

## ÜBER ZEITLÜCKEN IN REZENTEN FLACHSEE-SEDIMENTEN \*)

Von HANS-ERICH REINECK, *Wilhelmsbaven*

*Mit 3 Abbildungen und 5 Tabellen*

### Zusammenfassung

Zum Begriff „Sedimentations-Geschwindigkeit“ werden zwei Unterbegriffe vorgeschlagen: „Mächtigkeitzunahme“ und „Schichtungs-Geschwindigkeit“. Die Mächtigkeitzunahme errechnet sich aus der Mächtigkeit eines Sedimentkörpers, geteilt durch die Bildungszeit. Die Schichtungs-Geschwindigkeit errechnet sich aus der Mächtigkeit einer Einzelschicht, geteilt durch die Zeit der pausenlosen Bildung dieser Schicht.

Mächtigkeitzunahme verglichen mit Schichtungs-Geschwindigkeit ergibt, daß die Schichten in Flachsee-Sedimenten vom Gezeiten-Meer nur den 1/10 000 bis 1/100 000 der Gesamtbildungszeit dokumentieren.

### Einleitung

In einer Reihe von meeresgeologischen Arbeiten sind Angaben über Sedimentations-Geschwindigkeiten rezenter Flachsee-Sedimente veröffentlicht. Die angegebenen Werte streuen nicht nur in starkem Maße, weil in der Natur verschiedene Sedimentations-Geschwindigkeiten auftreten, sondern weil in die Bildungszeit teilweise Zeiten des Stillstandes, der Umlagerung oder der Abtragung mit einbezogen werden. Das ist um so mehr der Fall, je länger der der Rechnung oder der Beobachtung zugrunde gelegte Zeitraum ist. Es erscheint daher nützlich, wenn man zunächst die Angaben über Sedimentations-Geschwindigkeiten nach der Zeitdauer gruppiert, mit der jeweils gerechnet wurde. Es lassen sich drei Gruppen bilden: Die erste Gruppe (Tab. 1) enthält Bestimmungen der Sedimentations-Geschwindigkeit nach jahrtausendlangen Zeiträumen. Diese mittlere Sedimentations-Geschwindigkeit über eine nach jahrtausenden zählenden Bildungszeit wollen wir „Mächtigkeitzunahme“ nennen. Eine zweite Gruppe (Tab. 2) umfaßt mehrjährige Beobachtungen, und eine dritte Gruppe (Tab. 3 u. 4) stützt sich auf Messungen von Tagen, Stunden oder Minuten. In dieser letzten Gruppe werden Sedimentations-Geschwindigkeiten erreicht, die sich auf z. T. nur kurzfristige Ablagerungsprozesse beziehen. Zur Unterscheidung von der Mächtigkeitzunahme sei hier von „Schichtungs-Geschwindigkeit“ gesprochen.

Die in den Tabellen angeführten Werte bieten weiterhin einen Vergleich mit fossilen, unter ähnlichen Verhältnissen abgelagerten Sedimenten, und sie geben schließlich einen Einblick, wie kurze Zeitspannen durch eine einzelne Schicht in Wahrheit dokumentiert werden.

---

\*) Vortragstitel: „Mächtigkeitzunahme rezenter Flachsee-Sedimente im Vergleich zu beobachteten Schichtungs-Geschwindigkeiten.“

**1. Sedimentations-Geschwindigkeit als Mächtigkeitzunahme**

Zur Bestimmung der Mächtigkeitzunahme rezenter Sedimente datiert man einen Horizont im Liegenden und mißt, wieviel Sediment bis zum Zeitpunkt der Untersuchung oder bis zu einem zweiten datierbaren Horizont darüber lagern. Die Bildungszeit sollte möglichst mehrere Jahrtausende umfassen. Die Mächtigkeitzunahme errechnet sich dann aus der Mächtigkeit des Sedimentkörpers, geteilt durch die Bildungszeit:

$$\text{Mächtigkeitzunahme} = \frac{\text{Mächtigkeit}}{\text{Bildungszeit}} \quad (\text{cm/Jh}).$$

Der Dividend „Mächtigkeit“ wird verringert durch Setzungs- und Abtragsverluste. Der Divisor „Bildungszeit“ wird vergrößert, weil in die Rechnung nicht nur Zeiten der Sedimentation, sondern auch Sedimentations-Pausen, Zeiten der Umlagerung und der Abtragung, eingehen. Die Verringerung des Dividenden und die Vergrößerung des Divisors haben zur Folge, daß das Ergebnis kleiner wird als die wahre Bildungsgeschwindigkeit, die wir im Untenstehenden als „Schichtungs-Geschwindigkeit“ bezeichnen werden.

Tabelle 1. Sedimentations-Geschwindigkeit als „Mächtigkeitzunahme“ von Watten- und Flachsee-Ablagerungen.

Das Mittel der Mächtigkeitzunahme liegt bei 22 cm/Jahrhundert (cm/Jh).

Ort	cm/Jh	Art der Messung	Zeitraum in Jahren	Beobachter	
a) Watt:					
Schilfwatt, Nordsee	3,03	Pollen-Analyse	1 500	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	3,7	C 14-Methode	2 150	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	4,0	C 14-Methode	2 150	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	4,2	C 14-Methode	2 150	GROHNE	1957
Schilfwatt . . . . .	7,0	Pollen-Analyse	1 500	GROHNE	1957
Main N. Y. . . . .	9,0	C 14-Methode	1 000	BRADLEY	1957
Schilfwatt, Nordsee	0,10	Pollen-Analyse	3 000	BRINKMANN	1934
Schilfwatt, Nordsee	10,0	Pollen-Analyse	1 700	GROHNE	1957
Schlickwatt, Nordsee	15,0	Pollen-Analyse	4 000	BRINKMANN	1934
Nordsee . . . . .	22,0	Pollen-Analyse	2 500	REINECK	
Nordsee . . . . .	23,3	Historische Funde	600	KRÜGER	1938
Nordsee . . . . .	30,0	C 14-Methode		VAN STRAATEN	1954
Flußwatt . . . . .	30,0	Pollen-Analyse	1 000	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	34,0	Pollen-Analyse	4 700	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	40,0	Pollen-Analyse	3 500	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	42,0	Pollen-Analyse	4 700	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	45,0	Pollen-Analyse	3 500	GROHNE	1957
Nordsee . . . . .	52,5	C 14-Methode	2 300	VAN STRAATEN	1957
Flußwatt, Nordsee	59,0	Pollen-Analyse	1 000	GROHNE	1957
b) Flachsee:					
Bucht, Ostsee . . .	10,0	Pollen-Analyse	9 000	GROSCHOFF	1938
Golf v. Texas . . .	20,0	Foraminiferen	6 900	MOORE	1955
Texas . . . . . 22,6—	140,0	C 14-Methode	9 300	SHEPARD & MOORE	1955
Delta, Mississippi .	32,0	C 14-Methode	28 000	FISK & MCFARLAN	1955
Golf v. Texas . . .	60,0	Foraminiferen	6 900	MOORE	1955
Golf v. Texas . . .	150,0	Foraminiferen	6 900	MOORE	1955

Zur Datierung dienen geschichtliche und vorgeschichtliche Funde, pollenanalytische Bestimmungen, biologische Zeitmarken, anorganische datierbare Leithorizonte und die Radio-Karbon-Methode.

Auf Tab. 1 sind die Mächtigkeitzunahmen für Watten und für Flachseeböden zusammengestellt. Für die Watten ergibt sich ein Mittelwert von 22 cm/Jh. Die Zahlenwerte für Flachseeböden liegen in ähnlicher Größenordnung.

Zum Vergleich seien die Schichten des Ems im Rheinischen Schiefergebirge herangezogen. Das Gesamtdevon umspannt einen Zeitraum von 40 bis 65 Millionen Jahre. Hiervon könnte auf das Ems etwa  $\frac{1}{9}$  der Zeit entfallen. Die Ems-Schichten haben nach freundlicher Mitteilung von Dr. RABIEN im Rheinischen Schiefergebirge eine Mächtigkeit von 1000 bis 2000 m. Aus diesen Angaben ergibt sich eine Mächtigkeitzunahme von 1,5 cm/Jh bis 5 cm/Jh. Möglicherweise war die Mächtigkeitzunahme größer, dann nämlich, wenn, wie wir vermuten, die Ems-Zeit kürzer war als  $\frac{1}{9}$  der Devon-Dauer. Aber auch nach obiger Überschlagungsrechnung liegen die Werte in einer Größenordnung, die sich mit den 22 cm/Jh der rezenten Flachsee-Sedimente vergleichen läßt.

Tabelle 2. Sedimentations-Geschwindigkeit nach mehrjährigen Messungen.  
Das Mittel für Watten liegt bei 115 cm/Jh, das für Flachsee bei 25 cm/Jh und das Mittel für Außengroden bei 40 cm/Jh.

Ort	cm/Jh	Art der Messung	Zeitraum in Jahren	Beobachter	
a) Watt:					
Nordsee . . . . .	29,0	Lotungsvergleich	38	REINECK	
Ästuar, Bretagne . .	35,0	Farbsand-Lage	2	GUILCHER	1955
Ästuar, Bretagne . .	45,0	Farbsand-Lage	2	GUILCHER	1955
Nordsee . . . . .	100,0		1,5	VAN STRAATEN	1951
Ästuar, Bretagne . .	110,0	Farbsand-Lage	2	GUILCHER	1955
Nordsee . . . . .	120,0	Farbsand-Lage	4	WOHLENBERG	1953
Ästuar, Bretagne . .	145,0	Farbsand-Lage	2	GUILCHER	1955
Nordsee . . . . .	170,0	Farbsand-Lage	4	WOHLENBERG	1953
Nordsee . . . . .	200,0	Farbsand-Lage	4	WOHLENBERG	1953
Ästuar, Bretagne . .	300,0	Farbsand-Lage	2	GUILCHER	1955
Nordsee . . . . .	350,0	Farbsand-Lage	4	WOHLENBERG	1953
Los Angeles . . . .	350,0	Farbsand-Lage	3	STEVENSON & EMERY	1958
b) Flachsee:					
Bucht, Ostsee . . .	20,0	Pollen-Analyse	2	GROSCHOFF	1938
Bucht, Ostsee . . .	25,0	Pollen-Analyse	2	GROSCHOFF	1938
Bucht, Adria . . . .	25,0	Jahresschichtung		SEIBOLD	1955
Texas . . . . .	100,0	Lotungsvergleich	65	SHEPARD	1953
Schlick i. Hafengeb- ken, Nordsee	10700,0	Peilung	7	REINECK	
c) Außengroden:					
Nordsee . . . . .	26,0	Farbsand-Lage	2	NIELSEN	1935
Nordsee . . . . .	40,0	Nivellement	47	REINECK	1956
Nordsee . . . . .	80,0	Nivellement	47	REINECK	1956

## 2. Sedimentations-Geschwindigkeit innerhalb mehrjähriger Beobachtungen

In Tab. 2 wurden die Zahlenwerte mehrjähriger Beobachtungen vereint. Es wurde gerechnet:

$$\text{Sedimentations-Geschwindigkeit} = \frac{\text{Sediment-Zuwachs}}{\text{Beobachtungszeit}} \text{ (cm/Jh).}$$

Die Zeiträume umfassen meist einige Jahre, selten mehrere Jahrzehnte. Der Sediment-Zuwachs wurde bestimmt aus dem Vergleich von Lotungsplänen oder der Lage von Farbsand-Horizonten, die zu Beginn der Messung ausgestreut wurden.

Die angeführten Zahlenwerte wurden in Tab. 2 gebietsweise gegliedert: a) Watten (mittlerer Zuwachs 110—120 cm/Jh), b) Gebiete unter ständiger Wasserbedeckung (Mittel 25 cm/Jh) und c) Außengroden (= Gebiete, die nur bei Sturmfluten unter Wasser geraten und dabei Zuwachs erhalten) (40 cm/Jh). Gegenüber den Werten der Mächtigkeitzunahme sind diese Werte höher; denn es fehlt die Zeit für Setzungsbeträge, es fehlen langfristige Sedimentations-Schwankungen. Zudem werden viele Messungen (vor allem die Farbsand-Horizontierungen) nur auf Flächenteilen durchgeführt, die nicht abgetragen werden. In Gebieten mit größeren Umlagerungen müssen jedoch große Flächenmittel herangezogen werden, damit flächenhaft verteilter Zuwachs und Abtrag im richtigen Verhältnis erfaßt werden.

Ein größeres Flächenmittel liegt dem Wert „Watt, Nordsee... 29 cm/Jh“, Tab. 2, zugrunde. Es wurden hierzu die Vermessungen<sup>1)</sup> des 184 km<sup>2</sup> großen Jadebusens herangezogen. und aus dem Vergleich der Flächenmittel zwischen den Jahren 1887 und 1925 der mittlere Aufwuchs errechnet.

## 3. Sedimentations-Geschwindigkeiten innerhalb Kurzzeit-Messungen, „Schichtungs-Geschwindigkeit“

Die Ergebnisse der Kurzzeitmessungen sind in Tab. 3 zusammengestellt. Es handelt sich um Messungen, die sich über den Zeitraum von wenigen Tagen erstrecken. Da weder Abtrag noch längerer Stillstand in die Messungen eingehen, sind die Sedimentations-Geschwindigkeiten sehr hoch, dafür dauern sie auch immer nur kurze Zeit an. Ein Strandstreifen z. B. (Messungen von THOMPSON) wird in wenigen Wochen bis zu einer bestimmten Höhe aufgetragen. Danach erfolgt Stillstand oder Abtragung; denn sobald eine bestimmte Höhe des Aufwuchses erreicht ist, erlöschen entweder die Auftragungskräfte, oder die einsetzende Abtragung hält der Auftragung die Waage.

Während die Sedimentations-Geschwindigkeit der Kurzzeit-Messungen noch einen „unreinen“ Wert darstellt, bezieht sich die Schichtungs-Geschwindigkeit ausschließlich auf Sedimentations-Zeiten. Diese Zeiten können bei den unruhigen und zugleich lebhaften Verhältnissen der Flachsee bis zur Minutenkurze hinabgehen.

<sup>1)</sup> Die Unterlagen verdanke ich dem Wasser- und Schiffsamt, Wilhelmshaven.

Tabelle 3. Sedimentations-Geschwindigkeiten nach Kurzzeit-Messungen.

Ort/Schichtungsart	cm/Jh	cm/Tag	Art der Messung	Zeitraum in Tagen	Beobachter	
Sandstrand, Californien	$1,75 \times 10^5$	4,8	Pflock	7	THOMPSON	1937
Sandstrand, Californien	$9,55 \times 10^4$	2,6	Pflock	8	THOMPSON	1937
Watt, Nordsee Gezeitschichten	$1,45 \times 10^4$	0,4	Zählung		REINECK	
Schlickwatt, Nordsee	$1,84 \times 10^8$	0,5	Farbsand-Lage	8	WOHLENBERG	1953

Die Schichtungs-Geschwindigkeit gibt den Aufwuchs einer Einzelschicht pro Zeiteinheit an. Als Dimension wurde in Tab. 4 cm/Tag gewählt. Entsprechend ihrer „Reinheit“, ausschließlich Sedimentations-Zeiten zu erfassen, ist die Schichtungs-Geschwindigkeit bis zu mehreren Zehnerpotenzen größer als alle anders ermittelten Sedimentations-Geschwindigkeiten.

Tabelle 4. Sedimentations-Geschwindigkeit als „Schichtungs-Geschwindigkeit“.

Schichtungsart	cm/Jh	cm/Tag	Art der Messung	Beobachter
Rippeln bei 30 cm/sec Strömung . . . . .	$1,75 \times 10^7$	480,0	Labor-Versuch	REINECK
Sanddecke bei 90 bis 100 cm/sec Strömung . .	$2,10 \times 10^8$	5760,0	Labor-Versuch	REINECK
Schlickschichten in feinblättriger Gezeitschichtung	$8,76 \times 10^4$	2,4	Zählung	REINECK
Tonige Flasern in der Flaserschichtung . . . .	$8,76 \times 10^4$ bis $10^6$	2,4 bis 24,0	Messung in der Natur	REINECK

Für Schichten, die über die ganze Fläche ihrer horizontalen Erstreckung gleichzeitig oder fast gleichzeitig aufwachsen, wird die Schichtungs-Geschwindigkeit wie folgt errechnet:

$$\text{Schichtungs-Geschwindigkeit} = \frac{\text{Schichtmächtigkeit}}{\text{Bildungszeit}} \text{ (cm/Tag).}$$

Schwieriger ist die Angabe der Schichtungs-Geschwindigkeit bei Sedimentmassen, die über den Boden wandern. Hier wird das Sediment weder als Suspension herangeführt noch fällt es aus einer Lösung aus. Bei Rippelschichten z. B. wandert das Material als Rippeln heran. Die Rippelschichten selber wachsen in senkrechter und waagerechter Richtung.

Betrachten wir zur Veranschaulichung zwei Beispiele:

Beispiel 1: Eine Sanddecke bewege sich als einlagiges Rippelfeld voran. Der größtmögliche Aufwuchs an einem Beobachtungspunkt, der zunächst unmittelbar vor der Wanderfront der Sanddecke liegen soll, ist schon dann vollzogen, wenn die erste Rippel diesen Punkt erreicht hat. Keine der weiteren heranrückenden und vorbeiwandernden Rippeln bringt einen weiteren Aufwuchs. Als „Sedimentations“-Zeit einer Rippel, die in einem Handstück vorliegt, müßte die Wanderzeit gerechnet werden, die eine Rippel braucht, um in das Gesichtsfeld willkürlich gewählter Größe des Betrachters einzuwandern.

Beispiel 2: Ein Rippelfeld bewege sich am Beobachtungspunkt vorbei und hinterlasse zugleich Rippelschichten. Rippelschichten hinterlassen heißt, daß von jeder Rippel mit den darin befindlichen Lee- oder Schrägläutern der untere Teil verbleibt. Der obere Teil wird abgetragen (REINECK 1959 a, b). Die Mächtigkeit einer Rippelschicht ist zwar dann festgelegt, wenn die im nachfolgenden Rippeltal wirkende und abtragende Walze darüber hinweggegangen ist, in waagerechter Wanderrichtung kann aber die Rippelschicht noch viele Dezimeter weiterwachsen. Wegen des waagerechten Wachstums muß hier wie in Beispiel 1 eine Streckenlänge festgelegt werden. Die Wachstumszeit für diese willkürlich festgelegte Streckenlänge wird zur Berechnung der senkrecht gemessenen Schichtungs-Geschwindigkeit verwendet. Als Streckenlänge haben wir 10 cm gewählt, um in der Größe eines Handstückes oder eines Bohrkernes zu bleiben, an Hand deren vielfach die Frage nach der Bildungszeit gestellt und beantwortet wird.

Die Schichtungs-Geschwindigkeit von Rippeln und Rippelschichten wurde daher wie folgt gemessen und berechnet:

$$\text{Schichtungs-Geschwindigkeit} = \frac{\text{Mächtigkeit einer Rippelschicht}}{\text{Wachstumszeit für 10 cm, gemessen in Wanderrichtung}} \quad (\text{cm/Tag}).$$

Die gleiche Streckenlänge von 10 cm wurde auch in Tab. 5 für die Messungen der Wandergeschwindigkeit von Kleinrippeln angegeben. Da die Rippeltäler ebenso schnell wie die Rippelkämme wandern (mit ihnen die Grundwalzen, die in den Tälern die Rippelschichten auf die endgültige Mächtigkeit herunterfräsen), können diese Zeiten auch für die Bildung der Rippelschichten verwendet werden.

Tabelle 5. Wandergeschwindigkeiten von Kleinrippeln, ermittelt an Feinsand. Rippelhöhen 2—4 cm, Rippellängen 8—15 cm. Die Mächtigkeit entstehender Rippelschichten betrug 0,2—4 cm, durchschnittlich 1 cm.

Mächtigkeit pro Rippelschicht	Wanderzeit für 10 cm Vormarsch	Strömungsgeschwindigkeit cm/sec
0,2—(4) cm	39"	60
∅ 1 cm	2'	35
	2' 48"	30—35
	46'	25—30
	5 h	20

In Tab. 4 wurde die Schichtungs-Geschwindigkeit von Kleinrippeln bei einer Strömung von 30 cm/sec angeführt, weil 30 cm/sec auf den Watt-

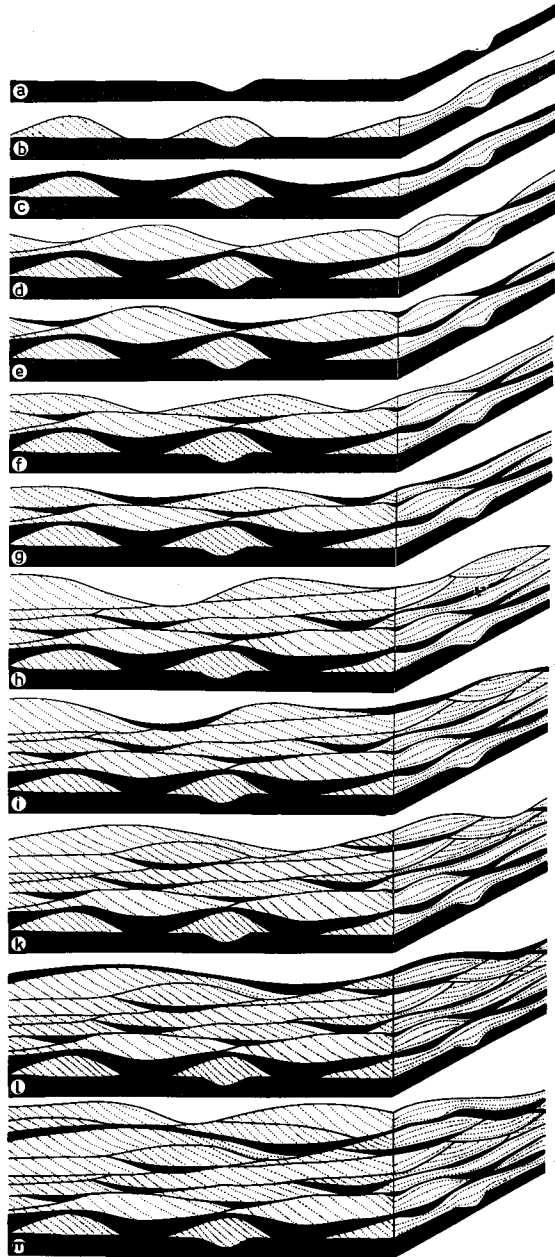


Abb. 1. Bildung von Linsen- und Flaserschichten bei mehrfachem Wechsel von Strömung (= Sandtransport in Rippelform) mit Ruhigwasser (= Schlack- oder Schlammabsatz). Strömung immer nach rechts. Aufbau des Profils von oben nach unten dargestellt. Schnittführung senkrecht zum Rippelstreichen, rechtes Drittel parallel zum Rippelstreichen. (Aus REINECK, 1959 b).

flächen die übliche Maximalgeschwindigkeit darstellen (KÖRITZ 1956). Bei der Strömungsgeschwindigkeit von 30 cm/sec dauert der Vormarsch von Kleinrippeln und damit die Entstehung von Rippelschichten für 10 cm etwa 3 min (gemessen wurden 2' 48'' laut Tab. 5). Als Schichtmächtigkeit der dabei entstehenden Rippelschichten kann 1 cm als häufig angesetzt werden. 1 cm Rippelschicht in 3 min (bei 10 cm Längenwachstum) wurde in Tab. 4 übernommen = 480 cm/Tag.

Um das Zehnfache schneller ist die Schichtungs-Geschwindigkeit von Sanddecken bei Strömungs-Geschwindigkeit über 90 cm/sec, also über der kritischen Geschwindigkeit für Kleinrippeln. In Tab. 4 wird hierfür ein Wert von 5760 cm/Tag angegeben. Doch stammt dieser Wert wie die Zahlenwerte über die Wandergeschwindigkeiten von Kleinrippeln nur Vorversuchen im Labor und nicht umfassenden Meßreihen, wie es wünschenswert wäre. Andererseits ergaben Beobachtungen in der Natur keine Abweichungen von der Größenordnung der in Laborversuchen gewonnenen Werte.

Zur Schichtungs-Geschwindigkeit für Schlickschichten innerhalb der feinblättrigen Gezeitenschichtung führt folgende Überlegung: Nach LÜDERS (1930) wird in der Gezeitenschichtung eine Schlickschicht in der Zeit des Stromkerns zwischen Ebbe und Flut oder Flut und Ebbe abgesetzt. Diese Zeit kann man grob mit 1 Std. ansetzen (vgl. Messungen KÖRITZ 1956). Die Mächtigkeit einer Schlickschicht in der feinblättrigen Gezeitenschichtung beträgt vielfach 1 mm. So ergibt sich eine Schichtungs-Geschwindigkeit von 1 mm/Std. = 24 mm/Tag. Die vielfach etwas mächtigeren tonigen Fläsern der Flaserschichten können sich gleichfalls nur beim Stromkern, also auch innerhalb einer Stunde, absetzen (vgl. Erl. zu Abb. 1 und 2).

#### 4. Die Größenordnung der Zeitlücken

Sowohl die Mächtigkeitszunahme wie die Schichtungs-Geschwindigkeit lassen sich am gleichen Sedimentkörper messen; dennoch sind sie nicht miteinander vergleichbar.

---

Abb. 2. Entstehung von Flaserschichten bei laufendem Wechsel Flutstrom — Stauwasser — Ebbstrom — Stauwasser usw. Pfeile geben die jeweilige Stromrichtung an. Durch den Wechsel der Strom- und Transportrichtung entsteht das für Gezeitenbereiche typische gegensinnige Einfallen der Schräglätter innerhalb der Rippeln und Rippelschichten. In den Wattenschichten kommen aber auch viele Ausnahmen mit einsinnigem Einfallen der Schräglätter vor (vgl. Abb. 1). Aufwuchs der Schichten von oben nach unten dargestellt. Schnittführung senkrecht zum Rippelstreichen, rechtes Drittel parallel zum Rippelstreichen. a) Strömung nach rechts — Strömungsrippeln beginnen sich gegenseitig zu überwandern. Pro Ebbe oder Flutstrom-Dauer stehen 2—4 Std. zur Verfügung. b) Stauwasser-Absatz von Schlick in den Rippeltälern. Grober Richtwert für die zur Verfügung stehende Zeit: 1 Std. c) Strömung nach links — wandernde Strömungsrippeln mit Erosionsdiskordanz gegen die liegenden Schichten: gekappte Rippeln, gekappte Schlickfläsern. d) Stauwasser — erneuter Schlickfall. In Profilmitte entsteht eine Vergabelung der Schlickfläsern durch Kontakt von älterem mit jungem Schlickabsatz. e—m führen den Wechsel Flutstrom — Stauwasser — Ebbstrom weiter durch. (Aus REINECK, 1959 b.)



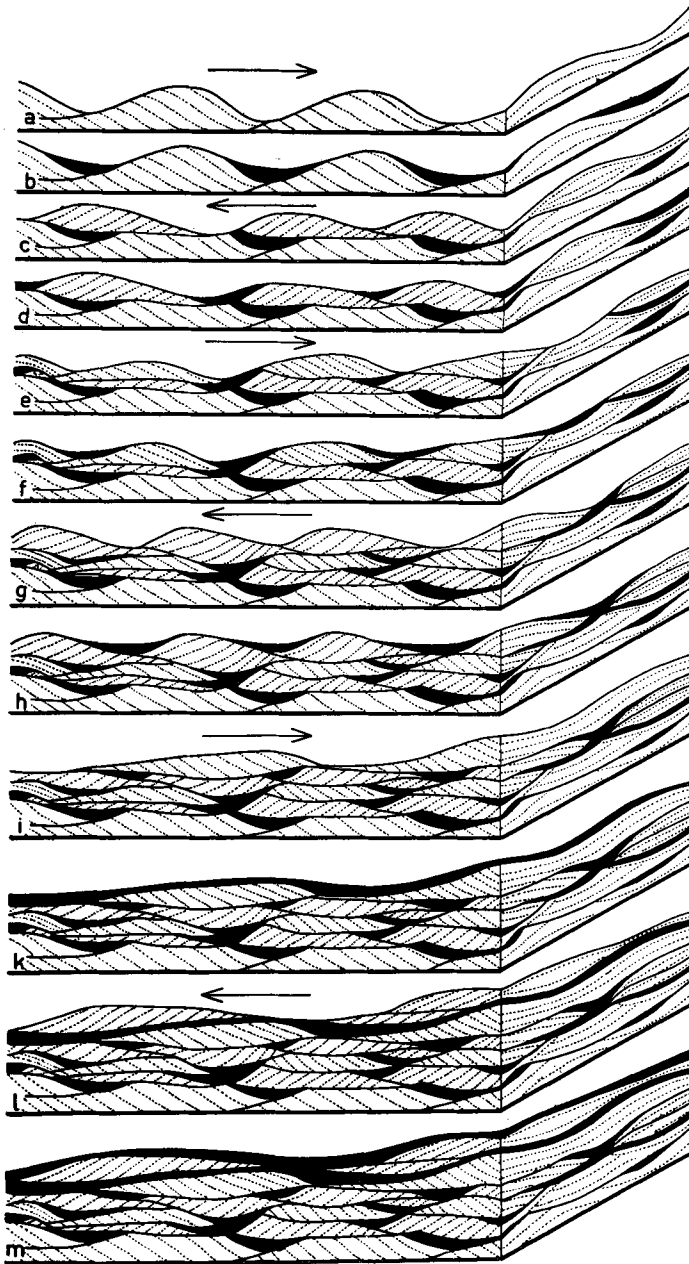


Abb. 2 (Legende nebenstehend)

Außer zur Veranschaulichung wäre es sinnlos, aus der Mächtigkeitzunahme den Aufwuchs der Watten pro Tide errechnen zu wollen. Wir erhielten aus der mittleren Mächtigkeitzunahme von 22 cm/Jh, umgerechnet auf eine Tide, einen Aufwuchs von 0,003 mm. VAN STRAATEN 1951 kommt mit ähnlicher Rechnung auf 0,007 mm pro Tide. Ein einziges Feinsandkorn würde diesen „Sollbetrag“ pro Tide schon um das 10- bis 30fache übersteigen! Dabei werden aber pro Tide oft mehrere Zentimeter bis Dezimeter abgelagert. Die gleiche Unmöglichkeit ist dem Versuch beschieden, Sedimentations-Beträge der Schichtungs-Geschwindigkeit auf die Gesamtzeit der Wattenbildung umzurechnen. Es entstünden Gebirge. Die Spalten 2 in den Tab. 3 und 4 mit Angabe der Schichtungs-Geschwindigkeit in cm/Jh sind lediglich zum Vergleich mit den Angaben der Mächtigkeitzunahme eingesetzt worden.

Wir werden aber dennoch die beiden diametralen Sedimentations-Geschwindigkeiten vergleichen, um uns an der klaffenden Lücke zwischen beiden Angaben die Größe der Zeitlücken in Flachsee-Sedimenten vorstellen zu können.

Zu diesem Vergleich erscheint die Flaserschichtung besonders geeignet. Sie ist in den Wattenschichten weit verbreitet, ihre Schichtungs-Geschwindigkeit ist langsamer als die der Rippelschichtung, aber schneller als die der Schlickschichtung, damit also ein annehmbares Mittel; und sie ist auch fossil häufig. Zur Bestimmung der Schichtungs-Geschwindigkeit müssen wir auf ihren Aufbau und auf ihre Entstehung verweisen.

Sie besteht aus sandiger, oft linsig geformter, rippelgeschichteter Grundmasse, die durchzogen ist von dünnen, meist flachwellig gebogenen, im seitlichen Verlauf oft vergabelnden Schlicklagen. Ihre Entstehung demonstriert Abb. 1 und 2. Ausgangsform der Sandlagen und -linsen sind Rippeln oder Rippelschichten, Ausgangsformen der Fläsern sind Schlick- oder Schlammansammlungen auf Rippelfeldern.

Aus der oben angeführten Schichtungs-Geschwindigkeit der Flaserschichtungs-Elemente, Rippelschichten und Schlickabsätze, kann die Bildungszeit eines Profils von Flaserschichten errechnet werden. Dies soll am Beispiel des Stückes von Abb. 3 geschehen. Dort entfallen auf 5 cm Profil 23 Sand- und 23 Schlickschichten. Jede der Sandschichten stellt eine Rippelschicht dar und wird bei den auf den Watten herrschenden Strömungs-Geschwindigkeiten in 3 min gebildet. Selbst 100fach schnellere oder langsamere Bildung würde das Endergebnis unserer Rechnung nicht beeinflussen. Bildungszeit der 23 Sandschichten =  $23 \times 3 \text{ min} = 46 \text{ min}$ . Jede der Schlickschichten braucht im Watt 1 Std. (s. S. 156); Bildungszeit der 23 Schlickschichten =  $23 \times 1 \text{ Std.} = 23 \text{ Std.}$  Bildungszeit aller Schichten = 23 Std. 46 min. Somit wurde 1 cm Flaserschichten in  $\frac{1}{5}$  der Zeit = 4 Std. 45 min, abgerundet in 5 Std., abgelagert. Ähnliche Ergebnisse erhalten wir, gleichgültig, ob die Rechnung an Flaserschichten des Karbons oder des rezenten Watts vorgenommen wird; denn wir legen für alle Rechnungen die Verhältnisse des rezenten Watts zugrunde. Ein Fehler in der Zeitrechnung könnte aber nur in der Bildungsdauer der tonigen Schichten, der Fläsern, stecken, da sie sich unter anderen Verhältnissen auch in längeren Zeiträumen ablagern können. Der Sand hingegen braucht immer bestimmte Strömungsgeschwindigkeiten, um als Rippeln zu wandern, so daß „rezente Zahlenwerte“ berechtigt sind.

Gegenüber einer Bildungszeit von 5 Std. für 1 cm Flaserschichtung — wie aus der Schichtungs-Geschwindigkeit der Einzelemente unserer Flaserschichtung hervorgeht — entfallen auf den gleichen Zentimeter nach der Mächtigkeitszunahme von 22 cm/Jh im Watt 4,5 Jahre, im Falle des Ems mit seinen Flaserschichten entfallen auf den Zentimeter 20—66,6 Jahre. Diese Zeiträume sind um 4—5 Zehnerpotenzen länger als die reine Bildungszeit.

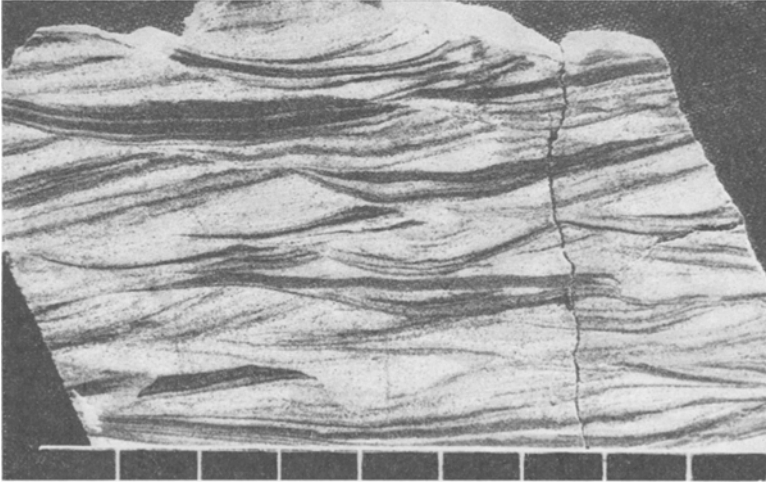


Abb. 3. Flaserschichten aus dem Ems des Rheinischen Schiefergebirges. Das Handstück verdanke ich Dr. RABIEN, Wiesbaden. Strichabstand = 1 cm.

Der Vergleich Schichtungs-Geschwindigkeit mit Mächtigkeitszunahme zeigt also, daß in einem Flachsee-Gestein u. U. nur 1/10 000 bis 1/100 000 des darauf entfallenden Zeitraumes von sichtbaren Schichten dokumentiert wird.

### 5. Das Geschehen in den Zeitlücken

Bei der Größe der Zeitlücken erhebt sich die Frage nach dem Geschehen in diesen Lücken. Für das Watt läßt sich das nichtdokumentierte Geschehen überschlägig aufschlüsseln. Dort liegt die obere Hälfte  $2 \times 6$  Std. = 12 Std. lang täglich trocken, das entspricht einer ebenso langen Sedimentations-Pause. In die übrigen 12 Std. Wasserbedeckung fallen Umlagerungen mit Abtragung und Auftragung und geringe Sedimentations-Pausen. Die Verhältnisse eines Tages können natürlich auch auf längere Zeiten übertragen werden: Nach der obigen Feststellung von 22 cm/Jh Mächtigkeitszunahme wächst das Watt mit der gleichen Geschwindigkeit auf, als kämen alle 4,5 Jahre 1 cm hinzu. Andererseits haben wir errechnet, daß der gleiche Zentimeter mit der Schichtungs-Geschwindigkeit der Flaser-

schichtung nur 5 Std. zu seiner Bildung braucht. Da das Watt über die Hälfte der Zeit trocken liegt, nehmen die Sedimentations-Pausen auch innerhalb der 4,5 Jahre über 50% ein. Die restliche Zeit wird von Umlagerungen (Sedimentation und Abtragung) ausgefüllt, und nur das Werk von 5 Std. (= 0,01% der Zeit) bleibt aus diesem Geschehen des Auf und Ab erhalten.

Gebiete unter Wattenniveau haben geringere Sedimentations-Pausen; dort fehlt die Trockenliege-Zeit. Dafür steigt die Umlagerungszeit an. Die Rolle der Umlagerungen in bezug auf die letztlich erhaltene Sediment-Säule hat R. RICHTER (1936, S. 225) hervorgehoben. Er sei zum Abschluß zitiert: „Dieselbe Stoff-Menge ist dann also nacheinander in vielen Generationen von ‚Sedimenten‘ und ‚Schichten‘ erschienen, deren jede genau so ‚dagewesen‘ ist wie die heutige Schicht auf dem Meeresgrund oder wie die fossile im Gestein . . . Hier ist das Sichtbare der Schein, der uns nicht trügen darf; und das Unsichtbare enthält die Wirklichkeit, die wir wieder herstellen müssen.“

### Schriften

- BRADLEY, W. H.: Physical and ecological features of the Sagadahoc Bay, Tidal flat, Georgetown, Main. Mem. geol. soc. Amer., **67**, p. 641—682, New York 1957. — BRINKMANN, P.: Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder NW-Deutschlands. III. Das Gebiet der Jade. Englers Bot. Jb., **46**, S. 369—445, 1934. — FISK, H. N., & MCFARLAN, E. (jr.): Late quaternary deltaic deposits of the Mississippi River. Local sedimentation and basin tectonic. Geol. soc. Amer., Spec. paper, **62**, p. 279—302, 1955. — GROHNE, U.: Zur Entwicklungsgeschichte des ostfriesischen Küstengebietes auf Grund botanischer Untersuchungen. Probleme Küstenforsch. südl. Nordseegebiet, **6**, 48 S., Hildesheim 1957. — GROSCHOPF, P.: Physikalisch-chemische Beobachtungen zur Sedimentdiagenese an Postglazialsedimenten der Eckernförder Bucht (Ostsee). Geol. Rdsch., **29**, S. 307—315, Stuttgart 1938. — GUILCHER, A.: La sédimentation vaseuse dans les estuaires de Bretagne occidentale. Geol. Rdsch., **43**, S. 398 bis 401, Stuttgart 1955. — KÖRITZ, D.: Hydrometrische Untersuchungen auf dem Wurster Watt zwischen Weddewarden und Solthörner Buhne. Forschungsstelle Norderney, J. Ber. 1956, **8**, S. 99—120, Norderney 1957. — KRÜGER, W.: Die Küstensenkung an der Jade. Bauingenieur, Z. Ges. Bauwesen, **19**, S. 1—9, Berlin 1938. — LÜDERS, K.: Entstehung der Gezeitschichtung auf den Watten im Jadebusen. Senckenbergiana, **12**, S. 229—254, Frankfurt a. M. 1930. — MOORE, D. G.: Rate of deposition shown by relative abundance of foraminifera. Bull. Amer. assoc. petrol. geol., **39**, p. 1594—1600, La Jolla 1955. NIELSEN, N.: Eine Methode zur exakten Sedimentationsmessung. Studien über die Marschbildung auf der Halbinsel Skalling. Medd. Danske Videnskab. Selskab.; Biolog. Medd., **12**, 4, 97 S., Kopenhagen 1935. — REINECK, H.-E.: Der Wattenboden und das Leben im Wattenboden. Natur und Volk, **8**, S. 268—284, Frankfurt a. M. 1956. — Sedimentbewegungen an wandernden und stationären Klein-Rippeln. Senck. leth., im Druck (1959 a). — Über die Entstehung von Linsen- und Flaserschichten. Freiburger Forschungshefte, im Druck (1959 b). — RICHTER, R.: Marken und Spuren im Hunsrück-Schiefer. II. Schichtung und Grund-Leben. Senckenbergiana, **18**, S. 215—244, Frankfurt a. M. 1936. — SEIBOLD, E.: Rezente Jahresschichtung in der Adria. N. Jb., Geol. Paläontol. 1955, S. 11—13, Stuttgart 1955. — SHEPARD, F. P.: Sedimentation rates in Texas estuaries and

lagoons. Bull. Amer. Assoc. petrol. geol., 37, p. 1919—1934, Tulsa 1953. — SHEPARD, F. P., & MOORE, D. G.: Central Texas coast sedimentation: Characteristics of sedimentary environment, recent history, and diagenesis. Bull. Amer. Assoc. petrol. geol., 39, p. 1464—1593, Tulsa 1955. — STEVENSON, R. E., & EMERY, K. O.: Marshlands at Newport Bay, California. Allan Hancock Foundation Publ., 20, p. 1—109, Los Angeles, Calif., 1958. — STRAATEN, L. M. U., VAN: Texture and genesis of Dutch Wadden Sea sediments. Proc. 3. intern. Congr. Sedimentology, Groningen-Wageningen, Netherlands, S. 225—244, Niederlande 1951. — Sedimentology of recent tidal flat deposits and the psammites du Condroz (Devonian). Geol. Mijnbouw, n. s., 16, S. 25—47, 1954. — The excavation at Velsen, general introduction. The Holocene deposits. Verh. Kon. Nederl. Geol. Mijnbouw. Genootsch., Geol. S., 17, S. 93—99 und S. 158—183, 1957. — THOMPSON, W. O.: Original structures of beaches, bars and dunes. Bull. geol. soc. Amer., 48, p. 723—752, New York 1937. — WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste, 2 (1953), S. 33—94, Heide in Holstein 1954.

## PALEOMAGNETIC DATING OF YOUNGER VOLCANIC SERIES

By M. G. RUTTEN, Utrecht

With 1 Table

### Zusammenfassung

Paläomagnetische Datierung junger Ergußgesteine stützt sich auf den thermoremanenten Magnetismus dieser Gesteine. Hierdurch wird der wiederholte Umschlag des erdmagnetischen Feldes über 180° festgelegt. Es bleiben bei dieser Art Untersuchungen die langfristigen Verschiebungen des magnetischen Poles außer Betrachtung.

Die magnetische Orientierung junger Ergußgesteine, entweder N(ormal) oder R(eversed), läßt sich im Terrain mit einem geologischen Kompaß meistens festlegen. Hieraus folgt eine einfache Methode zur Charakterisierung junger Ergußgesteine, welche jedem Geologen, der in vulkanischem Gebiet arbeitet, eine Stütze sein kann. Die Methode darf aber nur in Zusammenhang mit geologischen Kartierarbeiten angewandt werden, da sonst leicht Fehlschlüsse gezogen werden können.

Die paläomagnetische Stratigraphie stützt sich bis jetzt nur auf genaue Untersuchungen an geologisch datierten Ergußgesteinen in der Auvergne seitens des französischen Physikers A. ROCHE. Voraussichtlich wird diese Methode in den kommenden Jahren große Erfolge erzielen.

### Summary

Paleomagnetic dating of younger volcanic series is based on the thermoremanent magnetism of these rocks. This fossilises the periodic reversals of the earth's magnetic field over 180°. The slower a-periodic drifting of the magnetic pole is not considered.

Magnetic orientation of younger extrusive rocks, either N(ormal) or R(eversed), can normally be measured in the field with a geologic hand compass. This gives