). Ich möchte aber trotzdem, aus dem oben angeführten Grund, die wichtigsten Ergebnisse, die während meiner Geländetätigkeit bestätigt und ergänzt werden konnten, nochmals zusammenfassen.

Der Schillhorizont ist über ein Areal von über 200 km² verbreitet. Seine aufgeschlossene Nord-Süd-Erstreckung beträgt etwa 23,0 km, seine Ost-West-Ausdehnung etwa 9,0 km. Die Mächtigkeit des Horizontes erreicht im Südteil stellenweise bis 50 cm; ihr Durchschnittswert liegt zwischen 10 und 30 cm. Nach Norden gegen die Rott nimmt die Mächtigkeit bis auf einige Zentimeter ab; nördlich davon treten nur noch schmale Linsen (3–5 cm mächtig), Nester und Schalenpflaster auf.

Der Schillhorizont ist mit scharfer, z.T. unregelmäßig-welliger, im allgemeinen aber horizontaler Grenze gegen die Mehlsande abgesetzt. In seinem unteren Teil finden sich fast ausschließlich weiße, zerbrochene, kleinzerriebene, splittrige Schalenreste, die wirr und dicht ineinander verkeilt und verfilzt sind (Taf. 12, Fig. 3). Der Bruchschill ist hier nur spärlich von grauem, glimmerführendem Sand durchsetzt. Oft fehlt das sandige Zwischenmittel ganz. Gelegentlich ist ein glimmerreicher Sand aber schon im untersten Bereich des Schillhorizontes lagig, 0,5 bis wenige cm mächtig, eingeschaltet. Häufig kommen, besonders im unteren Dezimeter, auch graue, gerundete, teilweise plattige Kalkkonkretionen (bis 7 cm Durchmesser), Schluffgerölle (Größe bis 5 × 3 × 1 cm) und Quarzgerölle (bis 1 cm Durchmesser) vor. Die Schluffgerölle sind wahrscheinlich durch subaquatische Aufarbeitung der unterlagernden Mehlsande entstanden. Zum Hangenden des Schillhorizontes hin werden sandige, 1–5 cm mächtige, horizontal- bis schwach schräggeschichtete Zwischenlagen bzw. keilförmige Einschaltungen häufiger. Wirr verschachtelte Schalenbruchstücke treten nur noch in dünnen Lagen oder Linsen auf. Eine allmähliche Abnahme der Zerkümmerung mit zunehmendem Sandgehalt wird deutlich. Ganze Klappen, z.T. auch gespreizte und geschlossene Doubletten sind im oberen Schillhorizont nicht mehr selten. Etwa 80% der Schalenhälften liegen in ihrer stabilen Lage, d. h. mit der Wölbung nach

oben, im Sediment (Einkippungsregel, RICHTER 1942). Der Rest ist mit der konvexen Seite nach unten eingebettet. Die Doubletten sind nicht selten $\pm$ senkrecht zur Schichtung orientiert. Ihre Wirbel können nach oben und unten weisen. Während die Schalenfragmente im unteren Teil des Schillhorizontes sehr stark abgenützt sind, sind an den Schalenhälften im hangenden Bereich die Ornamente (Radialrippen, konzentrische Rippen) noch gut erhalten. Die Doubletten sind größtenteils mit einem rostbraun gefärbten, glimmerreichen Sand gefüllt.

Im Schillhorizont wurden von SCHLICKUM (1964) folgende Arten nachgewiesen:

A. Arten, die sicher zum eigentlichen Lebensraum des Schillhorizontes gehörten:

Hydrobia frauenfeldi (M. HOERNES)

Euchilus dehmi SCHLICKUM

Congerina schuetti n. sp.

Limnopageta bavarica (AMMON)

Rzehakia gümbeli (GÜMBEL)

B. Arten, die vermutlich nicht dem Lebensbereich des Schillhorizontes angehörten:

Amnicola pseudoglobulus (ORBIGNY)

Melanopsis impressa impressa KRAUSS

Limnopageta schmieri n. sp.

Limnopageta modelli n. sp.

Limnopappia kuiperi sauerzopfii n. subsp.

Mikrofossilien – Foraminiferen (*Rotaliiden*, *Globigerinen*), Ostracoden und Diatomeen – sind selten. Daneben fanden sich Knochenreste von Walen (*Cetacea*) und von Seekühen (*Sirenia*); vereinzelt wurden auch Haifischzähne gefunden. Auf gelegentliche Einschwemmungen aus limnisch-terrestrischen Bereichen kann aus Funden von Plattenstücken einer Flußschildkröte (*Trionyx* sp.) geschlossen werden (GRIMM 1963). Nicht selten sind im Schillhorizont auch kohlige Häcksel enthalten.

Die Fauna des Schillhorizontes ist verhältnismäßig artenarm. Schalenbruchstücke und Klappen von brackischen Muscheln herrschen darin gegenüber den selten vorkommenden Schneckengehäusen vor.

WITTMANN (1957) und GRIMM (1963) sehen den Schillhorizont als die Basis der Glimmersande an. SCHLICKUM (1964) dagegen betrachtet den Schillhorizont, der sich faziell und biologisch von den Glimmersanden unterscheidet, als einen selbständigen Horizont.

An der Grenze Mehlsande–Glimmersande ist ein sprunghafter Wechsel von Staubsand zu Feinmittelsand (s. Abschnitt 9). Das Zwischenmittel des Schillhorizontes entspricht in der Körnung und im Schwermineralinhalt den unteren Glimmersanden (SCHIESSL 1962). Diese Gleichheit in der Kornverteilung und Kornpetrographie und der allmähliche Übergang des Schillhorizontes von dicht verfilzten, wirr ineinander verkeilten Schalenentrümmern im unteren Teil in einen oberen mit zunehmenden Sandeinschaltungen, besserer Schalen-erhaltung und mit einer Auflösung in einzelne, linsenförmige Schalenanreicherungen und Pflasterlagen sprechen jedoch für die Ansicht von WITTMANN (1957) und GRIMM (1963), daß der Schillhorizont tatsächlich die Basis der Glimmersande darstellt.

Will man diesen bis zu 50 cm mächtigen Schillhorizont deuten, so muß man eine beachtliche Wasserbewegung im Sedimentationsraum annehmen. Sie muß wesentlich höher sein als die, die zur Zeit der Ablagerung der Mehlsande herrschte. An der Grenze Mehlsande–Glimmersande tritt also eine einschneidende und sprunghafte Änderung in den Sedimentationsverhältnissen auf, deren Ursache vermutlich in einer Verflachung des Beckens liegt. Der Schillhorizont kann als Folge einer Zunahme der Strömung betrachtet werden, und er ist so durch abiotische Ereignisse entstanden (GRIMM 1963).

Nach SCHÄFER (1962, S. 513) kann ein solcher Biozönosezusammenbruch z. B. durch einen „plötzlichen Wechsel in der Korngröße oder (und) in der Sedimentzusammensetzung“ bedingt sein. Für vagile, skelett-tragende Endobionten (= Tiere, die im Sediment leben) sind jedoch im Flachseebereich Überdeckung durch rasche Sedimentation oder Ausspülung durch grundberührenden, in Stärke und Richtung wechselnden Seegang, die häufigsten Todesursachen (SCHÄFER 1962).

Das Schalenmaterial des unteren Bereiches des Schillhorizontes wurde wahrscheinlich größtenteils durch die erodierende Wirkung des grundberührenden Seegangs aus den obersten Mehlsanden freigespült (GRIMM 1963). Durch starke Strömungen wurden die Schalen transportiert, zermahlen und im Schillhorizont zu einer Totengesellschaft angereichert.

Der obere Abschnitt des Schillhorizontes führt vorwiegend ganze Klappen und häufig auch gespreizte und geschlossene Doubletten. Sie stellen, im Gegensatz zu den dicht verfilzten Bruchschillanreicherungen des unteren Teiles, die eigentliche Fauna der Glimmersande dar. Die gespreizten Doppelklappen lassen auf eine minimale Umlagerung schließen, die geschlossenen weisen darauf hin, daß die Tiere lebend begraben wurden.

SCHLICKUM (1964, S. 41) lehnt für die Bildung des unteren Abschnittes des Schillhorizontes eine Entstehung durch Aufarbeitung aus den Mehlsanden ab, denn sie kann „schon deswegen nicht die Ursache für die ungeheure Individuenzahl sein, weil die Form gewechselt hat“. SCHLICKUM vermutet im Schillhorizont gleichzeitig den Lebensraum der darin so zahlreich eingebetteten Stücke.

Stärkere Strömungen und Umlagerungen an der Grenze Mehlsande–Glimmersande sind übrigens auch durch schluffige Aufarbeitungsgerölle im unteren Teil des Schillhorizontes dokumentiert. Das Ausmaß der erosiven Vorgänge ist unbekannt. Es wäre denkbar, daß die im unteren Teil des Schillhorizontes gegenüber den Mehlsanden neu auftretenden Formen bereits in den subaquatisch abgetragenen oberen Mehlsandpartien enthalten waren. Unter dieser Voraussetzung erscheint eine Schalenausspülung aus den Mehlsanden trotz des Formenwechsels durchaus möglich.

Der Schillhorizont könnte nach REINECK (frdl. mdl. Mitt.) auch als Sohlenpflaster von größeren mäandrierenden Rinnen aufgefaßt werden. Sohlenpflaster wurden in der Nordsee in 8–18 m tiefem Wasser nachgewiesen. Mäandrierende Rinnen können sich seitlich sehr rasch verlagern, so daß sich ein Sohlenpflaster innerhalb kürzester Zeit über größere Flächen ausbreiten kann. GRIMM (1963) äußerte gegen diese Deutung insofern Bedenken, da sich im gesamten aufgeschlossenen Verbreitungsgebiet des Schillhorizontes nirgends Hinweise auf rinnenförmige Erosionsvorgänge ergaben und der Schillhorizont außerdem nur auf eine kleine Fläche innerhalb der Mehlsand-Glimmersand-Verbreitung beschränkt ist.

Als Bildungsmilieu des Schillhorizontes nimmt SCHLICKUM (1964) auf Grund der Faunenvergesellschaftung ein brachyhalines Gewässer (nach REMANE 1958 versteht man darunter einen Salzgehalt von 18–30‰) mit noch verhältnismäßig hohem Salzgehalt an.

8. FOSSILINHALT DER BEARBEITETEN FEINSEDIMENTE

Die in den Sedimenten eingebetteten Fossilien (Tier- und Pflanzenfossilien) liefern zusätzliche und wertvolle Anhaltspunkte über das Ablagerungsmilieu wie Salzgehalt, Wasserbewegung, Durchlüftungsgrad, Sedimentationsrate und Küstenferne.

Zur Deutung meiner gefügekundlichen Befunde war deshalb der Fossilinhalt, seine Ausbildung und seine Orientierung im Sediment bedeutsam.

Die Molluskenfauna der Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns wurde von SCHLICKUM (1964) untersucht. Die folgenden Ausführungen stützen sich auf seine Ergebnisse.

Die Fauna der Mehlsande beschränkt sich auf vier Arten:

Euchilus hoelzli n. sp.

Congeria sp.

Limnopageta bavarica

Rzehakia gümbeli (GÜMBEL)

Rzehakia gümbeli kommt, im Gegensatz zu den anderen drei Arten, im gesamten aufgeschlossenen Verbreitungsgebiet der Mehlsande verhältnismäßig häufig vor. Sie ist bezeichnend für polyhalines Wasser (Salzgehalt 18–30‰).

Die Schalen sind entweder ins Sediment eingestreut oder wurden in Nestern angereichert. Es kommen auch Doubletten vor, die z.T. in Todesstellung, mit nach unten geöffneten Klappen, eingebettet sind. Eingeschwemmte Landschnecken konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Fauna in den Glimmersanden ist, abgesehen von der bereits erwähnten Bruchschillanreicherung an ihrer Basis, recht spärlich. Die Fossilien liegen meist nur als Einzel-exemplare – Schalenhälften, seltener Doppelklappen – im Sediment. Vereinzelt kommen sie auch in schmalen Lagen oder Linsen, oft mit kleinen Quarz- und Mergelgeröllchen vergesellschaftet, vor. Die Schalen sind überwiegend in ihrer stabilen Lage in die Schichtflächen eingeregelt. Eine Abhängigkeit zwischen der Wirbelorientierung der Schalen und der Strömungsrichtung – Wirbel zeigen gegen die Fließrichtung – war nur in schräggeschichteten Bereichen vereinzelt festzustellen.

Der Fossilgehalt der Glimmersande besteht aus folgenden brackischen Arten:

Hydrobia frauenfeldi (M. HOERNES)

Euchilus dehmi SCHLICKUM

Melanopsis impressa impressa KRAUSS

Congeria rottensis (AMMON)

Limnopageta schmieri n. sp.

Limnopageta modelli n. sp.

Limnopappia kaiperi sauerzopfii n. subsp.

Rzehakia gümbeli (GÜMBEL)

Die artenreiche Fauna des Aussüßungshorizontes unterscheidet sich wesentlich von der brackischen Fauna der Glimmersande. Sie setzt sich zusammen:

1. Aus Arten, die im Süßwasser leben:

Theodoxus (Theodoxus) cyrtocelis (KRAUSS)
Stagnicola (Stagnicola) armaniacensis (NOULET)
Radix (Radix) socialis dilatata (NOULET)
Planorbarius cornu (BRONGNIART)
Gyraulus trochiformis dealbatus (A. BRAUN)
Ancylus wittmanni n. sp.
Margaritifera flabellata (GOLDFUSS)
Unio eseri KRAUSS
Unio lavateri GOLDFUSS
Anodonta splendens GOLDFUSS
Sphaerium sp.

2. Aus Arten, die im Brackwasser leben:

Clithon (Vittocliton) pictus pictus (FERUSSAC)
Hydrobia frauenfeldi (M. HOERNES)
Melanopsis impressa impressa KRAUSS
Congeria rottensis (AMMON)
Limnopappia kuiperi kuiperi SCHLICKUM

Die Muscheln und Schnecken liegen vorwiegend regellos in einem dichten, stark zermahlenen Fossilschill, der entweder in grauen bis schwarzgraubraunen, verfestigten Mittelsanden (ohne erkennbare Schichtung) oder in grauen bis braunen, sandigen Mergeln eingebettet ist.

In dem Fossilschill sind vereinzelt auch eingeschwemmte Landschnecken, eingedriftete Meeresmuscheln (*Bankia vel Terebra sp.*, SCHLICKUM 1964), Fisch- und Kleinsäugerzähne, Knochensplitter und Häkchen enthalten (MAYR 1957; GRIMM 1963). An der Basis von Schill-Lagen treten manchmal Pflaster von Einzelklappen und Doubletten auf.

Neben tierischen Fossilien fanden sich vor allem in den unteren und mittleren Glimmersanden, aber auch im Aussüßungshorizont Blatt- und Holzreste. Verkohlte und vermumte Holzreste wurden hauptsächlich im Südteil des Arbeitsgebietes angetroffen. Die Stücke waren aber fast immer so stark lignifiziert, daß die zur Bestimmung notwendigen Einzelstrukturen nicht mehr erkennbar waren. Nur in einem Fall konnte ein verkohltes Holz (Fundpunkt nordöstlich Irging, Nr. 3) als Nadelholz⁸ identifiziert werden. Bei diesem Stück waren die Leitbahnen teils mit Markasit vererzt, teils wurden darin Gipskristalle (vereinzelt als Schwalbenschwanzzwillinge) festgestellt. Die Hölzer sind in horizontal- und schräggeschichteten Glimmersanden enthalten. In den schräggeschichteten Partien waren die Längsachsen der Hölzer überwiegend parallel zur Einfallsrichtung der Schrägschichtung orientiert. Der Querschnitt der Hölzer ist rund bis linsenförmig. Die Enden sind abgerundet. Das größte Fundstück ist 130 cm lang, 28 cm breit und 6 cm dick.

Im Aufschluß N Weng (Nr. 26) wurden in einer Mergellage der unteren Glimmersande Blattabdrücke und andere Pflanzenreste gefunden. Es handelt sich dabei um zusammengeschwemmte, stark zerhackelte, ein- und zweikeimblättrige Angiospermen. Die Blattreste – Lorbeerblätter – untersuchte Herr Dr. JUNG vom Institut für Historische Geologie und Paläontologie der Universität München. Lorbeerblätter lassen auf ein feuchtwarmes Klima schließen.

⁸ Die Bestimmung führte freundlicherweise Herr Dr. A. SELMEIER durch.

9. SKALARE GEFÜGEEIGENSCHAFTEN DER UNTERSUCHTEN FEINSEDIMENTE

9.1 MINERALZUSAMMENSETZUNG UND KORNFORM

Die Feinsedimente des Arbeitsgebietes bestehen fast ausschließlich aus Quarzkörnern, Feldspäten und Glimmern. Der Hauptgemengteil wird mit etwa 60–75 % von Quarz gebildet. Der Feldspatgehalt liegt vorwiegend zwischen 10 und 15 %. Die Glimmerminerale sind im Schichtprofil sehr unterschiedlich an der Sedimentzusammensetzung beteiligt, ihr Anteil schwankt im allgemeinen zwischen 20 und 30 %.

Die prozentuale Beteiligung der einzelnen Mineralien hängt sehr stark von der Kornverteilung ab. Der Quarzgehalt wächst mit abnehmender Korngröße, während der Anteil an Glimmern und Feldspäten parallel dazu fast immer kleiner wird. Die Quarzkörner der Siebfraction $>0,5$ mm $\varnothing$ sind immer mehr oder weniger gut gerundet und weisen meist eine hohe Kugelgestalt („high sphericity“, POWERS 1953) auf. Im Kornbereich von 0,063 bis 0,25 mm $\varnothing$ sind sie durchwegs eckig und splitterig und nur gelegentlich schwach kantengerundet. Ihre Gestalt ist unregelmäßig („low sphericity“).

Die Schwermineraluntersuchungen im unteren Teil der Süßbrackwassermolasse (= Arbeitsgebiet) brachten nach SCHIESSL (1962) folgende Ergebnisse.

Die unteren Mehlsande sind durch eine Epidot-Hornblende-Granat-Vergesellschaftung gekennzeichnet. Im oberen Teil der Mehlsande herrscht eine Hornblende-Epidot-Granat-Assoziation vor. Der Epidotgehalt verschiebt sich im Vertikalprofil zugunsten des Hornblendenanteiles. Die Schwermineralverteilung im Schillhorizont weist nur unbedeutende, durch die Korngrößenzunahme bedingte Abweichungen zu den oberen Mehlsanden auf. Im Vertikalprofil der Glimmersande bleibt die rein alpine Hornblende-Granat-Epidot-Vormacht erhalten. Geringe Unterschiede zu den Mehlsanden ergeben sich nur durch die Korngrößenbedingte Zunahme der Granat-, z. T. auch Staurolith- und Apatitwerte. Auch im Aussüßungshorizont treten, mit Ausnahme der höheren Granat- und Rutilwerte, keine Unterschiede zu den Glimmersanden auf. Die Schwermineralverteilung im unteren Schichtprofil der Süßbrackwassermolasse ändert sich also kaum.

9.2 KORNGRÖSSENVERTEILUNG UND SORTIERUNG

Zur Bestimmung der Kornverteilung der untersuchten Sedimente wurden zahlreiche Proben analysiert. Dabei kamen aus der Schar aller einschlägigen Summenkurven jeweils nur die beiden Grenzkurven zur Darstellung, so daß sich dadurch ein guter Überblick über das Körnungsfeld eines jeden Schichtgliedes ergibt. Alle übrigen Summenlinien eines bestimmten Schichtgliedes oder Schichtungstyps liegen innerhalb dieses Streubereiches.

Als Korngrößenklassifikation diene die in der Geologie gebräuchliche Einteilung von v. ENGELHARDT (1948, veröff. in LEMCKE, v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953). Sie ist in der obersten Rubrik der Abbildungen 18–21 enthalten.

Der Sortierungsgrad wurde nach der Formel von TRASK (1932) errechnet.

$$S_o = \sqrt[2]{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

Die Quartilwerte (Q_1 , Q_3) sind den Summenkurven zu entnehmen. Q_1 und Q_3 geben die Korngröße an, unterhalb der 25% bzw. 75% eines Korngemisches liegen. Die Benennung der Sortierungsgrade erfolgte nach den von FÜCHTBAUER (1959) vorgeschlagenen Sortierungsintervallen.

$\sqrt[2]{Q_3/Q_1}$	Bezeichnung des Sortierungsgrades
bis 1,23	sehr gut
bis 1,41	gut
bis 1,74	mittelmäßig
bis 2,00	schlecht
> 2,00	sehr schlecht

Die Mehlsande sind im gesamten Vertikalprofil vorwiegend als Schluff- und Staubsande mit geringen Feinmittelsandgehalten ausgebildet. Ihr Sortierungsgrad schwankt zwischen 1,22–2,86. Die häufigsten Werte liegen im Bereich von 1,30–1,60. Die Sortierung ist im Durchschnitt gut bis mittelmäßig. Mehlsande mit hohem Schluffanteil sind beinahe ausnahmslos schlecht bis sehr schlecht sortiert.

An der Grenze Mehlsande–Glimmersande setzt eine sprunghafte Kornvergrößerung ein (Abb. 18). Die unteren Glimmersande sind staubsandführende Feinmittelsande (Körnungsbereich 0,06–0,125 mm Ø). Zum Hangenden hin tritt eine weitere Verschiebung zu größeren Korngrößen (Hauptfraktion 0,125–0,25 mm Ø) auf. Der untere Teil der Glimmersande weist eine sehr gute bis gute Sortierung ($S_o = 1,20$ – $1,40$) auf. Sie wird nach oben hin noch besser. So liegt der Grad der Sortierung in den oberen Glimmersanden zwischen 1,18–1,33.

Im Aussüßungshorizont ist gegenüber den oberen Glimmersanden eine schwache Korngrößenabnahme festzustellen. Die vorherrschende Kornfraktion tritt hier im Bereich zwischen 0,015–0,20 mm Ø auf. Der Aussüßungshorizont setzt sich aus Schluffen, Feinsanden und Feinmittelsanden (Abb. 19) zusammen. Die feinmittelsandigen Abschnitte des Aussüßungshorizontes sind gut bis mittelmäßig sortiert. Ihr Sortierungsintervall reicht von 1,33–1,61. Der Sortierungskoeffizient der schluffig-staubsandigen Ausbildungen bewegt sich dagegen innerhalb der Werte 1,69–2,31. Die Sortierung ist mittelmäßig bis sehr schlecht.

Aus den geringen Streubereichen der Summenkurven dürfen wir auf eine verhältnismäßig einheitliche Ausbildung der Sedimente schließen. Nur im Aussüßungshorizont deutet das breitere Körnungsfeld auf größere Abweichungen von der mittleren Korngröße hin.

9.3 KORNVERTEILUNG UND SCHICHTUNGSTYP

Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen Schichtungstypen treten bevorzugt innerhalb bestimmter Korngrößenintervalle auf, und der Streubereich der für jede einzelne Schichtungsart ermittelten Summenkurven ist durchwegs sehr schmal.

Die schichtinternen Verfäلتelungen kommen in den staubsandigen Feinmittelsanden der unteren Glimmersande vor (Abb. 20). Ihr Sortierungsgrad ist gut bis mittelmäßig und reicht von 1,27–1,56.

Das Körnungsfeld der Abschnitte mit ebener Feinschichtung liegt zwischen 0,06–0,20 mm $\varnothing$ (Abb. 21). Der Sortierungsgrad ist sehr gut bis gut (1,15–1,34).

Die kleindimensionale Schrägschichtung bzw. Rippelschichtung in den Mehlsanden, Glimmersanden und im Aussüßungshorizont ist an Staubsande und Feinmittelsande (0,02–0,125 mm $\varnothing$) geknüpft. Der Grad der Sortierung ist gut bis mittelmäßig und streut zwischen 1,30–1,45 (Abb. 21).

Die mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung (einschließlic der Kreuzschichtung), in die z. T. Feinkiesgerölle eingeschaltet sind, läßt deutlich eine Bindung an die Kornfraktion 0,1–0,3 mm $\varnothing$ erkennen (Abb. 21). Die Feinmittel- bis Grobmittelsande sind sehr gut bis gut sortiert. Der Sortierungsgrad beträgt 1,12–1,38.

Die Körnungskurven der verwühlten Bereiche fallen meist in den Streubereich der Summenkurven der einzelnen primären Schichtungstypen. Bevorzugt traten die Schichtverwühlungen jedoch in den gut bis mittelmäßig, z. T. auch schlecht sortierten ($S_o = 1,35$ bis 2,00) schluffigen Feinsanden auf (Abb. 20).

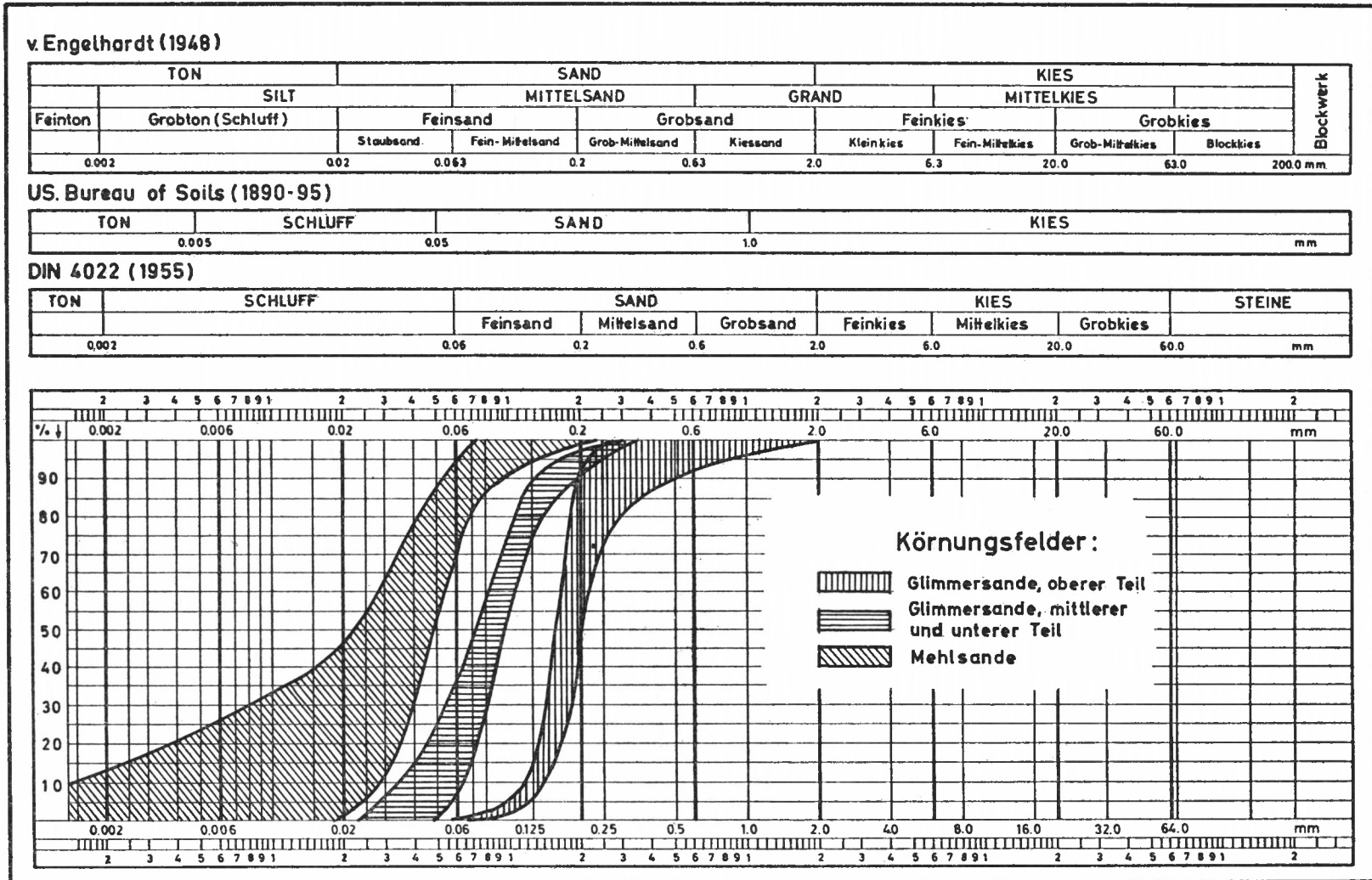


Abb. 18: Die Kornverteilung der Mehlsande und Glimmersande.

v. Engelhardt (1948)

TON		SAND					KIES					Blockwerk
SILT		MITTELSAND			GRAND		MITTELKIES					
Feinton	Grobton (Schluff)	Feinsand		Grobsand		Feinkies		Grobkies				
		Staubsand	Fein-Mittelsand	Grob-Mittelsand	Kiessand	Kleinkies	Fein-Mittelkies	Grob-Mittelkies	Blockkies			
0.002	0.02	0.063	0.2	0.63	2.0	6.3	20.0	63.0	200.0 mm			

US. Bureau of Soils (1890-95)

TON	SCHLUFF	SAND	KIES	mm
0.005	0.05	1.0		

DIN 4022 (1955)

TON	SCHLUFF	SAND			KIES			STEINE
		Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Feinkies	Mittelkies	Grobkies	
0.002	0.06	0.2	0.6	2.0	6.0	20.0	60.0	mm

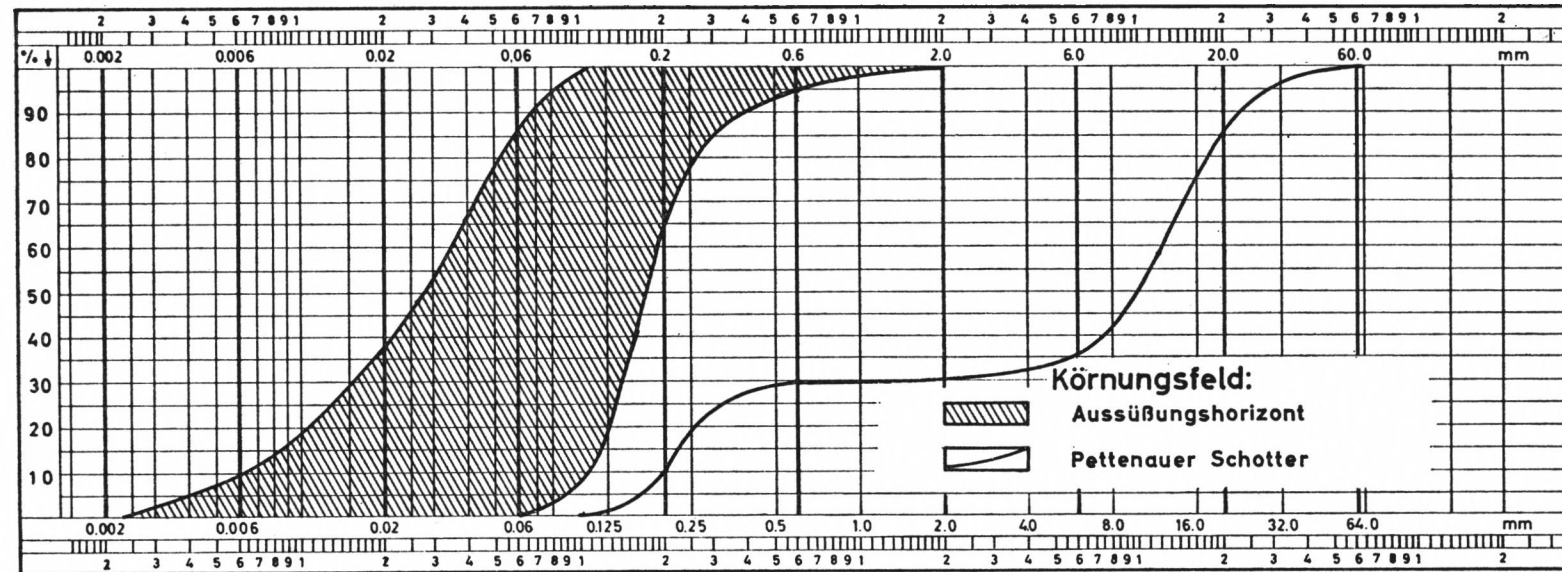


Abb. 19: Die Kornverteilung des Aussüßungshorizontes und des Pettenauer Schotters.

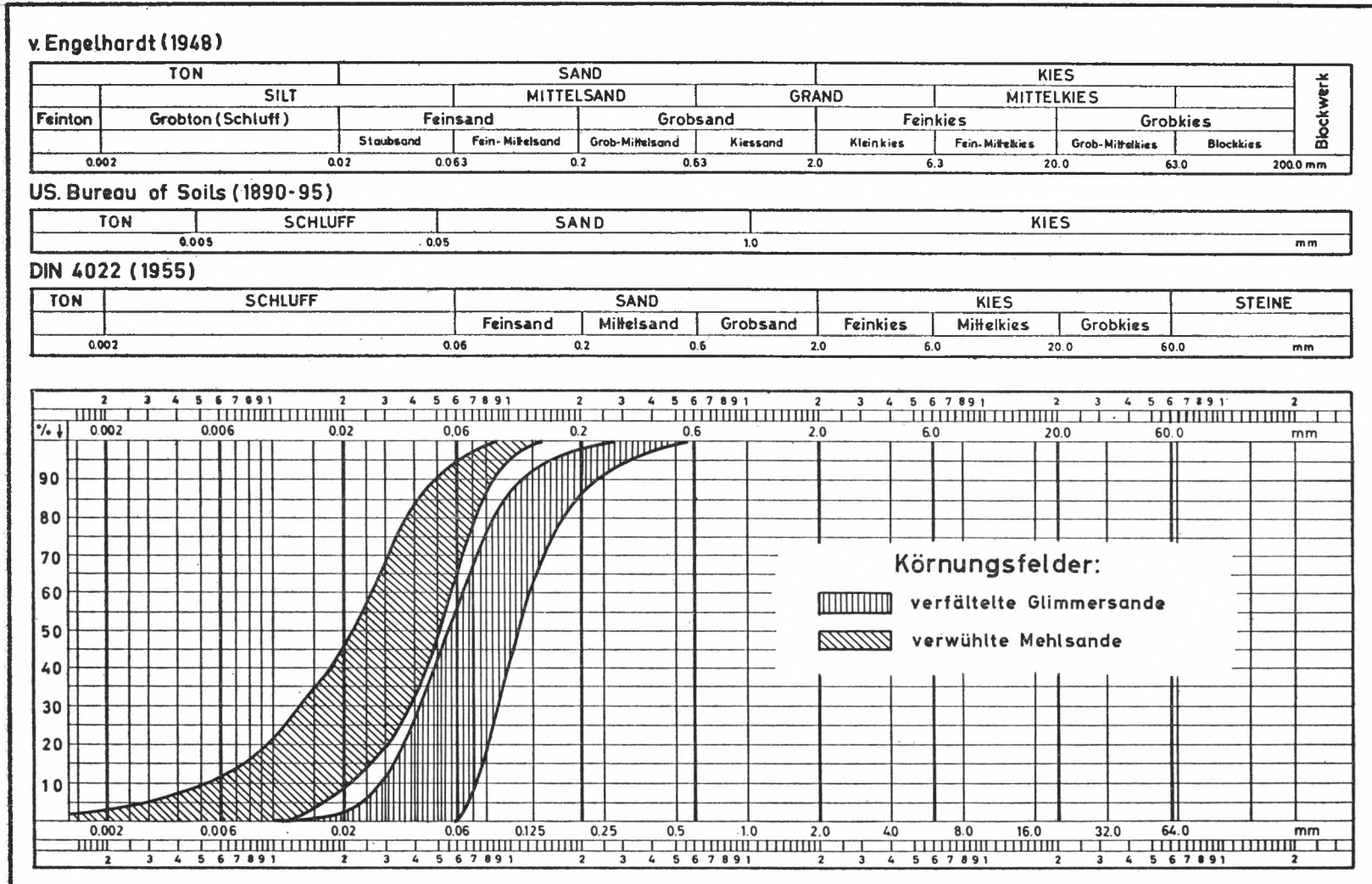


Abb. 20: Die Kornverteilung in den verfälteten und in den verwühlten Abschnitten.

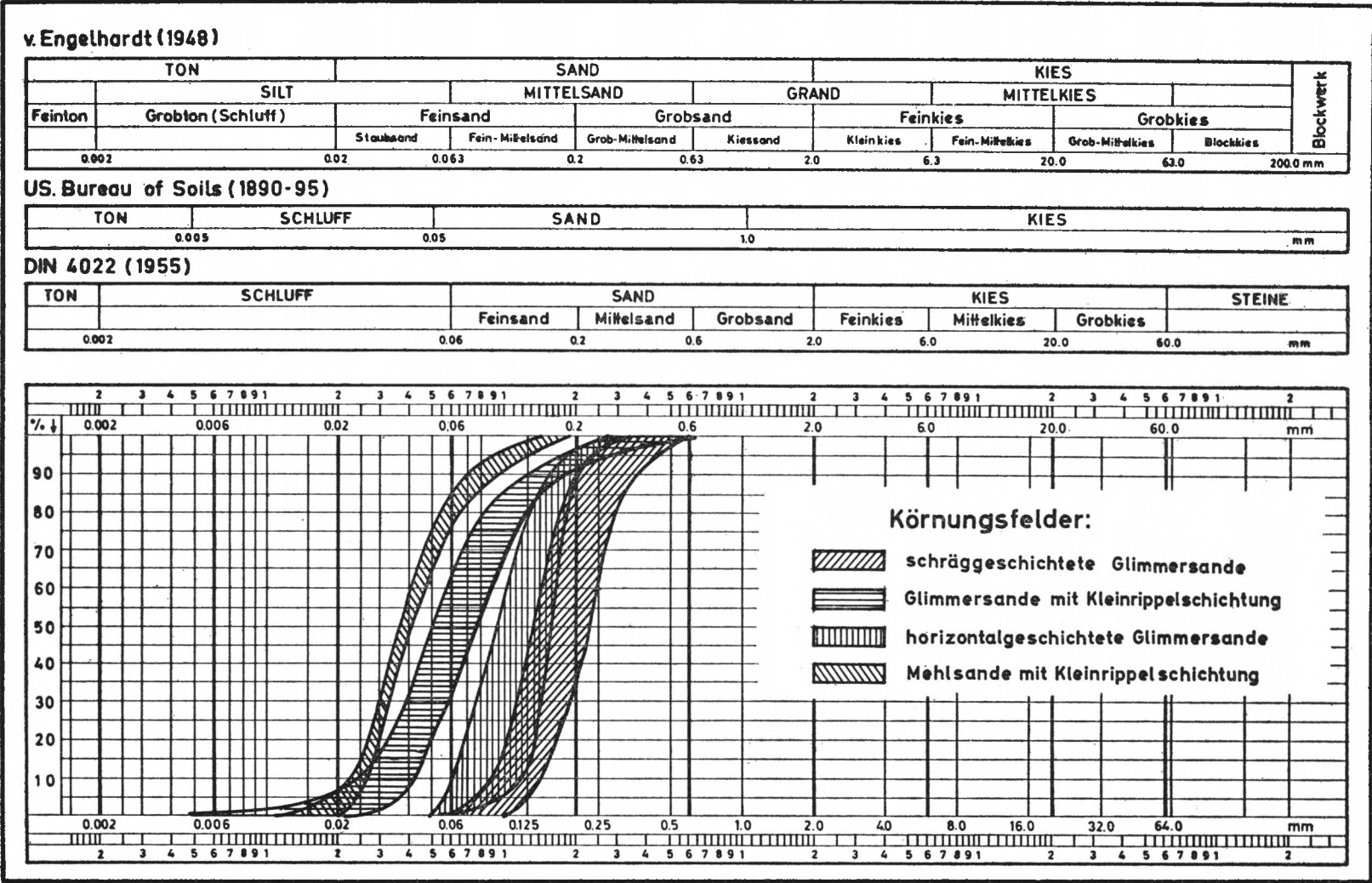


Abb. 21: Die Kornverteilung der einzelnen Schichtungstypen.

9.4 SORTIERUNG IN ABHÄNGIGKEIT VOM MEDIANWERT

Der mittlere Korndurchmesser (= Medianwert) einer Probe entspricht dem Korndurchmesser im Schnittpunkt der Summenkurve mit der 50%-Linie.

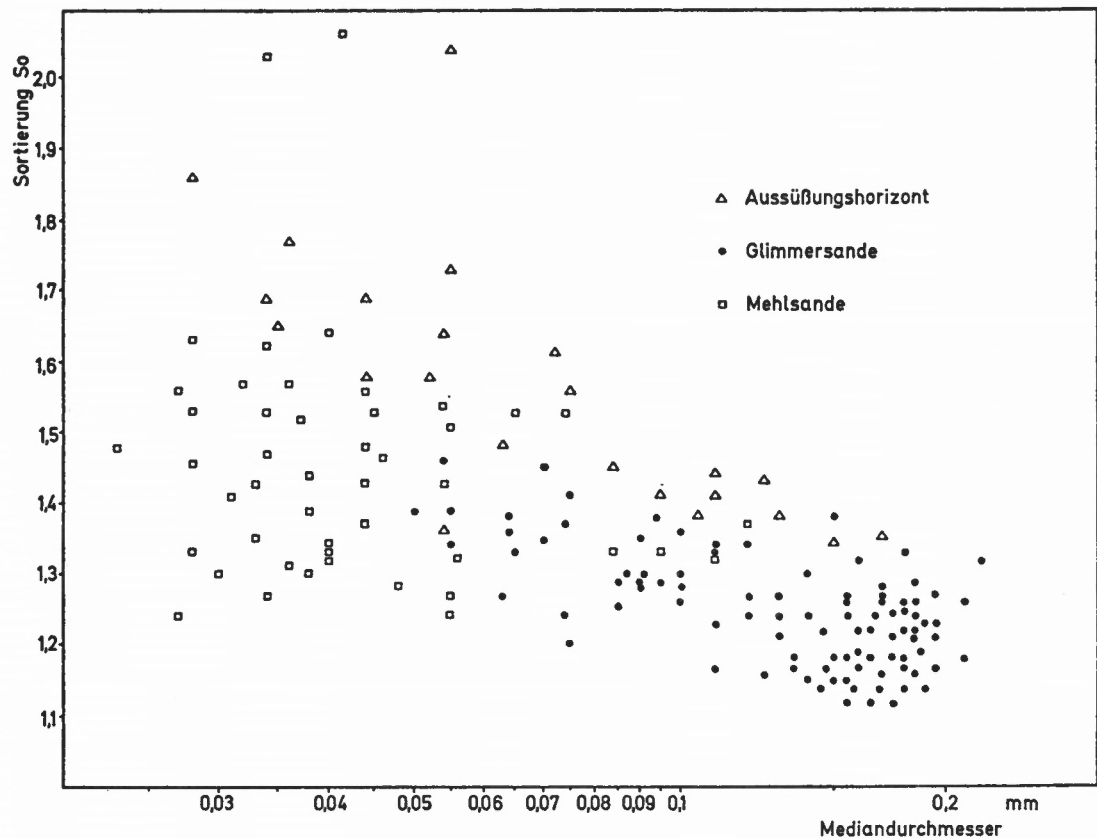


Abb. 22: Die Beziehung zwischen Medianwert und Sortierungsgrad (= So). Das Sortierungsoptimum (1,1–1,3) der untersuchten Sedimente liegt zwischen den Medianwerten 0,15 und 0,20 mm.

Wie schon INMAN (1949) feststellte, steht der Sortierungsgrad mit dem mittleren Korndurchmesser in einem funktionellen Zusammenhang. Letzterer war auch in den bearbeiteten Lockersedimenten festzustellen. Das Sortierungsoptimum (Sortierungsgrad 1,1–1,3) befindet sich zwischen den Medianwerten 0,15–0,2 mm (Abb. 22). Diese Werte stimmen mit den in der Literatur erwähnten überein (INMAN 1949; WALGER 1961; FÜCHTBAUER & REINECK 1963). Mit abnehmendem Mediandurchmesser wird die Sortierung schlechter.

10. FOLGERUNGEN

Das Sedimentgefüge wird bestimmt durch die während der Ablagerung waltenden anorganischen und organischen Kräfte.

In einzelnen Detailbereichen sind die während der Bildung rezenter Meeressedimente vorherrschenden Milieubedingungen – Strömungsverhältnisse, Sedimentationsgeschwindigkeit, Wassertiefe, Umlagerungserscheinungen, Besiedlungsdichte – und die daraus resultierenden Gefügetypen bereits gut erforscht. Durch eine genaue Erfassung der im Untersuchungsgebiet vorliegenden fossilen Gefügeelemente ist es daher möglich, über die Aktuogeologie auf Grund von Analogieschlüssen die in dem damaligen Sedimentationsbecken stattfindenden Ereignisse in einer ersten Annäherung zu rekonstruieren.

In einem Sediment wird jeder Vorgang nur mit seinem „letzten Bild“ fossil (RICHTER 1936). Alle früheren Geschehnisse bleiben in der Regel unbekannt. Man kann jedoch annehmen, daß das im Sediment „eingesargte“ (RICHTER 1936, S. 235) letzte Bild charakteristisch ist für die häufigsten sich im Ablagerungsraum wiederholenden Ereignisse.

10.1 DAS ABLAGERUNGSMILIEU

10.11 Sedimentationsbecken

Durch eine Heraushebung im höheren Helvet wurde ein Teil des Beckens vom Binnenmeer der Paratethys abgetrennt und zum brackischen Becken umgestaltet (GRIMM 1964).

Der petrofazielle Charakter eines jeden Schichtgliedes bleibt in der Regel im Horizontal- und Vertikalprofil gleich. Nur den Mehlsanden entsprechen nach WOLF (1956) im Nordteil des Untersuchungsgebietes kompakte brackische Mergel als Äquivalente.

Auch die Molluskenfauna innerhalb der einzelnen Abschnitte bleibt in allen untersuchten Sedimenteinheiten in der Lateralen und in der Vertikalen gleich. Aus diesen beiden Tatsachen kann auf ein zusammenhängendes, einförmiges und wenig gegliedertes, brackisches Sedimentationsbecken geschlossen werden. Die Ausdehnung dieses Beckens ist nicht genau bekannt, da nur ein Teil davon Übertage ausstreicht. Auf Grund eines Vergleiches der Molluskenfauna vermutet PAPP (zitiert bei GRIMM 1964, S. 166), daß die brackischen Schichten von Niederbayern und Oberösterreich kurzfristig in einem zusammenhängenden Becken abgelagert wurden.

Im untersuchten Gesamtschichtprofil zeichnet sich vom Liegenden zum Hangenden ein Aussüßungsvorgang ab: wahrscheinlich übertraf der Sedimentzuwachs fortwährend den Absenkungsbetrag des Beckens.

Die Bildung des Aussüßungshorizontes erfolgte bereits in einem sehr flachen Becken. Die braungefärbten, schlierigen Lagen in den Mergeln des Aussüßungshorizontes sind wohl durch Huminsäuren bedingt, die als erste Anzeichen einer beginnenden Verlandung auftreten.

Während der Sedimentation der unteren und mittleren Mehlsande betrug die Wassertiefe im Absatzbecken etwa 30 m. Die Sedimente des bearbeiteten Schichtprofils haben aber eine mittlere Gesamtmächtigkeit von ca. 55,0 m. Die größten Sedimentmächtigkeiten mit ca. 75,0 m werden im Südtail des Arbeitsgebietes (Inngebiet) erreicht. In diesem Bereich liegt also wahrscheinlich das Beckentiefste. Für den Zeitabschnitt von der Ablagerung der Mehlsande bis zu der des Aussüßungshorizontes müssen wir also einen mittleren Absenkungsbetrag des Sedimentationsbeckens von ca. 25,0 bis max. 45,0 m annehmen.

Die Sedimente des bearbeiteten Beckenbereiches sind subaquatisch gebildet. Anhaltspunkte für ein gelegentliches Trockenfallen des Sedimentationsgebietes (Wattbereich) sind nicht vorhanden, wie auch Hinweise auf Gezeitenströmungen fehlen.

10.12 Wassertiefe und Strömungsverhältnisse

Die Molluskenfauna und Gefügebauausbildung geben brauchbare Hinweise auf die Wassertiefe und die Strömungsverhältnisse im Sedimentationsbecken der Mehlsande.

Aus der Artenarmut und aus den vorhandenen Kümmerformen der Mollusken kann auf ein wenig durchlüftetes, brachyhalines Gewässer (Salzgehalt beträgt 18–30‰ nach REMANE 1958) geschlossen werden (SCHLICKUM 1964).

Die intensive Schichtverwühlung in den Mehlsanden war nur in einem verhältnismäßig ruhigen Wasser fossil erhaltungsfähig. Ein von Zeit zu Zeit wirksamer, grundberührender Seegang, der zu einer Sediment-Neuschichtung (ebene Feinschichtung und kleindimensionale Schrägschichtung) führte, ist aus den zwischen die stark verwühlten Bereiche eingeschalteten, durchschnittlich 0,3–5,0 cm mächtigen, geschichteten, nur schwach verwühlten Lagen abzuleiten (Taf. 9, Taf. 11). Während der Sedimentation der Mehlsande spielten also die der Verwühlung entgegenwirkenden Kräfte, wie Seegang und Strömungen, nur eine untergeordnete Rolle.

Bei aktuogeologischen Untersuchungen in der südlichen Nordsee wurde festgestellt, daß der Seegang gelegentlich bis 40 m Tiefe hinabreichen kann (REINECK 1963). Meist beginnt seine Wirksamkeit aber von der 20-m-Tiefenlinie an aufwärts. Darunter sind Wühlgefüge vorherrschend. Diese aktuogeologischen Befunde rechtfertigen also die Annahme, daß die meist stark verwühlten Mehlsande in einem verhältnismäßig küstenfernen, ruhigen, flachseeartigen, 20–40 m tiefen Becken zum Absatz kamen. Im oberen Teil der Mehlsande, sehr vereinzelt auch im mittleren, sind geschichtete Bereiche (klein- bis mittel-dimensionale Schrägschichtung bzw. Rippelschichtung) häufiger. Der Grad der Verwühlung wird schwächer, der Einfluß von Seegang und Strömung auf das Sediment wird deutlicher. Die Wassertiefe während der Sedimentation der obersten Mehlsande war mit großer Wahrscheinlichkeit bereits geringer als 20 m.

Am Ende der Mehlsandablagerung ist, geologisch gesehen, eine kurze Sedimentationspause zu vermuten. Sie ist durch den abrupten Korngrößenwechsel (Abb. 18) an der Grenze Mehlsande – Glimmersande dokumentiert. Die bis zu 50 cm mächtige Bruchschillanreicherung an der Basis der Glimmersande läßt auf hohe Energiefaktoren – Seegang, Strömungen – wie sie nur im Flachwasserbereich (Wassertiefe etwa um 10 m) zu vermuten sind, schließen. Im unteren Teil der Glimmersande sind die Schichtverwühlungen, von einzel-

nen Ausnahmen abgesehen, meist nur noch auf schmale, sandig-mergelige Lagen beschränkt. Die Schichtung setzt sich aber gegenüber der Verwühlung immer mehr durch. Die Verflachung des Sedimentationsbeckens, die sich bereits am Ende der Mehlsandablagerung abzeichnete, schreitet mit zunehmendem Sedimentaufwuchs fort.

Die schichtinternen Verfaltungen in den unteren Glimmersanden sind nicht auf ein bestimmtes Ablagerungsmilieu begrenzt. In frisch abgelagerten Flachwassersedimenten können als Ursache der Faltungen Strömungen und/oder Drucke angesehen werden (DZULYNSKI & SMITH 1963).

Die Rippelmarken, die in Einzellagen hauptsächlich im unteren und mittleren Teil der Glimmersande auftreten, sind im allgemeinen keine Wassertiefenanzeiger. Rezente Rippelmarken wurden noch in Meerestiefen >1300 m festgestellt (MENARD 1952). Eine Ausnahme bilden die Interferenzrippeln, die rezent bisher nur immer im Seichtwasserbereich bis maximal etwa 1,5 m Wassertiefe beobachtet wurden (frdl. mdl. Mitt. von Herrn Dr. REINECK). Die in die unteren und mittleren, vereinzelt auch noch in die oberen Glimmersande eingeschalteten Interferenzrippeln lassen somit auf sehr geringe Wassertiefen während der Glimmersandsedimentation schließen. Die asymmetrische Oszillationsrippelschichtung weist auf grundberührenden Seegang (Wirkungsbereich etwa 0–20 m Wassertiefe) mit zeitungleichen Schwingungen hin. Die einfachen Strömungs-Kleinrippeln, die Interferenzrippeln und die Oszillationsrippeln waren nur deshalb fossil erhaltungsfähig, da sie sogleich nach ihrer Bildung mit einem aus einer Suspension ausfallenden Feinsediment bedeckt wurden. Vorhandene Bodenströmungen hätten zur Zerstörung der Rippeln geführt.

In einzelnen Aufschlüssen beginnt schon über der Bruchschillanreicherung die mitteldimensionale Schrägschichtung der Glimmersande; in ihr sind immer noch Verwühlungshorizonte und Lagen mit kleindimensionaler Schrägschichtung eingeschaltet. Während der Ablagerung der unteren und mittleren Glimmersande variieren also die Strömungsverhältnisse noch recht stark. Dies kommt auch in dem häufigen Wechsel zwischen kleindimensionaler Schrägschichtung und Tonmergellagen zum Ausdruck, der besonders im Südteil des Arbeitsgebietes auffiel. Erst im oberen Teil der Glimmersande wird die mitteldimensionale Schrägschichtung neben der großdimensionalen Schrägschichtung zum vorherrschenden Gefügeelement. Mit Ausnahme von einzelnen, vertikal verlaufenden Wühlbahnen fehlen in diesem Bereich Wühlgefüge. Im Schichtprofil der Glimmersande ist also eine Zunahme in der Strömungsenergie vom Liegenden zum Hangenden erkennbar. Diese Änderung der Hydrodynamik im Sedimentationsbecken wird auch durch die größeren Medianwerte und die besseren Sortierungsgrade in den oberen Glimmersanden deutlich. Der Medianwert ist „eine Funktion der durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit und der Sortierungsgrad . . . eine Funktion der statistischen Streuung der infolge der Turbulenz ständig schwankenden Strömungsgeschwindigkeit“ (WALGER 1961, S. 503).

Die mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung setzt sich ganz allgemein aus gekappten Großrippeln zusammen (NIEHOFF 1958). Experimentelle Untersuchungen in Strömungsrinnen ergaben, daß Großrippeln bei Strömungsgeschwindigkeiten von etwa 70–80 cm/sec entstehen, während sich Kleinrippeln bei Geschwindigkeiten zwischen 35 und 70 cm/sec bilden.⁹ Die Höhe der kritischen Bildungsgrenze (Großrippeln: 70–80 cm/sec; Kleinrippeln: 35–70 cm/sec) hängt wesentlich vom Mediandurchmesser des Korngemisches ab (s. Tab. 4).

⁹ Nach GILBERT (1914) liegt die kritische Geschwindigkeit für die Bildung von Strömungs-Kleinrippeln bei 20 cm/sec (1. kritischer Punkt). Ab 80 cm/sec bilden sich die Großrippeln (2. kritischer Punkt).

Tab. 4: Abhängigkeit der kritischen Bildungsgrenze von Großrippeln vom Medianwert (nach REINECK 1963)

Medianwert mm	untere kritische Grenze (Strömungsgeschwindigkeit) für die Bildung von Großrippeln in cm/sec
0,28	70– 80
0,19	90
0,085	90–105

Mit abnehmendem Mediandurchmesser bilden sich Großrippeln erst bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten.

Auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse besteht die Möglichkeit, die im Ablagerungsmilieu vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten, die zur Entstehung der Schrägschichtung führten, abzuschätzen. So kann für die Bildung der kleindimensionalen Schrägschichtung bzw. der Strömungs-Kleinrippeln eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit zwischen 20–40 cm/sec angenommen werden. Die mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung, an Sedimente mit Mediandurchmesser zwischen 0,15 und 0,23 mm geknüpft, ist mit großer Wahrscheinlichkeit bei Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 80 und 100 cm/sec entstanden.

Diese hohen Strömungsenergien werden auch durch die in den oberen Glimmersanden so häufigen Gerölleinstreuungen, die im Pettenauer Schotter ihr Maximum erreichen, bewiesen.

Der Pettenauer Schotter wird von MAYR (1957, S. 329) „als eine von einer nahegelegenen Küste in das flache Becken vorgeschobene Schotterzunge“ gedeutet. Die im Schotter eingestreuten, zerdrückten Schalen von *Heliciden* und *Unioniden*, die einen längeren Transportweg sicher nicht überstanden hätten, sprechen ebenfalls für eine Landnähe.

Der Salzgehalt des Wassers, der während der Mehlsandablagerung noch verhältnismäßig hoch war, wird mit zunehmender Verflachung des Beckens geringer. Die ersten Anzeichen einer Salinitätsänderung ergaben sich bereits nach der Ablagerung des Schillhorizontes durch den Artenwechsel von *Congerina schuetti* in *Congerina rottensis* (SCHLICKUM 1964). Durch die zunehmende Beckenverflachung und durch den immer stärker werdenden Zustrom von Süßwasser nimmt im untersuchten Schichtprofil die Salinität von unten nach oben ab. Die Ergebnisse der Schrägschichtungsmessungen und die der Gefügeanalyse des Pettenauer Schotters weisen auf einen von Osten bzw. Südosten nach Westen bis Norden gerichteten Sedimenttransport hin. Die vertikale Entwicklung des Schichtgefüges und der schwach fächerförmige Verlauf der Schüttungsrichtungen lassen zumindest für die Ablagerung der oberen Glimmersande auf einen deltaförmigen Sedimentationsraum (s. Karte 2, Kapitel 4.2) mit geringer Wassertiefe schließen. Zudem weisen die niedrigen Fallwinkel der Vorschüttungsblätter der Schrägschichtung mit dem Maximum zwischen 3° und 15° auf küstennahe Bildungen hin (McKEE 1957). Es ist sicher falsch, wenn in vielen Lehrbüchern das typische Deltaprofil mit sehr steilen Vorschüttungsblättern gezeichnet wird. Lotungen an rezenten Deltaablagerungen zeigen nämlich, daß die Vorschüttungsblätter fast ausschließlich nur sehr flach geneigt sind (SHEPARD 1964).

Nach der Sedimentation der oberen Glimmersande erlahmt die Strömungsenergie fast völlig. Das Schichtgefüge des nun folgenden Aussüßungshorizontes deutet auf eine geringe Strömungsenergie hin. Mit Ausnahme von schwachen Strömungen (20–40 cm/sec), die zur Bildung der kleindimensionalen Schrägschichtung führen, und geringem Wellengang, der eine ebene Feinschichtung verursacht, liegen ruhige Milieubedingungen vor. Die

Verwühlung, die in den oberen Glimmersanden fehlte, kann nun in einzelnen Bereichen wieder bis zur Entschichtung zunehmen.

Die Wassertiefe während der Ablagerung des Aussüßungshorizontes war gewiß nur noch gering, schätzungsweise geringer als 3,0 m. Die Höhe des Salzgehaltes betrug nach SCHLICKUM (1964) etwa 3‰.

10.13 Umlagerungen und Sedimentationsrate

Wassertiefe, Durchströmung des Beckens, Umlagerungserscheinungen sowie Verwühlungsintensität und Sedimentationsrate sind eng miteinander verknüpft. Bei der Behandlung dieser Zusammenhänge sind deshalb Wiederholungen mit dem vorhergehenden Abschnitt nicht immer zu vermeiden.

Die überwiegend stark verwühlten bis entschichteten Mehlsande weisen auf ein ruhiges Ablagerungsmilieu (Stillwasser) hin: Seegang (Stürme) und Strömungen, die über eine Umlagerung des Sedimentes zu einer Neuschichtung führen könnten, sind selten. Die Sedimentationsrate (= Sedimentzuwachs/Zeit; auch Sedimentationsgeschwindigkeit) war gering. Die auf und dicht unter dem Meeresboden lebenden Organismen hatten somit genügend Zeit, das frisch abgelagerte Material systematisch von unten nach oben zu durchwühlen.

Im mittleren Teil der Mehlsande sind zwischen die stark verwühlten bzw. völlig entschichteten Bereiche oft schmale, meist nur schwach verwühlte Lagen eingeschaltet. Sie zeigen kleindimensionale Schrägschichtung bzw. ebene Feinschichtung bei durchschnittlichen Mächtigkeiten um 5 cm. Diese geschichteten Lagen in verwühlten Bereichen deuten sehr wahrscheinlich auf durch Seegang verursachte Sedimentaufwirbelungen (Umlagerungen) hin, die in manchen Gebieten zu kurzfristig stärkeren Sedimentablagerungen führten. In den geschichteten Lagen sind häufig mehrere (bis 6) übereinanderfolgende Diskordanzen festzustellen (Taf. 11, Fig. 2), die auf eine Wiederholung von turbulenten Vorgängen innerhalb kurzer Zeit schließen lassen. Die schmalen, geschichteten Bereiche waren zwar ebenfalls von Organismen bewohnt, doch arbeitete die während ihrer Wühltätigkeit wirksame, schichterneuende Wasserunruhe der Verwühlung ständig entgegen. In dieser wechselnden Folge von stärker verwühlten bis entschichteten und überwiegend geschichteten Partien spiegeln sich vermutlich größtenteils die während der Sedimentation herrschenden Luftströmungen wider.

Im mittleren und oberen Teil der Mehlsande treten mancherorts, besonders im Südteil des Arbeitsgebietes bis in die Gegend von Kößlarn, Anzeichen einer zunehmenden Beckenunruhe auf, die mit fortschreitender Verflachung immer auffallender wird. Die z. T. deutlich erkennbare Abnahme der Verwühlungsintensität hängt wahrscheinlich mit den durch die stärkeren Strömungsverhältnisse bedingten Umlagerungen und mit der wachsenden Sedimentationsgeschwindigkeit zusammen. Die höhere Sedimentationsrate kommt auch im oberen Teil der Mehlsande und im unteren Teil der Glimmersande deutlich zum Ausdruck. Jetzt erscheinen häufig die vertikal- bis schrägverlaufenden Lokomotionsbahnen (Fluchtbahnen!) von Muscheln in überwiegend geschichteten Bereichen (Taf. 7, Fig. 4; Taf. 9, Fig. 2; Taf. 10, Fig. 1). Trotzdem spiegelt sich im Sedimentgefüge der oberen Mehlsande, selbst in den Gebieten mit stärker hervortretendem Schichtungscharakter, immer noch ein periodischer Wechsel von Zeiten der Wasserruhe (Wühlgefüge) und der Wasserbewegung (Rippelschichtung, mitteldimensionale Schrägschichtung, ebene Feinschichtung) bzw. von Abschnitten mit kleinerer und größerer Sedimentationsgeschwindigkeit wider.

Durch die Bruchschillanreicherung an der Basis der Glimmersande und durch den markanten Korngrößensprung (Abb. 18) an der Grenze Mehlsande – Glimmersande werden einschneidende Änderungen in den Milieubedingungen dokumentiert. Am Ende der Mehlsandsedimentation waren Erosions- und Umlagerungserscheinungen vorherrschend. Sie führten zu einer Aufarbeitung der obersten Mehlsande. Der Schillhorizont, in dem aufgearbeitete Mehlsande als Schluffgerölle enthalten sind, kann als Ausspülungsprodukt der Mehlsande betrachtet werden.

„Wo Taphozöosen Leichen oder Leichenteile benthonisch lebender Tiere enthalten oder allein aus ihnen zusammengesetzt sind, herrscht immer auch Schichtenverlust, denn nur die Zerstörung von Schichten durch Wasserbewegung fördert die Leichenteile der endobiontisch lebenden Tiere aus dem Sediment und führt sie zu Grabgemeinschaften zusammen“ (SCHÄFER 1962, S. 533).

Die mit dem Ende der Mehlsandsedimentation stärker werdende Wasserunruhe hält während der Ablagerung der Glimmersande an. Im unteren, seltener auch im mittleren Teil der Glimmersande sind unterschiedlich starke Schichtverwühlungen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nur noch in geringmächtigen Lagen erhalten, die an ihrer Oberseite verschiedentlich scharf durch eine ebene Feinschichtung abgeschnitten sind (Taf. 12, Fig. 1). Die verwühlten Partien im unteren und mittleren Teil der Glimmersande weisen noch auf ruhigere Sedimentationsverhältnisse – geringe Sedimentationsrate, geringe Wasserbewegung – hin. Im oberen Teil der Glimmersande, in dem die mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung überwiegt, erreichte die Sedimentationsgeschwindigkeit ihre höchsten Werte.

Gegenüber den Mehlsanden ist die Verwühlung in den Glimmersanden nur noch unbedeutend. Der unterschiedliche Verwühlungsgrad zwischen den beiden Sedimenttypen läßt jedoch keinen Schluß auf die Besiedlungsdichte zu, wohl aber auf die Stärke der Umlage-

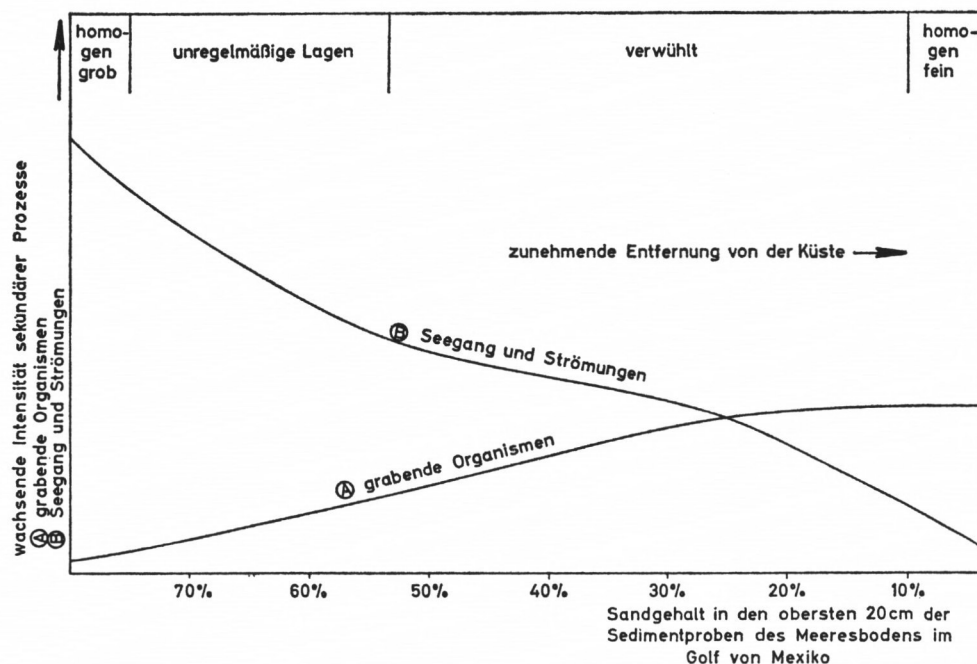


Abb. 23: Beziehungen zwischen dem Interngefüge, dem Sandgehalt und der Intensität von sekundären Prozessen bei verhältnismäßig gleichbleibender Sedimentationsrate im Golf von Mexiko (nach MOORE & SCRUTON 1957).

rungen. Die Wühltätigkeit der Organismen war während der Ablagerung der Glimmersande sicher ähnlich hoch wie zur Zeit der Mehlsandsedimentation, nur wurden die bioturbaten Texturen während der Glimmersandsedimentation größtenteils durch die ständige Wasserunruhe zerstört. Im unruhigen Flachwasserbereich erhält sich somit die Schichtung auch bei reichem Grundleben (RICHTER 1936).

Bei Untersuchungen im Golf von Mexiko konnten MOORE & SCRUTON (1957) eine Beziehung zwischen dem Sandgehalt in den obersten 20 cm der Sedimentproben des Meeresbodens und den Sekundärprozessen feststellen (Abb. 23). Die Organismen-tätigkeit nimmt meerwärts – außerhalb der Brandungszone – und mit abnehmendem Sandgehalt zu, während Seegang und Strömungen kleiner werden. Sedimente mit hohem Sandgehalt und geringer Verwühlung wurden in Bereichen mit starkem Seegang und starken Strömungen – in der Brandungszone – angetroffen. MOORE & SCRUTON wiesen außerdem nach, daß die Sedimente in Bereichen mit hoher Sedimentationsrate immer nur schwach oder überhaupt nicht verwühlt sind.

An Hand dieser aktuogeologischen Ergebnisse kann angenommen werden, daß die Mehlsande in einem ruhigen, küstenfern gelegenen Milieu mit geringer Sedimentationsrate zum Absatz kamen. Die schwach- bzw. unverwühlten Glimmersande dagegen sprechen für ein küstennahes Sedimentationsgebiet mit starken Umlagerungen und mit z. T. hoher Sedimentationsrate. Die Sedimentation des Aussüßungshorizontes erfolgte wieder unter ruhigen Milieubedingungen. Die Sedimentationsrate war gering, jedoch höher als während der Ablagerung der Mehlsande.

11. ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Gefügeuntersuchungen wurden in situ und an gehärteten und angeschliffenen Sedimentproben durchgeführt. Lange Vorarbeiten brachten das Ergebnis, daß ein 3-Komponenten-Harz (Kunstharz Araldit, Härter und Beschleuniger) sich zur Härtung von Feinsedimenten der Süßbrackwassermolasse am besten eignet.
2. Von einigen Dickschliffen wurden zur zusätzlichen Gefügeidentifizierung Röntgenaufnahmen angefertigt.
3. In den mittel- bis obermiozänen Sedimenten des unteren Teiles der Süßbrackwassermolasse Ostniederbayerns sind folgende Gefügetypen dokumentiert:
Das anorganogene Sedimentgefüge (Primärgefüge)
 - a) Bogige Schrägschichtung
 - b) Kreuzschichtung
 - c) Asymmetrische Strömungs-Kleinrippeln, die durch vertikale und seitliche Anlage-
rung entstanden sind
 - d) Oszillationsrippeln
 - e) Interferenzrippeln
 - f) Ebene Feinschichtung (Parallelschichtung)
 - g) Schichtinterne Verfaltungen mit extremer Regellosigkeit der Faltenachsen und ohne
Abscherungen (atektonische Schichtverformungen)
 - h) Subaquatische RutschungenDas organogene Sedimentgefüge (Sekundärgefüge)
 - a) Wühlgefüge, das wahrscheinlich größtenteils ein Deformationswühlgefüge (= Ver-
formungswühlgefüge) repräsentiert und nur in seltenen Fällen ein Gestaltunswühl-
gefüge darstellt.
4. Von den anorganogenen Gefügearten sind es besonders Rippelmarken und schichtinterne Verfaltungen, vom organogenen Sedimentgefüge sind es Lokomotionsbahnen (Grabgänge, Fluchtbahnen) mit den an ihren Rändern nach abwärts gerichteten „Schichtköpfen“, die als Geopetalgefüge diagnostisch verwertbar sind.
5. Aus der Einfallsrichtung der Schrägschichtung in den Glimmersanden und aus der Gefügeanalyse des Pettenauer Schotters konnte eine für diese Sedimente mittlere Schüt-
tungsrichtung von Südosten nach Nordwesten gefunden werden.
6. Hauptgemengteil der untersuchten Feinsedimente ist der Quarz, Nebengemengteile sind in erster Linie Glimmermineralien, dann folgen Feldspäte u. a. Die Quarz-
körner sind überwiegend glasklar bis milchtrüb und eckig. Ihr Rundungsgrad nimmt mit abnehmender Korngröße ab.

7. Zur Erfassung von Merkmalswerten der untersuchten Feinsedimente wurden Korngrößenanalysen durchgeführt, die in Körnungsfeldern dargestellt wurden.
Die Sortierung der Feinsedimente variiert. Im Bereich zwischen 0,15 mm und 0,20 mm $\varnothing$ liegt das Sortierungsoptimum ($S_o = 1,1-1,3$) der bearbeiteten Sedimente. Die Glimmersande weisen die besten Sortierungsgrade auf.
8. Jedem Schichtungstyp entspricht eine bestimmte Kornverteilung:
Die atektonischen Schichtverformungen treten nur in staubsandigen Feinmittelsanden auf.
Die Kleinrippelschichtung ist vorwiegend an Staub- und Feinmittelsande gebunden.
Die ebene Feinschichtung ist an Feinmittelsande geknüpft.
In den Abschnitten mit mittel- bis großdimensionaler Schrägschichtung herrschen Feinmittel- bis Grobmittelsande vor.
Die Schichtverwühlungen treten bevorzugt in schluffigen Feinsanden auf.
9. Aus dem Sedimentgefüge im Vertikal- und Horizontalprofil und aus dem Fossilinhalt der einzelnen Schichtglieder läßt sich die Entwicklungsgeschichte des Sedimentationsbeckens rekonstruieren.
Die unteren Mehlsande wurden in einem verhältnismäßig küstenfernen, ruhigen, wenig durchlüfteten brachyhalinen (Salzgehalt: 18–30‰), 20–40 m tiefen Gewässer abgelagert. Im oberen Teil der Mehlsande, z. T. auch schon in ihrem mittleren Teil, beginnt bereits eine gewisse Beckenunruhe: der Grad der Verwühlung nimmt ab und der Einfluß von Seegang und Strömungen wächst.
Aus der Bruchschillanreicherung an der Basis der Glimmersande kann man auf ein flaches, etwa 10 m tiefes Wasser mit verhältnismäßig hohem Energieniveau schließen. Der Salzgehalt des Wassers dürfte während der Ablagerung des Schillhorizontes noch 18–30‰ betragen haben.
Die Verflachung des Beckens schreitet während der Glimmersandsedimentation fort. Die Strömungsverhältnisse waren während der Ablagerung der unteren Glimmersande noch recht wechselhaft: Ruhewasserperioden (Wühlgefüge) wechseln mit Bewegtwasserperioden (klein- bis mitteldimensionale Schrägschichtung). Im mittleren und oberen Teil der Glimmersande überwiegt die mittel- bis großdimensionale Schrägschichtung. Für die Bildung dieses Abschnittes kommt ein Sedimentationsraum mit deltaähnlichem Charakter, geringer Wassertiefe und hoher Sedimentationsrate in Frage. Die Aussüßung des Brackmeeres ist bei der fortschreitenden Verflachung des Sedimentationsbeckens und dem zunehmenden Süßwasserzustrom aus Südosten bis Osten bereits ziemlich weit gediehen. Alle Anzeichen deuten darauf hin, daß der Aussüßungshorizont (Salzgehalt beträgt noch etwa 3‰) mit seiner ebenen Feinschichtung, seiner kleindimensionalen Schrägschichtung und seinem Wühlgefüge in einem sehr flachen und dennoch ruhigen Wasser abgelagert wurde.

LITERATUR

- ALTEMÜLLER, H. J.: Neue Möglichkeiten zur Herstellung von Bodendünnschliffen. – Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, **72**, 56–62, Heidelberg 1956.
- APFEL, E. T.: Phase sampling of sediments. – J. Sediment. Petrol., **8**, 67–68, Tulsa 1938.
- BAUTSCH, H. J. & RICHTER, A.: Ein neues Gießharz als Einbettungsmittel für An- und Dünnschliffe. – Z. angew. Geol., **5**, 36–37, Berlin 1959.
- BORCHERT, H.: Einfluß der Bodenerosion auf die Bodenstruktur und Methoden zu ihrer Kennzeichnung. – Geol. Jb., **78**, 439–502, Hannover 1961.
- Bodengefügeuntersuchung mit Hilfe von Bodenschliffen. – Umschau 1963, 443–446, Frankfurt a. M. 1963.
- BRINKMANN, R.: Über die Kreuzschichtung im Deutschen Buntsandsteinbecken. – Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. **4**, **32**, 1–12, Göttingen 1933.
- BUCHER, W. H.: On ripples and related sedimentary forms and their palaeogeographic interpretation. – Amer. J. Sci., **47**, 149–210, 241–269, New Haven 1919.
- DOTT, R. H. & HOWARD, J. K.: Convolute lamination in nongraded sequences. – J. Geol., **70**, 114–120, Chicago 1962.
- DZULYNSKI, S. & SMITH, A. J.: Convolute lamination, its origin, preservation, and directional significance. – J. Sediment. Petrol., **33**, 616–627, Tulsa 1963.
- EINSELE, G.: Schrägschichtung im Raumbild und einfache Bestimmung der Schüttungsrichtung. – N. Jb. Geol. Paläontol. Mh., **12**, 546–559, Stuttgart 1960.
- „convolute bedding“ und ähnliche Sedimentstrukturen im rhein. Oberdevon und anderen Ablagerungen. – N. Jb. Geol. Paläontol. Abh., **116**, 2, 162–198, Stuttgart 1963.
- FÜCHTBAUER, H.: Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. – Erdöl u. Kohle, **12**, 605–613, Hamburg 1959.
- FÜCHTBAUER, H. & REINECK, H.-E.: Porosität und Verdichtung rezenter, mariner Sedimente. – Sedimentology, **2**, 294–306, Amsterdam-New York 1963.
- GILBERT, G. K.: The transportation of debris by running water. – U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., **86**, 263 S., U.S.A. 1914.
- GOEMANN, H. B.: Ein Sediment-Härtungsverfahren mit Dioxan und Paraffin. – Senck. leth., **19**, 77–80, Frankfurt a. M. 1937.
- GRIMM, W.-D.: Der Schillhorizont in der ostniederbayerischen Süßbrackwassermolasse und seine bergbauliche Gewinnung. – Geol. Mitt., **3**, 221–252, Aachen 1963.
- Die „Süßwassersande und -mergel“ in der ostniederbayerischen Molasse und die Aussüßung des miozänen Brackmeeres. – Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläontol. hist. Geol., **4**, 145–175, München 1964.
- HAMBLIN, W. K.: Micro-cross-lamination in Upper Keweenawan sediments of northern Michigan. – J. Sediment. Petrol., **31**, 390–401, Tulsa 1961.
- X-ray radiography in the study of structures in homogenous sediments. – J. Sediment. Petrol., **32**, 201–210, Tulsa 1962.
- HEIM, A.: Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung. – N. Jb. Mineral. Geol. Paläontol., Jg. 1908, **2**, 136–157, Stuttgart 1908.
- ILLIES, H.: Die Schrägschichtung in fluviatilen und litoralen Sedimenten, ihre Ursachen, Messung und Auswertung. – Mitt. Geol. Staatsinst., **19**, 89–109, Hamburg 1949.
- INGERSON, E. & RAMISCH, J. L.: Studies of unconsolidated sediments. – Tscherm. mineral. petrograph. Mitt., **4**, 117–124, Wien 1954.
- INMAN, D. L.: Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. – J. Sediment. Petrol., **19**, 51–70, Tulsa 1949.
- JOHNSTON, W. A.: The character of the stratification of the sediments in the recent delta of Fraser River, British Columbia, Canada. – J. Geol., **30**, 115–129, Chicago 1922.

- KAISER, E.: Der Grundsatz des Aktualismus in der Geologie. – Z. dtsch. geol. Ges., **83**, 389–407, Hannover 1931.
- KALTERHERBERG, J.: Über Anlagerungsgefüge in grobklastischen Sedimenten. – N. Jb. Geol. Paläontol. Abh., **104**, 30–57, Stuttgart 1956.
- KÖSTER, E.: Mechanische Gesteins- und Bodenanalyse. – 171 S., 38 Abb., München (Hanser) 1960.
- KRUMBEIN, W. C.: Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits. – J. Geol., **47**, 673–706, Chicago 1939.
- KUBIENA, W.: Verfahren zur Herstellung von Dünnschliffen von Böden in ungestörter Lagerung. – Zeiss Nachr., **2**, 81–91, Jena 1937.
- KUENEN, P. H.: Significant features of graded bedding. – Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **37**, 1044 bis 1066, Tulsa 1953.
- KÜRSTEN, M.: Zur Frage der Geröllorientierung in Flußläufen. – Geol. Rdsch., **49**, 498–501, Stuttgart 1960.
- LEMCKE, K., v. ENGELHARDT, W. & FÜCHTBAUER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. – Beih. Geol. Jb., **11**, 109 S., Hannover 1953.
- MAYR, M.: Geologische Untersuchungen in der ungefalteten Molasse im Bereich des unteren Inn. – Beih. Geol. Jb., **26**, 309–370, Hannover 1957.
- McKEE, E. D.: Some types of bedding in the Colorado River delta. – J. Geol., **47**, 64–81, Chicago 1939.
- Primary structures in some recent sediments. – Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **41**, 1704–1747, Tulsa 1957.
- McKEE, E. D. & WEIR, G. W.: Terminology of stratification and cross-stratification. – Bull. Geol. Soc. Amer., **64**, 381–390, Washington 1953.
- MENARD, H. W.: Deep ripple marks in the sea. – J. Sediment. Petrol., **22**, 3–9, Tulsa 1952.
- MOORE, D. G. & SCRUTON, P. C.: Minor internal structures of some recent unconsolidated sediments. – Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, **41**, 2723–2751, Tulsa 1957.
- NEUMAIER, F. & WIESENER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär (Blatt Griesbach und Birnbach). – Sitz.-Ber. Bayer. Akad. Wiss., Math.-naturw. Abt., 177–252, München 1939.
- NIEHOFF, W.: Die primär gerichteten Sedimentstrukturen, insbesondere die Schrägschichtung, im Koblenzquarzit am Mittelrhein. – Geol. Rdsch., **47**, 252–321, Stuttgart 1958.
- OTTO, G. H.: The sedimentation unit and its use in field sampling. – J. Geol., **46**, 569–582, Chicago 1938.
- PETTIJOHN, F. J. & POTTER, P. E.: Atlas and glossary of primary sedimentary structures. – 117 Taf., Berlin (Springer) 1964.
- POWER, W. R.: Backset beds in the Coso Formation, Inyo County, California. – J. Sediment. Petrol., **31**, 603–607, Tulsa 1961.
- POWERS, M. C.: A new roundness scale for sedimentary particles. – J. Sediment. Petrol., **23**, 117–119, Tulsa 1953.
- RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Ober-Devons in der Waldecker Hauptmulde. – Abh. Hess. Landesamt f. Bodenf., **16**, 7–83, Wiesbaden 1956.
- REICHE, P.: An analysis of cross-lamination: The Coconino Sandstone. – J. Geol., **46**, 905–932, Chicago 1938.
- REINECK, H.-E.: Wühlbau-Gefüge in Abhängigkeit von Sedimentumlagerungen. – Senck. leth., **39**, 1–24, Frankfurt a. M. 1958.
- Über das Härten und Schleifen von Lockersedimenten. – Senck. leth., **39**, 49–56, Frankfurt a. M. 1958.
- Longitudinale Schrägschichtung im Watt. – Geol. Rdsch., **47**, 73–82, Stuttgart 1958.
- Über die Entstehung von Linsen- und Flaserschichten. – Abh. dtsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. 3, 369–374, Berlin 1960.
- Sedimentbewegungen an Kleinrippeln im Watt. – Senck. leth., **42**, 51–67, Frankfurt a. M. 1961.
- Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. – Abh. senckenb. naturf. Ges., **505**, 1–138, Frankfurt a. M. 1963.
- Naßhärtung von ungestörten Bodenproben im Format 5 × 5 cm für projizierbare Dickschliffe. – Senck. leth., **44**, 357–362, Frankfurt a. M. 1963.
- REMANE, A.: Die biologischen Grenzen Meer–Süßwasser und Meer–Land. – Geol. Rdsch., **47**, 11–24, Stuttgart 1958.
- RICHTER, R.: Die Großrippeln unter Gezeitenströmung im Wattenmeer und die Rippeln im Pirnaer Turon. – Senck. leth., **8**, S. 297, Frankfurt a. M. 1926.
- Gründung und Aufgaben der Forschungsstelle für Meeresgeologie „Senckenberg“ in Wilhelmshaven. – Senck. leth., **11**, 1–30, Frankfurt a. M. 1928.

- RICHTER, R.: Marken und Spuren im Hunsrückschiefer II. Schichtung und Grundleben. – Senck. leth., **18**, 215–244, Frankfurt a. M. 1936.
- Marken und Spuren aus allen Zeiten. I. Wühlgefüge durch kot-gefüllte Tunnel (*Planolites montanus* n. sp.) aus dem Oberkarbon der Ruhr. – Senck. leth., **19**, 150–163, Frankfurt a. M. 1937 (b).
- Die Einkippungsregel. – Senck. leth., **25**, 181–206, Frankfurt a. M. 1942.
- RUCHIN, L. B.: Grundzüge der Lithologie. – 806 S., Berlin (Akademie) 1958.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. 1. Teil: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil, 215 S., Wien und Innsbruck (Springer) 1948.
- SCHÄFER, W.: Aktuo-Paläontologie. – 666 S., 277 Abb., 36 Taf., Frankfurt a. M. (Kramer) 1962.
- SCHIESSL, K.-H.: Die Verteilung der Schwermineralien in der Süßbrackwassermolasse Niederbayerns. – Diss. Univ. München, 78 S., Mskr. München 1962.
- SCHLICKUM, W. R.: Die Molluskenfauna der Süßbrackwassermolasse Niederbayerns. – Arch. Moll., **93**, 1–70, Frankfurt a. M. 1964.
- SCHULTZE, E. & MUHS, H.: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. – 464 S., 498 Abb., Berlin (Springer) 1950.
- SEILACHER, A.: Studien zur Palichnologie I: Über die Methoden der Palichnologie. – N. Jb. Geol. Paläontol. Abh., **96**, 421–452, Stuttgart 1953 a.
- An-aktualistisches Wattenmeer? – Paläontol. Z., **31**, 198–206, Stuttgart 1957.
- SHEPARD, F. P.: Criteria in modern sediments useful in recognizing ancient sedimentary environments. – Developments in Sedimentology, **1**, 1–25, Amsterdam-London-New York 1964.
- STEINLEIN, H.: Der Buntsandstein am Westrand der Böhmisches Masse. – Erlanger Geol. Abh., H. 8, Erlangen 1953.
- SUTTER, K.: Gefügeanalytische Untersuchungen im Nördlichen Vollschotter der ungefalteten Molasse Niederbayerns. – Diss. Univ. München, 80 S., Mskr. München 1962.
- TRASK, P. D.: Origin and environment of source sediments of petroleum. – Houston Gulf Publ. Co., 67 ff., 1932.
- VORTISCH, W.: Die Entwicklung unserer Anschauungen über nichttektonische Verformung der Sedimente. – Geol. Rdsch., **53**, 650–679, Stuttgart 1963.
- WALGER, E.: Die Korngrößenverteilung von Einzellagen sandiger Sedimente. – Geol. Rdsch., **51**, 494–507, Stuttgart 1961.
- WALKER, R. G.: Distinctive types of ripple-drift cross-lamination. – Sedimentology, **2**, 173–188, Amsterdam-New York 1963.
- WITTMANN, D.: Gliederung und Verbreitung der Süßbrackwassermolasse in Ost-Niederbayern. – Beih. Geol. Jb., **26**, 49–94, Hannover 1957.
- WOLF, W.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär. – Diss. Univ. München, 83 S., Mskr. München 1956.
- WURSTER, P.: Geometrie und Geologie von Kreuzschichtungskörpern. – Geol. Rdsch., **47**, 322–359, Stuttgart 1958.
- ZÖBELEIN, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär (Blatt Pfarrkirchen). – N. Jb. Mineral. usw., Beil.-Bd., **84**, 233–302, Stuttgart 1940.

TAFELN

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL I¹

- Fig. 1: Obere Bildhälfte: Kleindimensionale Schrägschichtung (Kleinrippelschichtung) mit einzelnen Wühlspuren. Die Leeblätter der Schrägschichtung fallen nach Nordwesten (= nach links) ein.
Untere Bildhälfte: Strömungs-Kleinrippelschichtung, durch vertikale Anlagerung entstanden, mit einer schwachen Verlagerung nach links (= Nordwesten). Vertikalanschliff. – Hinterholz (Nr. 3), Glimmersande.
- Fig. 2: Kleindimensionale Schrägschichtung mit Wühlspuren. Vertikalanschliff. – SW Hinterholz (Nr. 4), Mehlsande.
- Fig. 3: Untere Bildhälfte: Kleindimensionale Kreuzschichtung („festoon cross lamination“, PETTJOHN & POTTER 1964, S. 304).
Obere Bildhälfte: Keine Schichtung erkennbar, wahrscheinlich durch Organismen entschichtet. Die Grenze zwischen geschichtetem und entschichtetem Bereich verläuft sehr unregelmäßig. Vertikalanschliff. – Östlich Gopping (Nr. 30), Aussüßungshorizont.
- Fig. 4: Kleindimensionale Schrägschichtung von einzelnen Wühlspuren durchsetzt. Vertikalanschliff. – Hitzenau (Nr. 2), Aussüßungshorizont.
-

¹ Die auf den Tafeln 1–12 abgebildeten Vertikal- und Horizontalanschliffe sind beim Verfasser aufbewahrt.

Anschrift des Verfassers: Alfred BUCHNER, 8 München 2, Luisenstraße 37, Institut für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie.

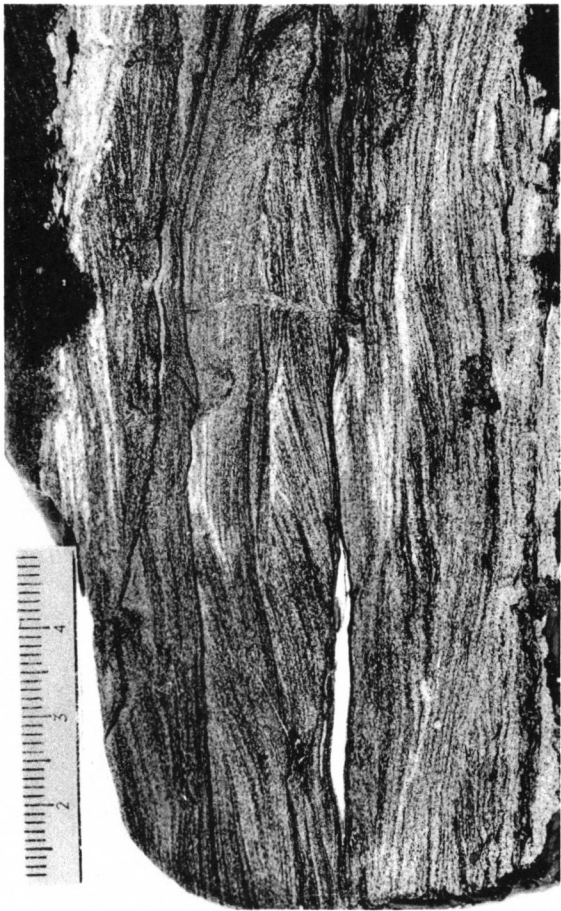


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL II

- Fig. 1: Kleindimensionale Kreuzschichtung. Vertikalanschliff. –
Beutelsbach (Nr. 35), Glimmersande.
- Fig. 2: Derselbe Anschliff wie Fig. 1 als Röntgenaufnahme. Strichlänge 2 cm.
- Fig. 3: Vertikalanschliff mit nicht erkennbarer Schichtung. (Die Striche sind bedeutungslose, eigene Markierungen.)
Nördlich Beutelsbach (Nr. 33), Glimmersande.
- Fig. 4: Derselbe Anschliff wie in Fig. 3, jedoch als Röntgenaufnahme. Die Texturen treten auch jetzt nur schwach hervor. Wahrscheinlich ist der Anschliff stark verwühlt. Undeutlich sind nach links einfallende Leebblätter zu erkennen.
- Fig. 5: Unregelmäßig gefleckt erscheinender Vertikalanschliff. –
St. Salvator (Nr. 38), Glimmersande.
- Fig. 6: Fig. 5 als Röntgenaufnahme. Man erkennt auch auf dem Röntgenbild keine Schichtung. Es kann angenommen werden, daß es sich hier um einen sehr stark von Organismen verwühlten Bereich handelt.

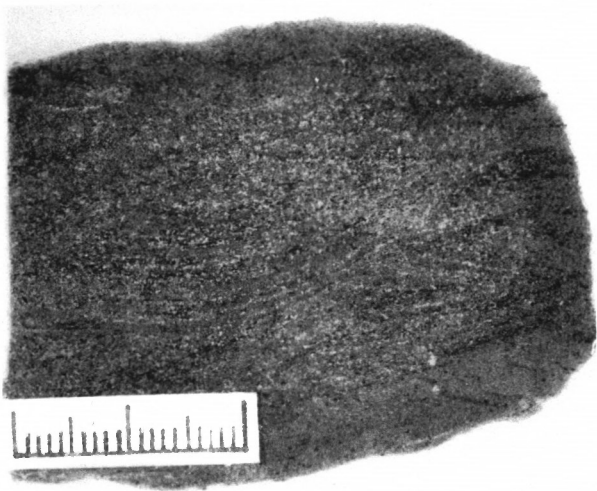


Fig. 1

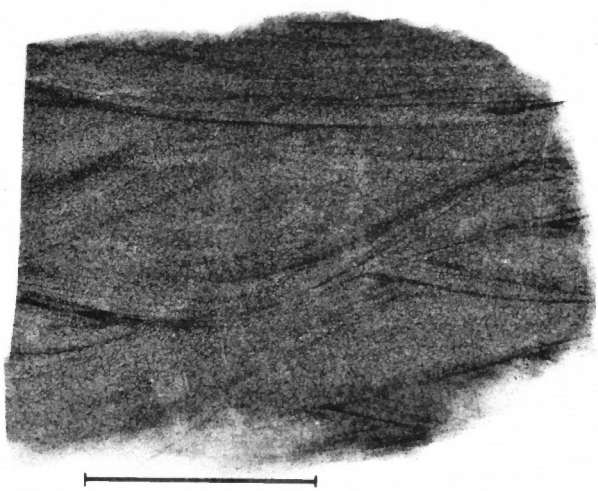


Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

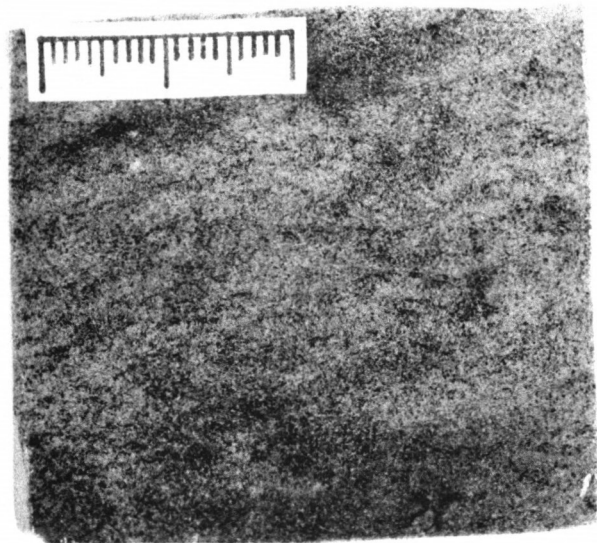


Fig. 5



Fig. 6

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL III

- Fig. 1: Kleindimensionale Kreuzschichtung von einzelnen Wühlspuren durchsetzt. Die Leeblätter der Kreuzschichtung sind schaufel- und muldenförmig. Vertikalanschliff. –
Östlich Gopping (Nr. 30), Aussüßungshorizont.
- Fig. 2: Mitteldimensionale Schrägschichtung mit schaufelförmigen und ebenen, nach Westen bis Nordwesten (= nach links) einfallenden Leeblättern. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Das weiße Maßband ist 4 cm lang. –
Pettenau (Nr. 9), Glimmersande.
- Fig. 3: Mitteldimensionale Kreuzschichtung aus ebenen Schichtblättern zusammengesetzt. Vertikalanschliff. –
Köblarn (Nr. 15), Mehlsande.
- Fig. 4: Großdimensionale Schrägschichtung mit einer Schottereinlagerung (Pettenauer Schotter!). Die Grenze Sande – Schotter verläuft wellig. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Das weiße Maßband ist 4 cm lang. –
Pettenau (Nr. 9), Glimmersande.



Fig. 2



Fig. 4



Fig. 1

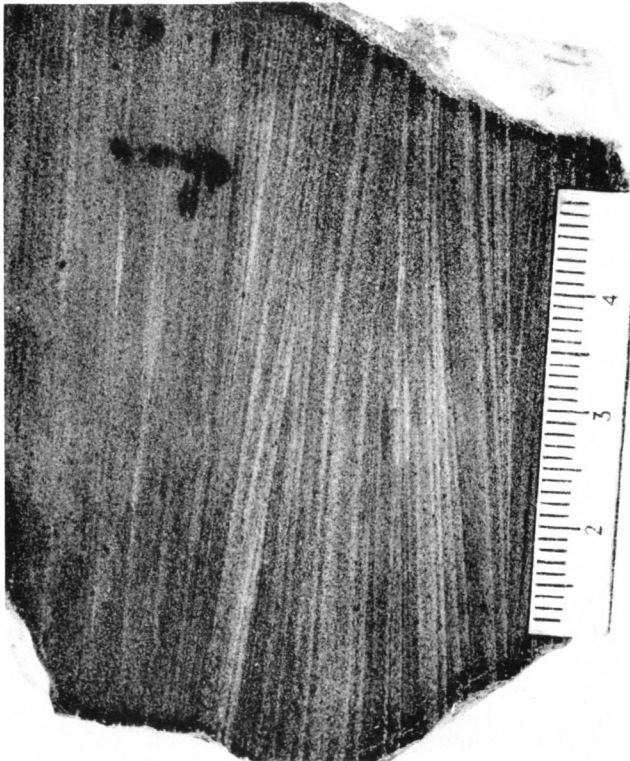


Fig. 3

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL IV

- Fig. 1: Großdimensionale Schrägschichtung aus ebenen Schichtblättern aufgebaut. Muschelklappen sind in die stabile Lage (konvexe Seite oben) eingekippt. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Gesamthöhe 1,50 m. –
Martinstödling (Nr. 29), Glimmersande.
- Fig. 2: Kleinrippelschichtung bestehend aus asymmetrischen Strömungs-Kleinrippeln, die teils durch vertikale (Bereich B) Anlagerung („uniform deposition“), teils durch seitliche Anlagerung („lee-side concentration“) entstanden sind. Zwischen beiden Typen kommen fließende Übergänge vor. Man erkennt eine schwache Verlagerung der Rippelkämme nach links (Westen). Die geschwungenen Blätter gehen allmählich in ebene über. Im Bereich A ist eine Lage von Strömungs-Kleinrippeln, die durch „lee-side concentration“ gebildet wurden, eingeschaltet. Darüber folgen durch „uniform deposition“ gebildete Strömungsrippeln, die im obersten Teil (1,3 cm) stark verwühlt sind. Vertikalanschliff. –
Köblarn (Nr. 16), Mehlsande.
- Fig. 3: Ebene Feinschichtung mit kleinen Diskordanzen. In der rechten Bildhälfte erkennt man eine vertikale nach oben verlaufende Wühlspur. Der Bereich A besteht aus einer Lage von asymmetrischen Strömungs-Kleinrippeln mit nach Westen (zur linken Bildhälfte) einfallenden Leeblättern. Vertikalanschliff. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.
- Fig. 4: Obere Bildhälfte: Kleindimensionale Schrägschichtung, vereinzelt mit wechselnder Einfallsrichtung. Schichtblätter sind vereinzelt durch Organismen verwühlt.
Untere Bildhälfte: Asymmetrische Strömungs-Kleinrippeln, die durch vertikale Anlagerung bei gleichzeitiger Verschiebung nach links (Westen) entstanden. Sehr vereinzelt kommen darin Wühlspuren vor. Vertikalanschliff. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.

A — B —



Fig. 2

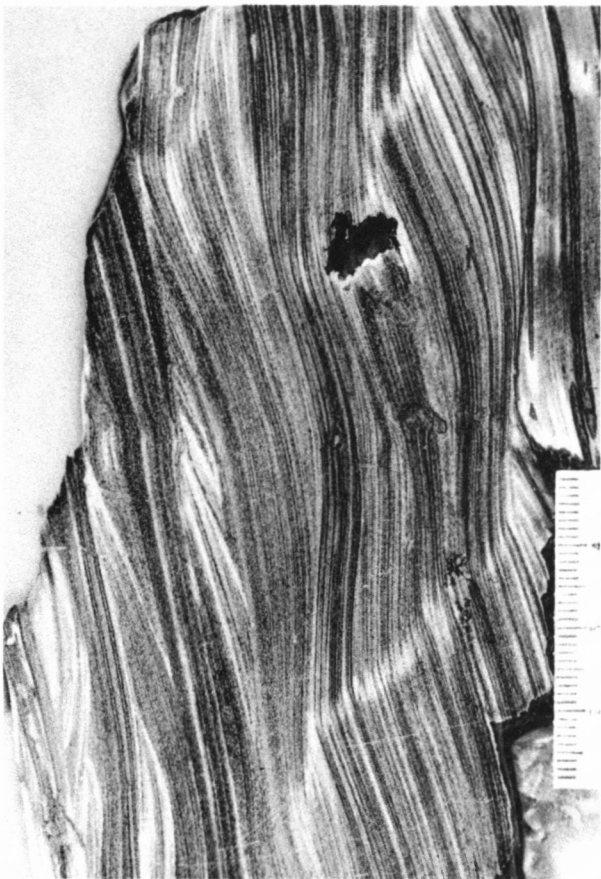


Fig. 4

A — B —

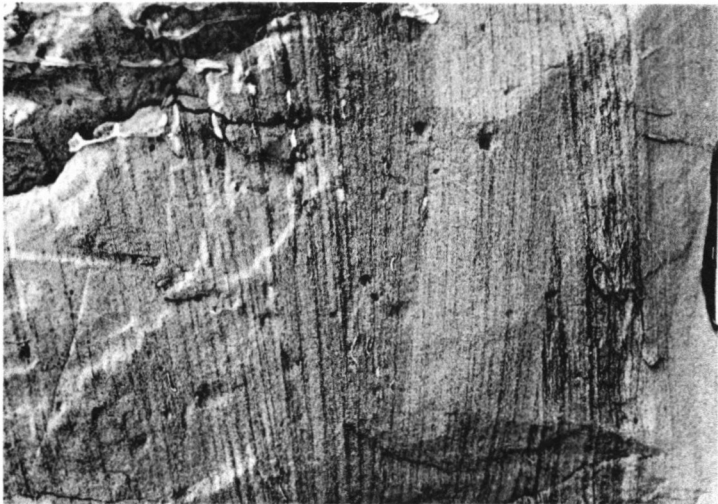


Fig. 1

A —



Fig. 3

A —

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL V

- Fig. 1: Ein Bereich mit großdimensionaler Schrägschichtung (unterster Teil) wird von einer Oszillationsrippelschichtung überlagert. Wechsellagerung zwischen gerippten Sand- und Tonmergellagen. Die Tonmergellagen sind verhältnismäßig symmetrisch gerippt, während die Oszillationsrippeln im sandigen Teil deutlich asymmetrisch sind mit einer bevorzugten Verschiebungsrichtung nach links (Westen). In der oberen Bildhälfte erhalten die Oszillationsrippeln mehr und mehr den Charakter von Strömungsrippeln mit z.T. sandigen und tonig-mergeligen Leeblättern; vereinzelt sind noch Luvblätter erhalten. Vertikalanschnitt im Aufschluß. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.
- Fig. 2: Interferenzrippelfeld (R) von schräg oben gesehen. Im Bereich T ist noch ein Rest der das Rippelfeld konservierenden Tonmergellage zu sehen. Im unteren Drittel des Bildes ist das Rippelfeld vertikal angeschnitten. Darunter folgt ein Abschnitt mit ebener Feinschichtung. Aufschlußfoto. Maßband ist 3 cm lang. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.
- Fig. 3: Bereich R der Fig. 2 von oben fotografiert (Aufsicht!). Man sieht sehr deutlich zwei sich unter einem Winkel von $70-90^\circ$ kreuzende Rippelsysteme. Im oberen rechten Bildteil ist noch ein Teil des vertikal-angeschnittenen Rippelfeldes zu erkennen, das in Fig. 2 in der unteren Bildhälfte erscheint. Aufschlußfoto. Länge des weißen Maßbandes 3 cm. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.

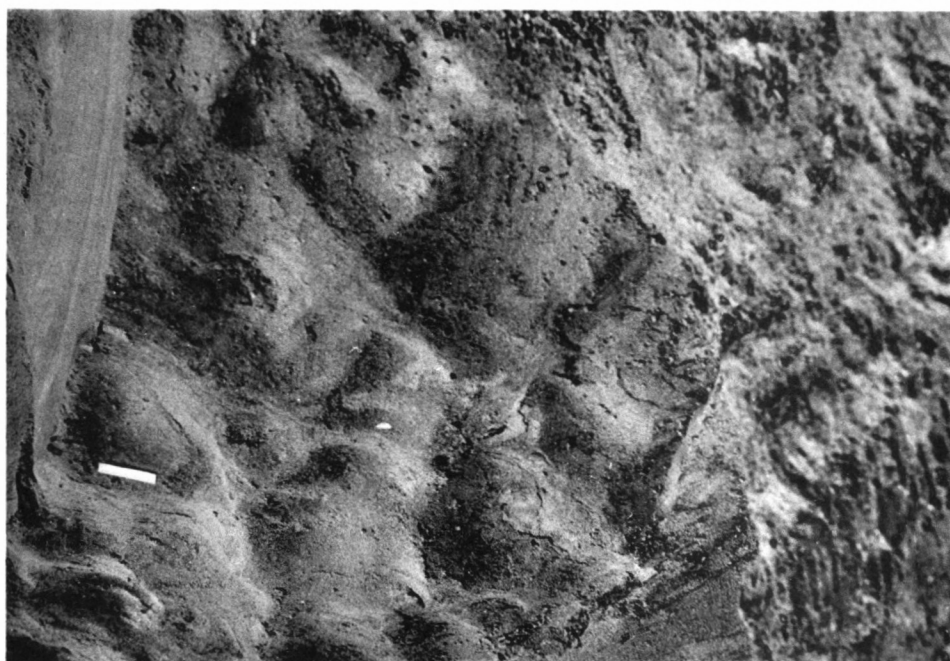


Fig. 3

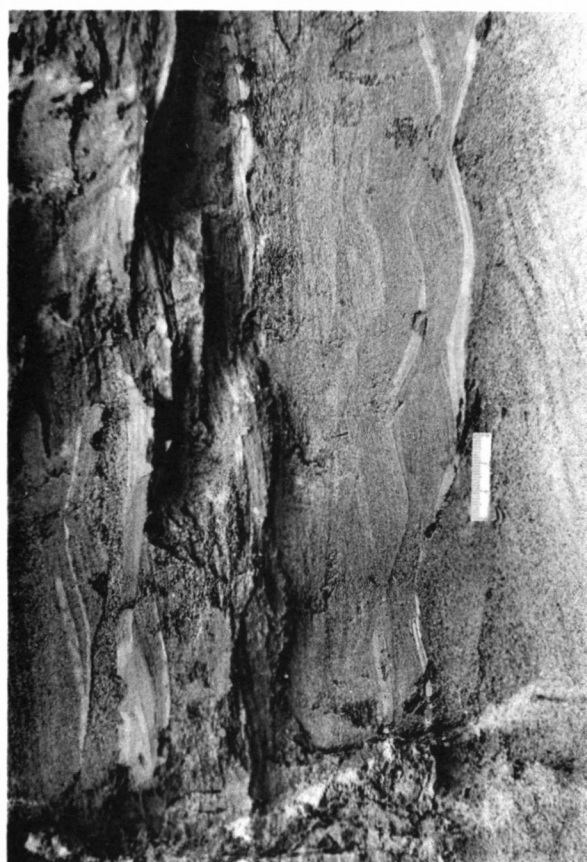


Fig. 1



Fig. 2

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL VI

- Fig. 1: Ebene Feinschichtung (Horizontal-, Parallelschichtung) mit einzelnen schwach erkennbaren Diskordanzen. Vertikalanschliff. –
Hitzenau (Nr. 2), Glimmersande.
- Fig. 2: Schichtinterne Verfäلتelung (Ausschnitt). Die einzelnen Schichtblätter sind nirgends zerrissen. Nach oben hin nimmt die Faltungsintensität ab. Vertikalanschliff. Länge des Maßstabes 4 cm. –
Hurn (Nr. 14), Glimmersande.
- Fig. 3: Ebene Feinschichtung in stark schluffigen Staubsanden, vereinzelt mit Wühlspuren. Vertikalanschliff.
Gebiet des Antersdorfer Baches bei Hinterholz (Nr. 3), Aussüßungshorizont.
- Fig. 4: Ebene Feinschichtung von einer Wühlspur gestört. Vertikalanschliff. –
Hitzenau (Nr. 2), Aussüßungshorizont.



Fig. 3



Fig. 2



Fig. 4

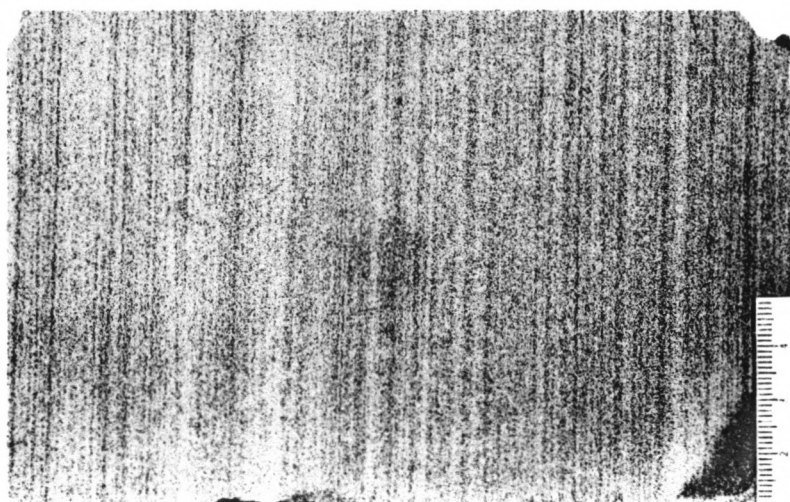


Fig. 1

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL VII

- Fig. 1: Schichtinterne Verfaltungen in Bereichen mit feinblättriger ebener Schichtung bis flach geneigter Schrägschichtung. Die verfalteten Lagen gehen nach oben hin fast immer ohne erkennbare Diskordanz in unverfaltete Lagen über. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Länge des Maßbandes 17 cm. – Kößlarn (Nr. 15), Glimmersande.
- Fig. 2: Schichtverfaltung. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Länge des Maßbandes 3 cm. – Hurn (Nr. 14), Glimmersande.
- Fig. 3: Kleine subaquatische Rutschung mit Abscherungen in einem mergelig-sandigen Bereich. Vertikalanschliff. – Hitzenau (Nr. 2), Aussüßungshorizont.
- Fig. 4: Kleindimensionale Schrägschichtung mit einzelnen Lokomotionsbahnen (Fluchtbahnen), wahrscheinlich von Muscheln erzeugt. Vertikalanschliff. Strichlänge 1,5 cm. – Hinterholz (Nr. 3), Glimmersande.



Fig. 2



Fig. 4



Fig. 1

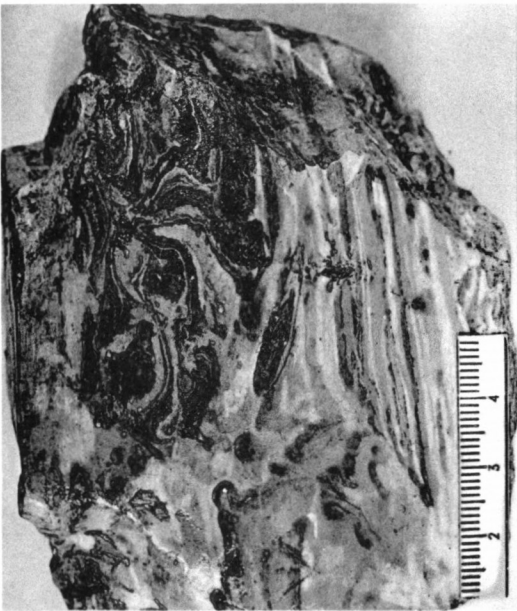
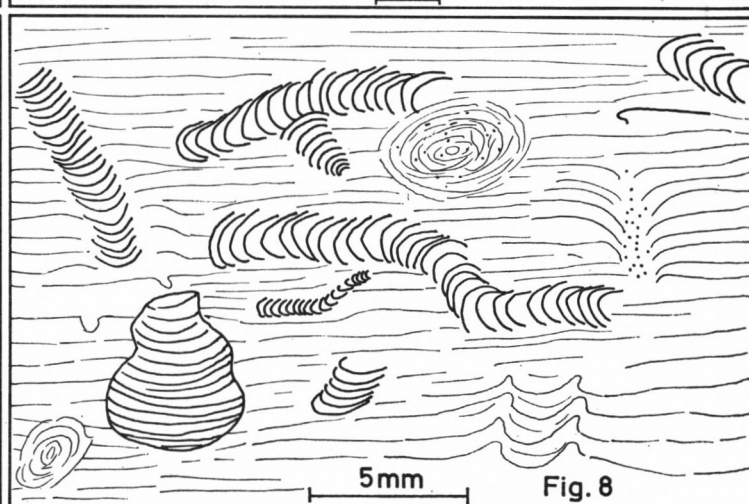
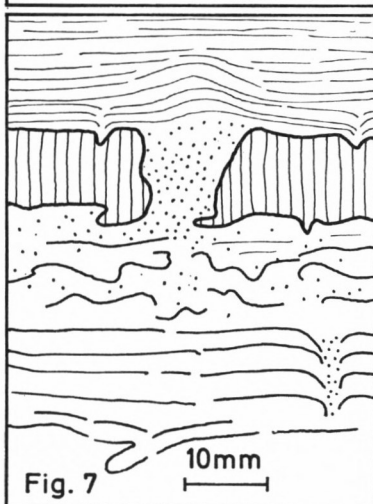
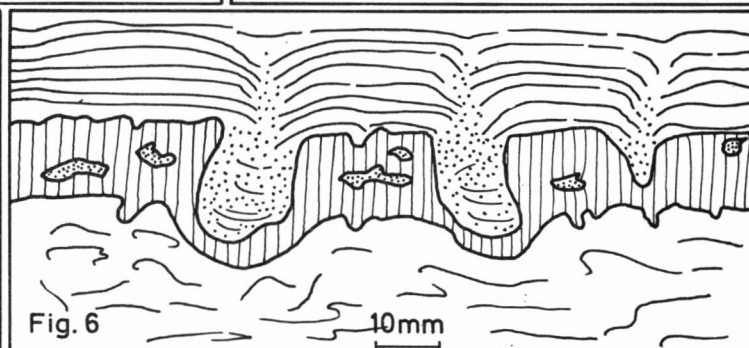
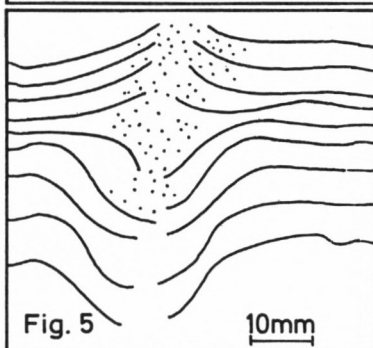
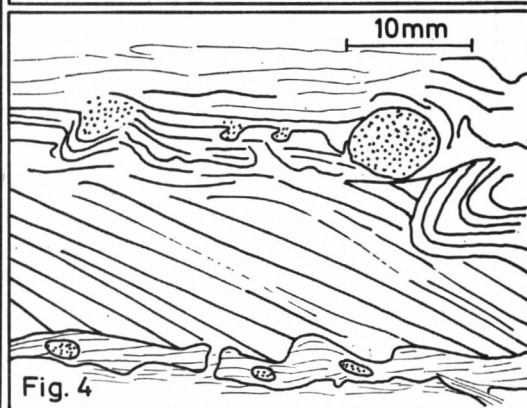
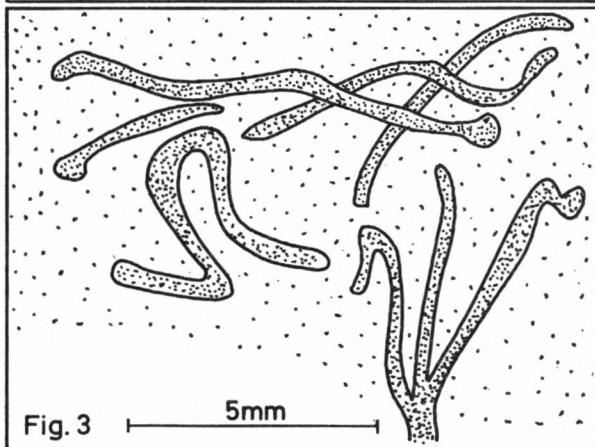
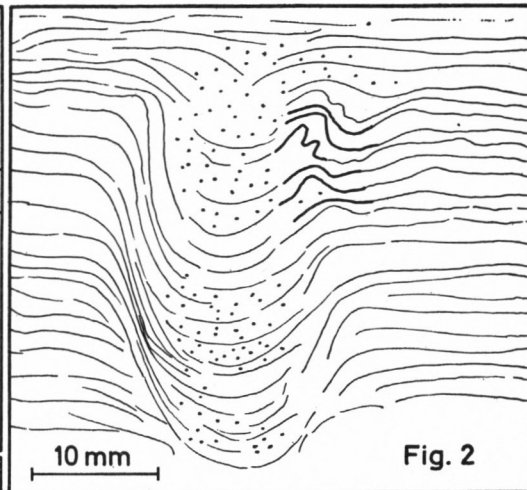
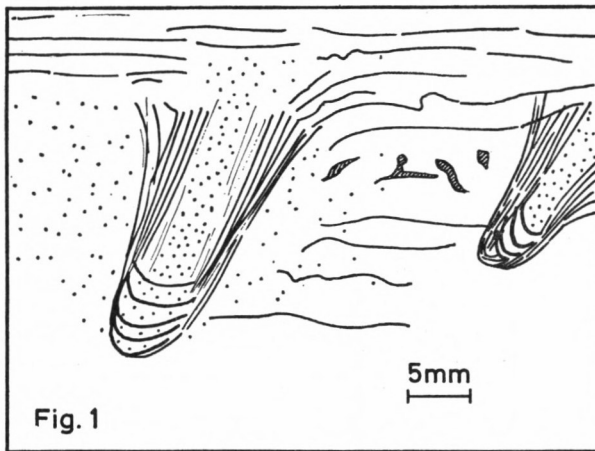


Fig. 3

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL VIII

- Fig. 1: Schnitt durch einen mehrwandigen Gang. Die Lamellen sind teils gerade und parallel, teils gekrümmt.
- Fig. 2: Wühlspur mit nach unten gebogenen Schichtköpfen. Am rechten Rand sind die Schichtköpfe leicht gestaucht.
- Fig. 3: Sandige, unregelmäßig geformte Gebilde mit z.T. pilzförmiger Erweiterung an den Enden. Die schlauchförmigen Gebilde gehen wahrscheinlich auf die Tätigkeit von Organismen zurück.
- Fig. 4: Kleindimensionale Schrägschichtung mit einzelnen Versatztexturen und runden, sandigen Füllungen in mergeligen Lagen.
- Fig. 5: Wühlspur mit nach abwärts gebogenen Schichtköpfen im unteren Teil. Im oberen Teil sind die Schichtlamellen nach oben geschleppt.
- Fig. 6: Stark verwühlte Mergellage mit Sackungszonen (Wühlspuren) im überlagernden Sand. Der untere Teil ist verwühlt. Die Mergellage bildet an ihrer Unterseite ein unruhiges Relief ab, das durch Verwühlung entstanden ist.
- Fig. 7: Mittelteil: Durchbohrte Mergellage mit einer leichten Schichtaufwölbung darüber. Unterer Teil: z.T. verwühlt.
- Fig. 8: Regellos im Anschnitt verteilte Versatztexturen mit gekrümmten Lamellen. Vereinzelt kommen konzentrisch angeordnete Lamellen und kleinere Sackungszonen vor.



ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL IX

- Fig. 1: Wühlgefüge mit in einzelnen Lagen noch erkennbarer Schichtung. In der linken Bildhälfte ist ein längerer Gang erkennbar, der an den Rändern teilweise mit mergeligem Material verklebt ist. Vertikalanschliff. – Südwestlich Moosmühle (Nr. 17), Mehlsande.
- Fig. 2: Lokomotionsbahnen (Fluchtbahnen) in feingeschichteten Feinmittelsanden mit quergeschnittenen Schalendoubletten von Muscheln. Die hellgefleckten, feinkörnigen Partien in der unteren Bildhälfte stellen Bereiche dar, in die die Kunstharzmischung nicht eingedrungen ist. Vertikalanschliff. – Loderham (Nr. 21), Mehlsande.
- Fig. 3: Wühlgefüge; völlig entschichteter Bereich. Vertikalanschliff. – Südöstlich Freyung (Nr. 36), Mehlsande.
- Fig. 4: Oberer und unterer Bildteil mit Ausnahme von vereinzelten Schichtrelikten bis zur Entschichtung verwühlt. Mittelteil geschichtet, aber an der Ober- und Unterseite ebenfalls stark angebohrt. An der Oberseite eine quergeschnittene Doublette einer Muschel. Vertikalanschliff. – Südwestlich Hinterholz (Nr. 4), Mehlsande.

Fig. 3



Fig. 1



Fig. 4



Fig. 2



ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL X

- Fig. 1: Obere Bildhälfte: Ebene Feinschichtung mit Wühlspuren. Die Schichtköpfe am Rande der Wühlbahn sind nach abwärts gebogen. An der großen Wühlspur in der rechten Bildhälfte sind die Schichtköpfe (rechts) schwach gestaucht.
Untere Bildhälfte: Wechsellagerung von geschichteten und stark verwühlten Partien. Vertikalanschliff. –
Thalham (Nr. 7), Glimmersande.
- Fig. 2: Intensive Schichtverwühlung mit einzelnen geschichteten, nur gering verwühlten Lagen, die z.T. von runden, mit Sand gefüllten Gebilden durchsetzt sind. In der oberen rechten Bildhälfte ist eine Versatztextur mit nach unten gekrümmten Lamellen erkennbar. Vertikalanschliff. –
Loderham (Nr. 21), Mehlsande.
- Fig. 3: Intensive Verwühlung. Die dunklen Schläuche und Fetzen bestehen aus mit Kunstharz getränkten Sanden. Die hellen Bereiche sind sehr feinkörnig und nur schwach mit Harz getränkt. Vertikalanschliff. –
Gebiet des Antersdorfer Baches bei Hinterholz (Nr. 3), Aussüßungshorizont.
- Fig. 4: Wühlgefüge. Man beachte die schlauchförmig gewundenen und sich verzweigenden Gebilde. Horizontalanschliff. –
Südwestlich Moosmühle (Nr. 17), Mehlsande.

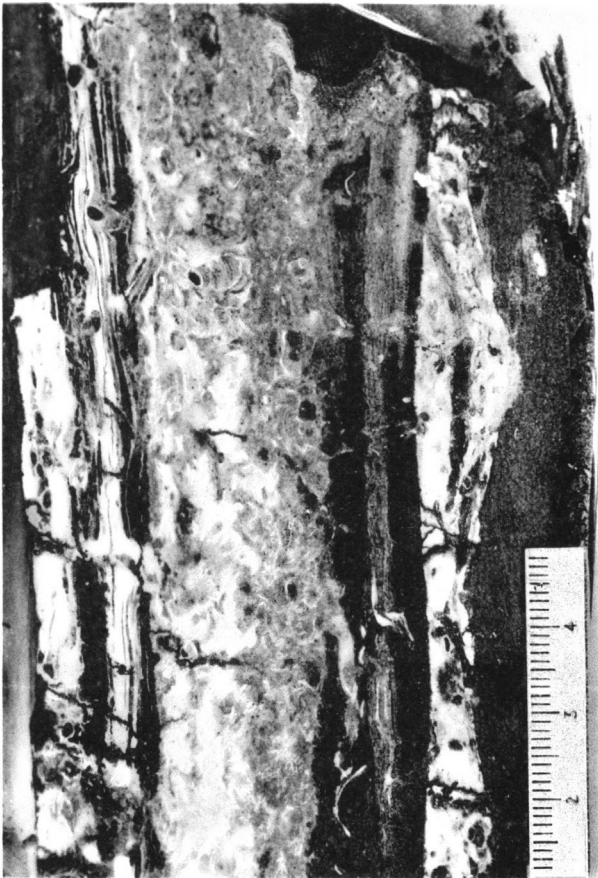


Fig. 2



Fig. 4

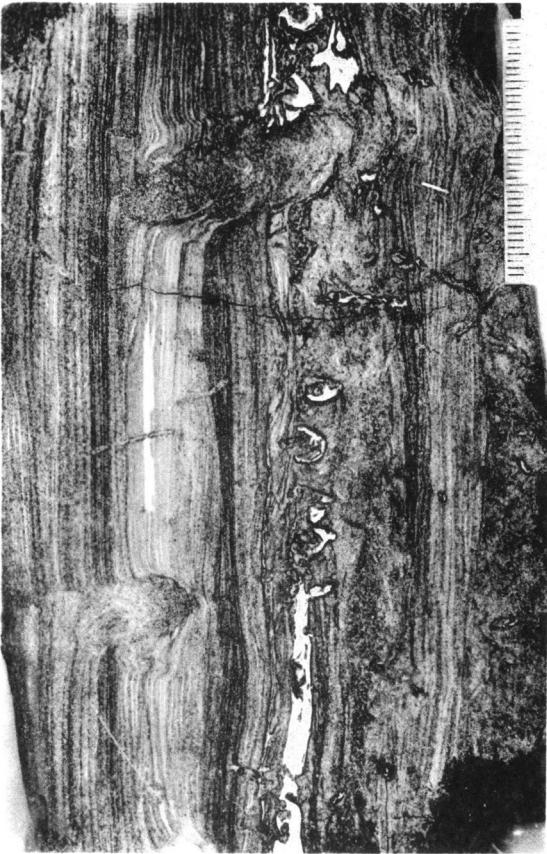


Fig. 1



Fig. 3

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL XI

- Fig. 1: Oberer Bildteil: Homogen entschichtet.
Unterer Teil: Gut erkennbare Schichtung, stark von Lebensspuren durchsetzt. Man beachte die unregelmäßig verlaufende Grenze zum homogen entschichteten Bereich hin. Vertikalanschliff. – Kößlarn (Nr. 16), Mehlsande.
- Fig. 2: Oberer und unterer Bildteil stark verwühlt bis entschichtet. Mittlerer Teil geschichtet und nur schwach verwühlt. In der linken Bildhälfte erkennt man in dem geschichteten Bereich einen Versatzbau mit nahezu parallelen Wänden („Räumauskleidung“). Vertikalanschliff. – Straß (Nr. 11), Mehlsande.
- Fig. 3: Oberer und unterer Bildteil mit feinblättriger ebener Schichtung, im unteren Mittelteil mit kleindimensionaler Schrägschichtung. Im oberen Mittelteil ist keine Schichtung erkennbar. Die Glimmerblättchen, die in den geschichteten Bereichen gut schichtparallel eingeregelt sind, liegen hier ungeordnet und wirr im Anschliff. Nach oben hin wird die ebene Schichtung gut sichtbar. Die einzelnen Lamellen sind aber z. T. noch stark deformiert und durchbewegt. Der verwaschene Gefügetyp im Mittelteil geht auf die Tätigkeit von Organismen zurück. Vertikalanschliff. – Hinterholz (Nr. 3), Glimmersande.
- Fig. 4: Wühlgefüge mit reliktiertig erhaltenem primärem Schichtgefüge. In der Mitte vermutlich eine Versatztextur („Räumauskleidung“). Vertikalanschliff. – Thalham (Nr. 7), Glimmersande.

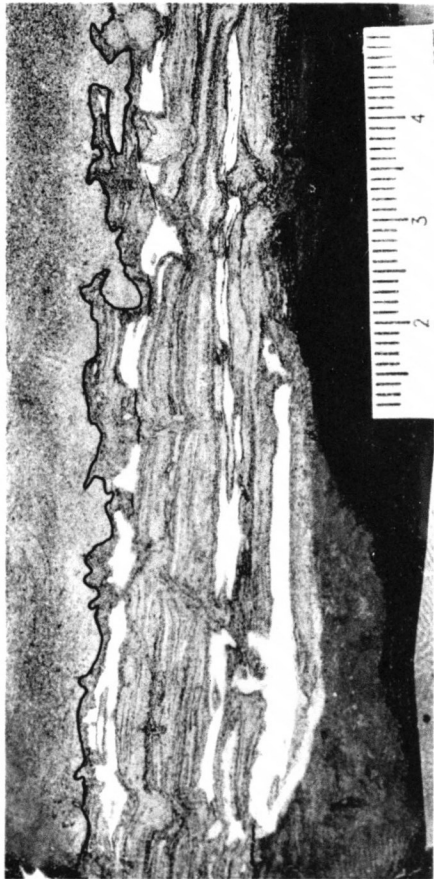


Fig. 1

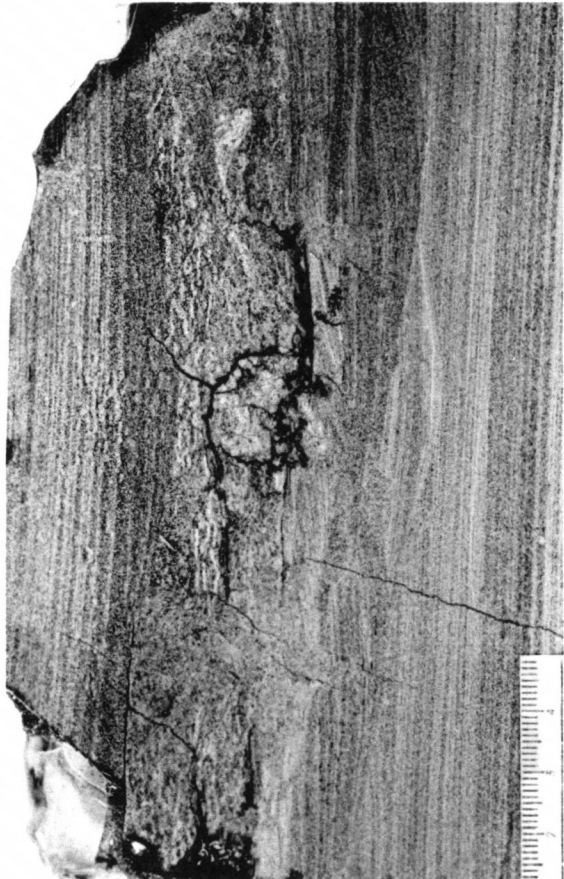


Fig. 3

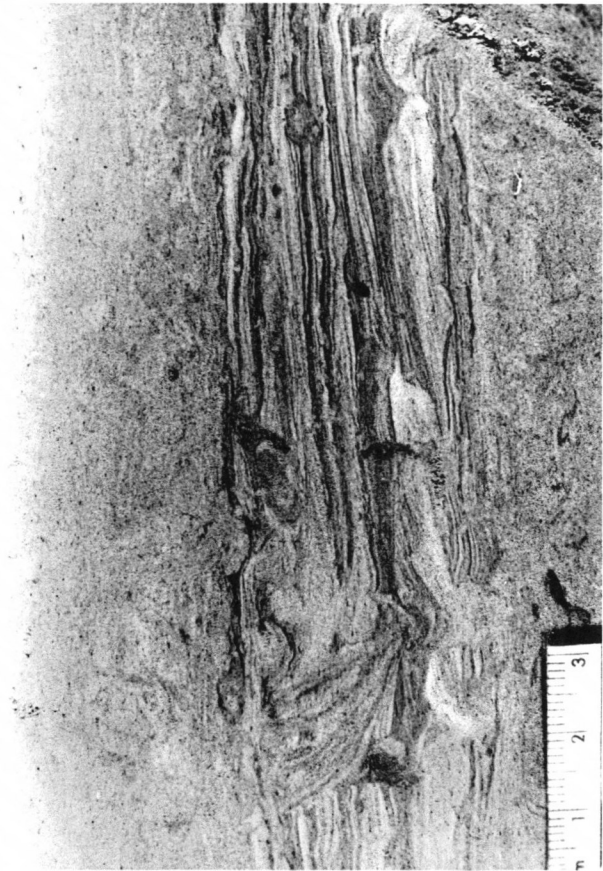


Fig. 2

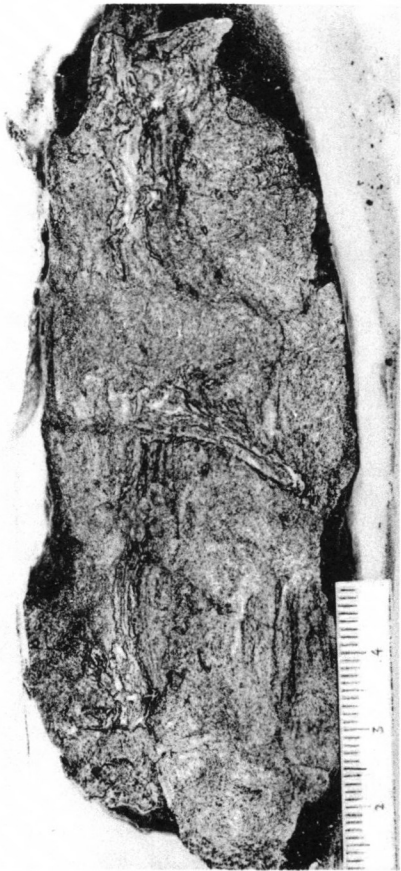


Fig. 4

ERLÄUTERUNGEN ZU TAFEL XII

- Fig. 1: Sehr starke Schichtverwühlung; die primäre Schichtung ist nur mehr in Resten (mittlerer Teil) erhalten. Der Verwühlungsbereich wird an seiner Obergrenze scharf durch eine ebene Feinschichtung abgeschnitten. Vertikalanschliff. – Thalham (Nr. 7), Glimmersande.
- Fig. 2: Kleindimensionale Kreuzschichtung von Wühlspuren durchsetzt. Vertikalanschliff. – Goppenberg (Nr. 34), Aussüßungshorizont.
- Fig. 3: Bruchschillanreicherung. Kleinerriebener Bruchschill an der Basis. Nach oben hin zunehmende Sandeinschaltung und bessere Schalenerhaltung. Vertikalanschnitt im Aufschluß. Mächtigkeit der Bruchschillanreicherung: 40 cm. – Hinterholz (Nr. 3), Schillhorizont.
Dieses Bild wurde mir freundlicherweise von Herrn Dr. GRIMM zur Verfügung gestellt.

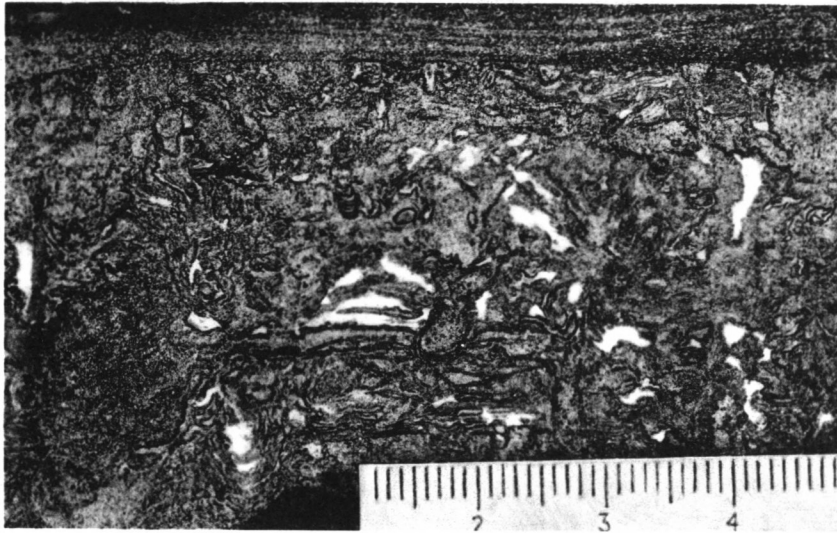


Fig. 1

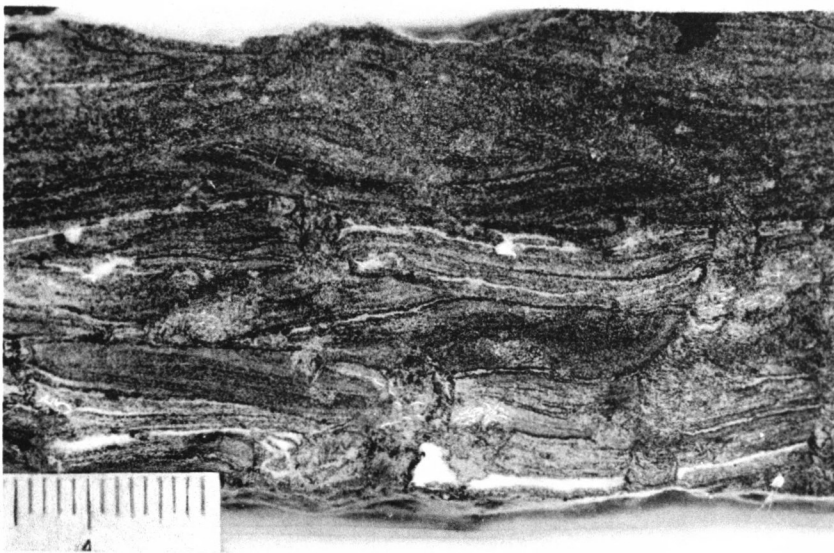


Fig. 2



Fig. 3