

## Die obermiozäne Fossil-Lagerstätte Sandelzhausen. 7. Über die Einregelung der Fossilien

VON REINHARD HEROLD und ABDEL HAMID IBRAHIM<sup>1)</sup>

Mit 2 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Von etwa 400 Wirbeltierknochen und Astfragmenten aus der Fossilfundstelle Sandelzhausen (Niederbayern) wird die Orientierung der Längsachsen in Lagekugeldiagrammen und Streichrichtungsrosen dargestellt. Nach dem Signifikanztest lassen sich die Maxima in den Streichrichtungsrosen als zufällige Häufungen von Achsenrichtungen deuten. Während die Knochenreste regellos in allen Streichrichtungen im Sediment liegen, sind die Astfragmente bevorzugt nach NNE-SSW ausgerichtet. Die Richtungsverteilungen der Fossilachsen werden durch Parameter gekennzeichnet, die genetisch gedeutet werden: Die mittlere Streichrichtung aller Fossilachsen weist auf einen NNE-SSW verlaufenden Abschnitt einer Flußrinne hin, die unterschiedliche Neigung der Fossilachsen läßt auf postsedimentäre Deformation der Ablagerungen schließen.

Summary

The orientation of the long axes of about 400 vertebrate bones and branch fragments in the fossil locality of Sandelzhausen (Lower Bavaria) are represented in point diagrams and rose diagrams. Significance tests show that the maxima in the rose diagrams can be caused by random cumulative fluctuations. Whereas the bones are scattered in all directions, the branch fragments are preferably aligned to NNE-SSW. The direction distributions of fossil axes are characterized by parameters, which are interpreted genetically: the mean strike direction of all fossil axes seem to indicate a NNE or SSW course of a river channel; the different inclination of the axes can be referred to postsedimentary deformation of the deposits.

### Einleitung

Durch die Grabungsarbeiten an der Fossilfundstelle Sandelzhausen liegen über die Orientierung der Fossilien zahlreiche Meßdaten vor. Ziel der statistischen Analyse der Fossil-Einregelung ist es, zusammen mit paläontologischen, ökologischen und

<sup>1)</sup> Dipl.-Geol. Dr. R. HEROLD, Institut für allgemeine und angewandte Geologie der Universität, 8 München 2, Luisenstr. 37. Dipl.-Geol. A. H. IBRAHIM, Institut für Paläontologie und historische Geologie der Universität, 8 München 2, Richard-Wagner-Straße 10.

sedimentologischen Untersuchungen das Ablagerungsmilieu und die geologischen Vorgänge zu erforschen, die zur Entstehung der Fossil-Lagerstätte geführt haben.

Nach einer ersten Auswertung der Daten mit den herkömmlichen graphischen Methoden der Gefügestatistik ergab sich die Schwierigkeit, daß sich die Häufigkeitsmaxima in den Richtungsverteilungen nicht eindeutig beurteilen lassen: Einerseits kann man diese Maxima auf eine bevorzugte Einregelung der Achsen zurückführen, andererseits treten Maxima auch bei völlig regellos verteilten Achsenrichtungen infolge zufälliger Häufigkeitsschwankungen auf. Von einer bevorzugten Einregelung wird man erst dann sprechen, wenn das beobachtete Maximum so stark ausgeprägt ist, daß die Möglichkeit eines zufälligen Maximums ausgeschlossen werden kann. Für die genetische Interpretation muß daher die Qualität der Maxima durch ein exaktes mathematisch-statistisches Verfahren, den Signifikanztest, geprüft werden.

Zur vollständigen Beschreibung der statistischen Daten ist außerdem notwendig, die Richtungsverteilungen durch Parameter zu kennzeichnen. Die hier angewendeten mathematisch-statistischen Methoden sind in der Geologie und Paläontologie kaum bekannt; daher sollen sie am Beispiel der vorliegenden Meßwerte erläutert werden.

## Datenerfassung

Vorliegende 397 Einregelungsdaten wurden von Herrn Dipl.-Geol. Dr. H. GALL und Mitarbeitern in einem Planum von etwa  $7 \times 10$  m und in einem Sedimentprofil von 1,5 m durchschnittlicher Mächtigkeit ermittelt. Bei der Freilegung der Fossilien wurden von allen deutlich axialen Objekten Streichen und Eintauchen der Längsachse gemessen. Form und Lage der Fossilien wurden in Schichtplänen, die über jedes Planquadrat von  $1 \times 1$  m geführt wurden, im Maßstab 1:20 eingezeichnet (FAHLBUSCH et al. 1970). Neben den skizzierten Objekten wurden die Meßdaten ihrer Raumrichtung vermerkt.

Meßobjekte waren meist gerade Knochenstücke; teilweise waren sie einseitig oder an beiden Enden verdickt, wie Kiefernstücke oder Knochen mit Gelenkköpfen. Bei bogenförmigen Knochen, z. B. Rippen, wurde die Richtung der Verbindungsgeraden zwischen den Enden eingemessen. Bei gewinkelten Knochen wurden manchmal zwei Richtungen angegeben, ebenso bei Knochen, die auseinandergebrochen waren und deren Teilstücke verschiedene Orientierung aufwiesen. Die größten Objekte waren meterlange Astfragmente. Bei der Auswertung der Meßdaten muß also berücksichtigt werden, daß die gemessenen Objekte in Bezug auf Größe und Habitus sehr heterogen waren.

## Methoden der graphischen Darstellung und statistischen Analyse

Zunächst wurden die Meßwerte nach ihrer Schichtzugehörigkeit aufgelistet. Die Raumrichtungen der Fossilachsen wurden dann in Lagekugeldiagrammen dargestellt, und zwar als flächentreue Projektion der Achsendurchstoßpunkte auf der unteren Lagenhalbkugel.

Bei der statistischen Analyse der Fossil-Einregelung wurden Streichen und Eintauchen der Achsen getrennt untersucht.

Die Streichrichtungsverteilungen sind als Streichrichtungsrosen in Polygondarstellung abgebildet, wobei die Häufigkeiten in den Richtungsintervallen  $1-10^\circ$ ,  $11-20^\circ$ , ...  $171-180^\circ$  auf den Strahlen  $10^\circ/190^\circ$ <sup>2)</sup>,  $20^\circ/200^\circ$ , ...  $180^\circ/0^\circ$  abgetragen sind. Der Maßstab ist in der Weise festgelegt, daß der Radius des Umfaskungskreises der Besetzungszahl des Hauptmaximums entspricht.

Um in den Streichrichtungsrosen signifikante Maxima von möglicherweise zufallsbedingten Maxima zu unterscheiden, führt man den Signifikanztest durch. Dazu nimmt man an, daß alle Maxima nur zufällig vorhanden sind, und daß die Achsen willkürlich in jeder beliebigen Streichrichtung auftreten können. Die beobachteten Maxima werden nun nach der Wahrscheinlichkeit bewertet, mit der die Maximalhäufigkeiten in einer statistisch gleichmäßigen Richtungsverteilung zu erwarten sind. Als Kriterium für ein signifikantes, d. h. nicht zufälliges Maximum wird hier ein Erwartungswert  $E$  von weniger als 0,01 angesehen; er entspricht einer Zufalls- oder Irrtumswahrscheinlichkeit von  $w < 1/100$ .

Das Verfahren zur Berechnung des Erwartungswertes soll hier an einem Beispiel vorgeführt werden:

Die Wahrscheinlichkeitsrechnungen gehen von der Formel für die Binominalverteilung aus:

$$p(h) = \binom{N}{h} \cdot p^h \cdot (1-p)^{N-h}$$

Darin bedeuten:  $p(h)$  die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses, daß  $h$  Achsen in bestimmten Richtungsklassen auftreten,  $h$  die Häufigkeit innerhalb dieser Richtungsklassen,  $\binom{N}{h}$  der Binominalkoeffizient und  $p$  die angenommene Wahrscheinlichkeit, mit der eine Achse in eine der betrachteten Richtungsklassen fällt; bei gleichmäßigen Richtungsverteilungen ist  $p = \frac{m}{k}$ , wobei  $m$  die Anzahl der Richtungsklassen, die das Maximum umfaßt, und  $k$  die Gesamtzahl der Klassen einer Richtungsverteilung bezeichnet.

Die Binominalverteilungen wurden mit einem elektronischen Tischrechner auf 8 Dezimalstellen ausgerechnet. Die Rechenarbeit mit 8 Dezimalstellen war notwendig, um dem Effekt der Fehlerfortpflanzung entgegenzuwirken und um so ein auf 5 Dezimalstellen genaues Ergebnis zu erhalten.

Beispielsweise ist die Gesamtzahl der Meßdaten von Schicht C 88, die Richtungsrose (Abb. 2) ist in 18 Klassen unterteilt und das Maximum bei  $0^\circ/180^\circ$  beschränkt sich auf nur eine Richtungsklasse; also sind  $N = 88$ ,  $k = 18$ ,  $m = 1$ ,  $p = \frac{m}{k} = \frac{1}{18}$ .

Die Binominalverteilung lautet dann:  $p(h) = \binom{88}{h} \cdot \left(\frac{1}{18}\right)^h \cdot \left(\frac{17}{18}\right)^{88-h}$ .

Zunächst wird die Wahrscheinlichkeit für den Fall bestimmt, daß keine Achse in die betrachtete Richtungsklasse fällt: bei  $h = 0$  wird  $p(0) = \left(\frac{17}{18}\right)^{88}$ . Da der Tischrechner nicht potenzieren kann, wird dieser Ausdruck in Faktoren zerlegt:  $\left(\frac{17}{18}\right)^{88} = \left(\frac{17}{18}\right)^8 \cdot \left(\frac{17}{18}\right)^{16} \cdot \left(\frac{17}{18}\right)^{64}$ ; die Faktoren können ihrerseits durch fortlaufende Multiplikationen berechnet werden:

$$\left(\frac{17}{18}\right) \cdot \left(\frac{17}{18}\right) = \left(\frac{17}{18}\right)^2; \quad \left(\frac{17}{18}\right)^2 \cdot \left(\frac{17}{18}\right)^2 = \left(\frac{17}{18}\right)^4 \text{ usw.}$$

Für  $p(0) = \left(\frac{17}{18}\right)^{88}$  errechnet sich ein Wert von aufgerundet 0,0065.

Die Wahrscheinlichkeiten für die Ereignisse  $h = 1$ ,  $h = 2$  usw. können mit der Rekursionsformel (STORM 1965)  $p(h+1) = p(h) \cdot \frac{N-h}{h+1} \cdot \frac{p}{1-p}$  nacheinander abgeleitet werden:

$$p(1) = p(0) \cdot \frac{88}{1} \cdot \frac{1}{17}; \quad p(2) = p(1) \cdot \frac{87}{2} \cdot \frac{1}{17}; \quad p(3) = p(2) \cdot \frac{86}{3} \cdot \frac{1}{17} \text{ usw.}$$

So erhält man für die verschiedenen Besetzungshäufigkeiten  $h$  die Wahrscheinlichkeiten

<sup>2)</sup> „ $10^\circ/190^\circ$ “ bezeichnet die Richtung  $10^\circ$  und die Gegenrichtung  $190^\circ$  von Achsen.

$p(h)$  und die Verteilungsfunktion  $P(h)$  der Binominalverteilung, sowie die Verteilungsfunktion des komplementären Ereignisses  $1-P(h)$  :

$h$	$p(h)$	$P(h) = \sum_{i=0}^h p(i)$	$1-P(h) = \sum_{i=h+1}^{88} p(i)$
0	0,00654	0,00654	0,99346
1	0,03385	0,04039	0,95961
2	0,08662	0,12701	0,87299
.	.	.	.
.	.	.	.
11	0,00611	0,99655	0,00345
12	0,00231	0,99886	0,00114
13	0,00079	0,99965	0,00035
.	.	.	.
.	.	.	.

Das Maximum in Richtung  $0^\circ/180^\circ$  von Schicht C enthält 13 Fossilachsen. Aus der Verteilungsfunktion  $P(h)$  in der dritten Tabellenspalte kann man für  $h = 12$  entnehmen, daß eine Besetzungszahl von 0 bis 12 mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,886 % in einer bestimmten Richtungsklasse zu erwarten ist. Die Wahrscheinlichkeit für ein Maximum mit 13 oder mehr als 13 Achsen beträgt demnach  $1 - P(12) = 0,114$  %. Da a priori nicht festgelegt war, in welcher von 18 Richtungsklassen das Maximum beobachtet wird, muß dieser Wahrscheinlichkeitswert mit dem Faktor 18 korrigiert werden. Die relative Häufigkeit, mit der dieses Maximum innerhalb einer gleichmäßigen Richtungsverteilung erwartet werden kann, beträgt dann  $E = 18 (1 - P[12]) = 2,05$  % oder 0,0205; d. h. in 100 Richtungsverteilungen mit jeweils 88 Achsen wird dieses Maximum etwa zweimal auftreten, selbst wenn keine bevorzugte Einregelungsrichtung vorliegt. Das Maximum erfüllt demnach nicht die Voraussetzung  $w$  bzw.  $E < 0,01$ , um als signifikant beurteilt zu werden.

Die statistischen Parameter der Streichrichtungsverteilungen werden vektorieLL bestimmt (MARSAL 1967, MUNDREY 1969), indem man zu jeder Streichrichtung  $\alpha_i$  die Winkelfunktionen  $\sin 2\alpha_i$  und  $\cos 2\alpha_i$  ermittelt. Mittlere Streichrichtung  $\bar{\alpha}$ , der beste Schätzwert für die bevorzugte Richtung innerhalb einer unimodalen Richtungsverteilung, und Vektorstärke  $\bar{R}$ , ein Maß für die Streuung der Streichrichtungen, werden wie folgt berechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \sin 2\alpha_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \cos 2\alpha_i ;$$

$$\operatorname{tg} 2\bar{\alpha} = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} ; \quad \bar{R} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} ;$$

Als Parameter für die Streuung der Neigungswinkel wird die Standardabweichung  $s_\beta$  berechnet, wobei von der Neigung  $\beta = 0^\circ$  als Zentralwert ausgegangen wird:

$$s_\beta = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i^2} ;$$

Die von Schicht zu Schicht wechselnde Streuung der Neigungswinkel wird nach dem Snedecor-F-Test (MARSAL 1967) varianzanalytisch untersucht.

## Beschreibung der statistischen Daten

Die Lagekugeldiagramme von Abb. 1 geben einen Überblick über die Raumrichtungen der axialen Fossilstücke in den einzelnen Fundschichten. Dargestellt sind sämtliche eingemessenen Längsachsen (397 Lineare), wobei alle fossilen Objekte, ohne auf Unterschiede in Größe und Form zu achten, als gleichwertig betrachtet werden.

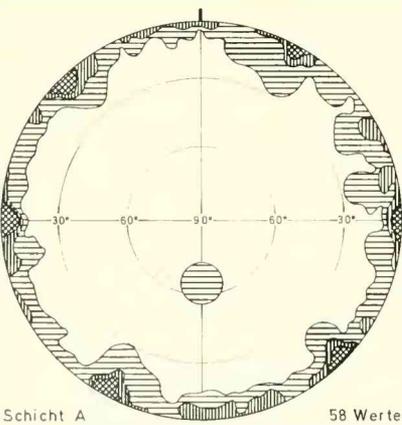
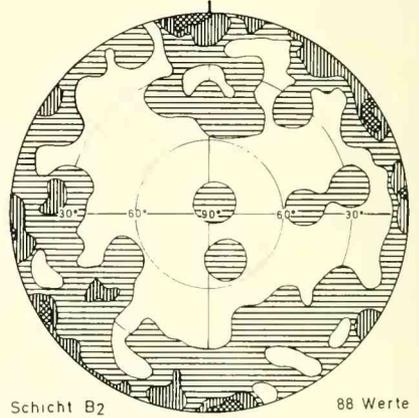
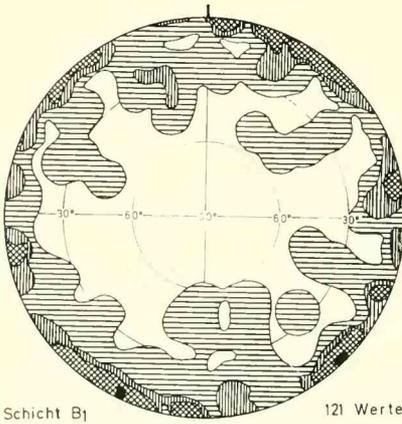
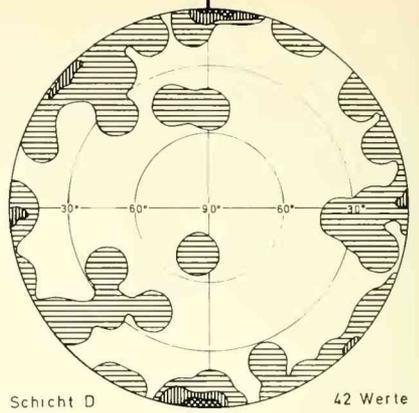
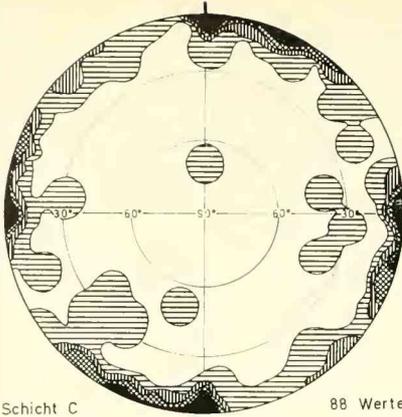
Entsprechend der vorherrschenden Horizontallage der Fossilien häufen sich die Projektionen der Achsenpunkte am Rand der Diagramme. Vergleicht man die relativen Besetzungsdichten der Diagramme miteinander, so läßt sich in Schicht A und Schicht C eine straffere Horizontaleinregelung feststellen als in den Schichten B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> und D. Einige Fossilien steckten mit ihren Längsachsen steil bis saiger im Sediment. Eine Abhängigkeit der Neigung zum Streichen der Fossilachsen ist nicht erkennbar.

Die Streichrichtungsverteilungen der Fossilachsen weisen mehr oder weniger ausgeprägte Maxima und Minima teils in radialer, teils in bilateraler Symmetrie auf (Abb. 2 und Tab. 1). Die Signifikanz der Maxima wird nach dem Erwartungswert E beurteilt, mit der die beobachteten Maximalhäufigkeiten unter der Annahme einer völlig regellosen Achsenlage erwartet werden können (Tab. 2, letzte Spalte): Je deutlicher ein Maximum in Erscheinung tritt, umso kleiner ist sein Erwartungswert. In Tab. 2 sind sowohl Maxima, die nur innerhalb einer Richtungsklasse auftreten, als auch Maxima, die mehrere Richtungsklassen umfassen, aufgeführt.

Keines der Diagramme enthält ein Maximum, dessen Erwartungswert das Signifikanzniveau von 0,01 unterschreitet. Folglich ist statistisch nicht gesichert, daß die Maxima eine bevorzugte Einregelung anzeigen. Bei kleinen Erwartungswerten ( $0,01 < E < 0,05$ ) besteht noch die Hoffnung, daß das Signifikanzniveau durch eine größere Anzahl Meßdaten erreicht werden kann.

Im Gegensatz zu den Knochenstücken zeigen die 19 eingemessenen Astfragmente eine ausgeprägte Einsteuerung und zwar im Winkelbereich zwischen N—S ( $355^\circ/175^\circ$ ) und ENE—WSW ( $60^\circ/240^\circ$ ). Wegen der geringen Zahl an Meßdaten muß beim Signifikanztest sorgfältig darauf geachtet werden, daß die Meßwerte untereinander unabhängig sind. Bei Überprüfung der Angaben in den Schichtplänen zeigte es sich, daß einige der meterlangen Astfragmente doppelt gemessen worden waren; andere Astfragmente lagen parallel nebeneinander, so daß sie sich bei der Ablagerung in ihrer Orientierung gegenseitig beeinflussen haben konnten. Nach Auslese aller abhängigen Meßdaten verbleiben noch 13 Werte; 6 davon treten in Schicht C ausschließlich in den Richtungsklassen  $0^\circ$  bis  $40^\circ$  auf. Auf Grund der straffen Ausrichtung der Aststücke in Schicht C ergibt sich trotz ihrer geringen Zahl ein Erwartungswert von nur 0,008; die Einregelung muß daher als signifikant bewertet werden. Die mittlere Einsteuerungsrichtung liegt hierbei mit 99%iger statistischer Sicherheit zwischen den Grenzen  $344^\circ/164^\circ$  und  $53^\circ/233^\circ$ .

Da den einzelnen Maxima in den Streichrichtungsdiagrammen keine Bedeutung beigemessen werden kann, lassen sich die Richtungsverteilungen besser an Hand ihrer statistischen Parameter, Vektormittel  $\bar{x}$  und Vektorstärke  $\bar{R}$ , vergleichen (Tab. 3). Für die einzelnen Schichten liegen die Mittel zwischen  $330^\circ/150^\circ$  (Schicht A) und  $40^\circ/220^\circ$  (Schicht B<sub>2</sub>). Für sämtliche 397 Fossilachsen errechnet sich eine mittlere Einregelung in Richtung  $20^\circ/200^\circ$ , also in Richtung NNE—SSW. Die Vektorstärke kennzeichnet die Streuung der Richtungswerte: Eine Vektorstärke



Signatur	Absolute Besetzungsdichte	Relative Besetzungsdichte in Prozent				
		Schicht				
		A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C	D
	0	< 2	< 1	< 1	< 1	< 2
	1-2	2-5	1-2	1-3	1-3	2-7
	3-4	5-9	2-4	3-6	3-6	7-12
	5-7	9-14	4-7	6-9	6-9	12-19
	> 7		> 7		> 9	

Abb. 1: Lagekugeldiagramme der Fossil-Längsachsen (Projektion der unteren Lagekugel)

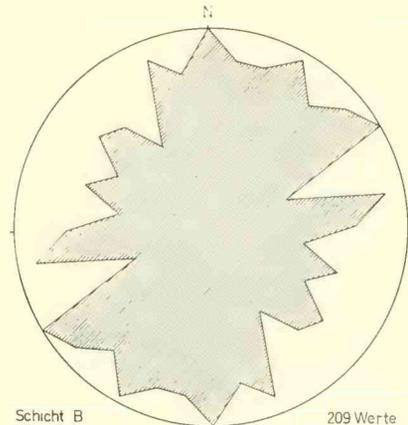
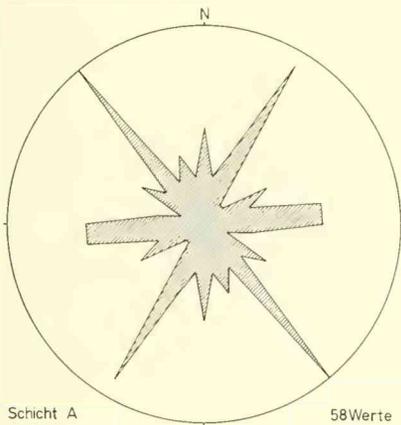
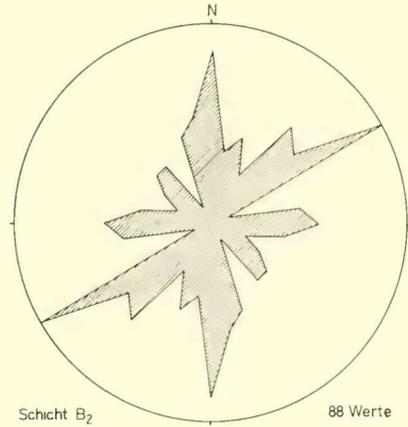
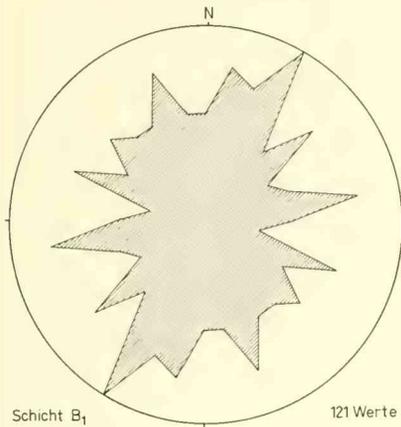
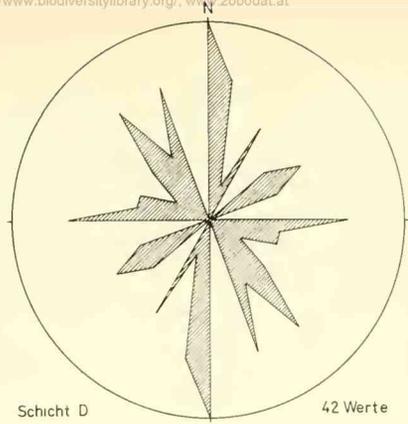
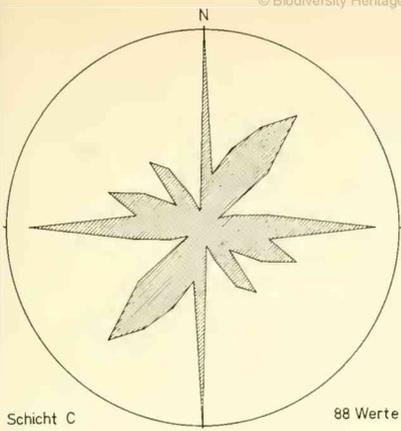


Abb. 2: Streichrichtungsrosen der Fossil-Längsachsen (Maximalhäufigkeit in A: 9, B<sub>1</sub>: 12, B<sub>2</sub>: 12, C: 13, D: 6, B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>: 16)

ke nahe bei 1 zeigt an, daß die Achsen nahezu in gleiche Richtung weisen; eine Vektorstärke in der Nähe von 0 bedeutet, daß die Achsen fast gleichmäßig in allen Richtungen auftreten. Die starke Streuung der Achsenrichtungen drückt sich in den geringen Vektorstärken (zwischen 0,05 und 0,16) aus.

Tab. 1: Streichrichtungsverteilungen der Fossilachsen  
beobachtete Häufigkeit

Richtungs- klasse	Schicht	(in Klammern: Häufigkeit der Astfragmente)					$B_1+B_2$	$A+B_1+$ $B_2+C+D$
		$B_1$	$B_2$	C	D			
$0^\circ/180^\circ$	4	6	10	13 (2)	6	16	39 (2)	
$10^\circ/190^\circ$	2	9	4 (1)	3 (1)	4	13 (1)	22 (2)	
$20^\circ/200^\circ$	3	8	5	5 (1)	1	13	22 (1)	
$30^\circ/210^\circ$	8	12	3	7	3	15	33	
$40^\circ/220^\circ$	1	5	7 (1)	9 (2)	0	12 (1)	22 (3)	
$50^\circ/230^\circ$	1	8	6	5	2	14	22	
$60^\circ/240^\circ$	3 (1)	4	12 (2)	1	3	16 (2)	23 (3)	
$70^\circ/250^\circ$	2	5	1	2	2	6	12	
$80^\circ/260^\circ$	5	9	5	4	0	14	23	
$90^\circ/270^\circ$	5	5	6	11	4	11	31	
$100^\circ/280^\circ$	2	3 (1)	4	4	2	7 (1)	15 (1)	
$110^\circ/290^\circ$	1	8	2	6	2	10	19	
$120^\circ/300^\circ$	3	5 (1)	3	4	1	8 (1)	16 (1)	
$130^\circ/310^\circ$	2	7	4	2	2	11	17	
$140^\circ/320^\circ$	9	6	4	5	4	10	28	
$150^\circ/330^\circ$	2	6	1	4	2	7	15	
$160^\circ/340^\circ$	3	9	5	2	4	14	23	
$170^\circ/350^\circ$	2	6	6	1	0	12	15	
Häufigkeits- summe N	58	121	88	88	42	209	397	
	(1)	(2)	(4)	(6)		(6)	(13)	

Tab. 2: Merkmale der Maxima in den Streichrichtungsverteilungen

	S	N	M	m	$N \cdot \frac{m}{k}$	h	E
Knochen- und Pflanzenreste	A	58	$140^\circ$	1	3,2	9	0,08
	$B_1$	121	$30^\circ$	1	6,7	12	0,56
	$B_2$	88	$60^\circ$	1	4,9	12	0,06
	$B_2$	88	$340^\circ - 0^\circ$	3	14,4	21	0,94
	$B_2$	88	$40^\circ - 60^\circ$	3	14,7	25	0,07
	$B_2$	88	$340^\circ - 60^\circ$	9	44,0	58	0,04
	C	88	$0^\circ$	1	4,9	13	0,02
	D	42	$0^\circ$	1	2,3	6	0,50
	D	42	$0^\circ - 10^\circ$	2	4,7	10	0,12
	$B_1+B_2$	209	$340^\circ - 60^\circ$	9	104,5	125	0,05
Pflanzen- reste	$B_2$	4	$10^\circ - 60^\circ$	6	1,3	4	0,22
	C	6	$0^\circ - 40^\circ$	5	1,7	6	0,008(!)
	$A+B_1+$	13	$0^\circ - 60^\circ$	7	5,1	11	0,018
	$B_2+C$						

S = Schicht, N = Anzahl der Meßdaten, M = Richtungsklasse bzw. -intervall des Maximums, m = Klassenumfang des Maximums,  $N \cdot \frac{m}{k}$  = mittlere Häufigkeit, h = beobachtete Maximalhäufigkeit, E = Erwartungswert der Maximalhäufigkeit.

Tab. 3 Parameter der Richtungsverteilungen

Schicht	Anzahl der Meßdaten N	Vektormittel d. Streich- richtungen $\bar{\alpha}$	Vektorstärke d. Streich- richtungen $\bar{R}$	Standard- abweichung d. Neigungswinkels $s_{\beta}$
A	58	331°/151°	0,05	11°
B <sub>1</sub>	121	16°/196°	0,10	20°
B <sub>2</sub>	88	38°/218°	0,16	24°
C	88	35°/215°	0,09	15°
D	42	345°/165°	0,13	21°
B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>	209	27°/207°	0,11	22°
A+B <sub>1</sub> + B <sub>2</sub> +C+D	397	21°/201°	0,08	19°

Zur statistischen Beschreibung der Achsenneigungen hat die maximale Auslenkung der Fossilachsen aus der Horizontallage nur geringe Bedeutung, da Extremwerte in Verteilungen vom Zufall abhängen. Besser wird die Streuung der Neigungswinkel durch den Parameter der Standardabweichung  $s_{\beta}$  gekennzeichnet, wobei von der Neigung 0° als Mittelwert ausgegangen wird. Vergleicht man die Standardabweichungen der Achsenneigungen miteinander, so lassen sich nach dem Snedecor-F-Test Schichten mit großer Streuung der Neigungswinkel (Schicht B<sub>1</sub>: 20°, B<sub>2</sub>: 24°, D: 21°) und Schichten mit geringer Streuung (Schicht A: 11°, C: 15°), d. h. mit besserer Horizontaleinregelung, unterscheiden. Nach der GAUSSSchen Normalverteilung müßten 68 % der Achsen Eintauchwinkel zwischen 0° und dem Winkelbetrag der Standardabweichung besitzen; in den vorliegenden Richtungsverteilungen sind es im Durchschnitt etwa 75 %. Dieser Befund läßt sich damit erklären, daß in den Verteilungen der Achsenneigungen Extremwerte ( $\beta > 30^\circ$ ) und Zentralwerte ( $\beta = 0^\circ$ ) häufiger auftreten, als nach der GAUSSSchen Normalverteilung zu erwarten sind.

### Interpretation der Meßergebnisse

Nach den Befunden der statistischen Analyse lassen sich die Merkmale der Achsenrichtungsverteilungen teils auf eine Einregelung der Fossil-Längsachsen in bevorzugten Richtungen zurückführen, teils können sie durch Zufall entstanden sein. Gefügestatistische Merkmale dürfen nur dann geologisch interpretiert werden, wenn man ausschließen kann, daß diese Merkmale rein zufällig sind. Somit läßt sich nur die Ausrichtung der Astfragmente in Schicht C zu einer genetischen Deutung verwenden: Die straffe Regelung läßt sich in der Weise erklären, daß die Pflanzenreste parallel zur Uferlinie oder zum Stromstrich eines ehemaligen Flußlaufes eingebettet wurden; es bleibt aber noch offen, ob die Strömung in nördlicher bis nordöstlicher Richtung, oder in südlicher bis südwestlicher Richtung verlief.

Bemerkenswerterweise herrscht in sämtlichen Richtungsverteilungen eine N-S-Einregelung der Längsachsen gegenüber einer Einregelung in E-W-Richtung vor. Daher zeigen vermutlich auch die Vektormittel der Richtungsverteilungen in den einzelnen Schichten eine etwa N-S verlaufende Achse des ehemaligen Flußsystems an. Dieser Befund gilt jedoch nur für den abgegrabenen Bereich der Fossil-Lager-

stätte. Möglicherweise wird sich die Einregelungstendenz in den limnisch-fluviatilen Molasseablagerungen im Vertikalprofil wie auch lateral rasch ändern.

Das Fehlen einer bevorzugten Einregelung der Wirbeltierknochen läßt sich einmal darauf zurückführen, daß z. T. die Knochenreste vielleicht durch fleisch- oder aassfressende Tiere an den Einbettungsort verschleppt worden sind, wo sie rein zufällig jede beliebige Lage einnehmen konnten. Zum anderen wird die starke Streuung der Streichrichtungen dadurch verursacht worden sein, daß die Faunenreste unter verschiedenartigen Transportbedingungen und Strömungsverhältnissen abgelagert wurden. Tierleichen oder Teile davon könnten im Wasser schwimmend oder schwebend antransportiert worden sein; sie sanken dann in den Bodenschlamm ein, strandeten an seichteren Stellen oder verfangen sich in der Vegetation. Unter diesen Bedingungen ist eine andere Einregelung zu erwarten als bei rollendem Transport von Knochen an der Flußsohle. Auch ist nicht bekannt, wie Knochenstücke bei der Sedimentation orientiert werden. Von axialen Geröllern z. B. weiß man, daß sie einmal longitudinal, das andere Mal transversal zur Strömungsrichtung abgelagert werden (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). Demgegenüber zeigt ROTHAUSEN (1970), daß langgestreckte Einlagerungen in Sedimenten in zwei Maxima zu beiden Seiten der Hauptstromrichtung, also mehr diagonal, eingesteuert sind. Ferner dürften sich Knochen je nach Form und Größe verschieden einregeln; beispielsweise werden sich bogenförmige Rippenknochen und gewinkelte Knochenstücke bei der Ablagerung in strömendem Medium vermutlich anders verhalten als zylindrische Röhrenknochen und Knochen mit Gelenkköpfen. Die Richtungswerte der Fossilachsen müßte deshalb nicht nur nach der Schichtzugehörigkeit, sondern auch nach Größe und Form der Fossilien differenziert untersucht werden; dazu ist jedoch die Anzahl der vorliegenden Meßdaten zu klein.

Die Fossil-Orientierung im Sediment ist auch durch postsedimentäre und diagenetische Veränderung des Sedimentgefüges bedingt. Nach der Ablagerung kann das noch nicht konsolidierte Sediment durch Fließ- und Gleitvorgänge verformt oder von größeren Tieren verwühlt worden sein. Zu Fließbewegungen kommt es vor allem dann, wenn frisch abgesetzte, stark wasserhaltige Tone und Schluffe von spezifisch schwererem Sand oder Kies überlagert werden; Dichteinversion, Porenwasserüberdruck, geringe Scherfestigkeit und Thixotropie-Verhalten des Schlammes führen leicht zum Zusammenbruch der labilen Schichtung. Auch eine Gasentwicklung an faulenden Organismenresten kann Fließvorgänge ausgelöst haben. Durch die genannten Vorgänge einer postsedimentären Deformation wird nicht nur eine ursprünglich vorhandene Einregelung nach der Strömungsrichtung verwischt, sondern auch die Horizontallage der länglichen Fossilreste gestört. Demnach weist die Auslenkung der Fossilachsen aus der Horizontalen auf eine Durchbewegung des Sedimentes hin.

Bei der Diagnose werden die Fossilstücke durch die Kompaktion des Sedimentes wieder etwas in Horizontallage gedreht. Die von Schicht zu Schicht wechselnde Streuung der Neigungswinkel wird daher nicht nur durch unterschiedlich intensive postsedimentäre Deformation, sondern auch durch unterschiedliche Verdichtbarkeit der Ablagerungen bedingt sein.

Über die Genese der Fossil-Lagerstätte können sicherlich noch weitere Aussagen gemacht werden, wenn das Datenmaterial von neueren Grabungsarbeiten ausgewertet und die Fossilorientierung in Zusammenhang mit Lagerungsverhältnissen und Sedimentfazies untersucht worden ist.

## Schriftenverzeichnis

- FAHLBUSCH, V. & GALL, H.: Die obermiozäne Fossil-Lagerstätte Sandelzhausen. 1. Entdeckung, Geologie, Faunenübersicht und Grabungsbericht für 1969. — Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., **10**, 365—396, München 1970.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G.: Sedimentpetrologie Teil 2: Sedimente und Sedimentgesteine. — 726 S., Stuttgart (Schweizerbart) 1970.
- MARSAL, D.: Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. — 152 S., Stuttgart (Schweizerbart) 1967.
- MUNDRY, E.: Mathematische Verfahren in der Geologie. Einsatz von Rechenautomaten. — In BENTZ, A. & MARTINI, H. J.: Lehrbuch der Angewandten Geologie, 2. Bd., Tl. 2, Geowissenschaftliche Methoden, 1884—1944, Stuttgart (Ferd. Enke) 1969.
- POTTER, P. E. & PETTIJOHN, F. J.: Paleocurrent and basin analysis. — 296 S., Berlin-Göttingen-Heidelberg (Springer) 1963.
- ROTHAUSEN, K.: Methodik und Ausdeutung von Einsteuerungsmessungen. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **56**, 49—55, Wiesbaden 1970.
- STORM, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. — 284 S., Leipzig (VEB Fachbuchverl.) 1965.
- TAUBENHEIM, J.: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. — 386 S., Leipzig (Geest & Portig) 1969.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Histor. Geologie](#)

Jahr/Year: 1972

Band/Volume: [12](#)

Autor(en)/Author(s): Herold Reinhard, Ibrahim Abdel A.

Artikel/Article: [Die obermiozäne Fossil-Lagerstätte Sandelzhausen. 7. Über die Einregelung der Fossilien 125-135](#)