

Neudatierung des Eiszeitalters nach Tiefseesedimenten

Berichtigung eines Rechenfehlers und Folgen für die Rheinlandgeologie

KARL N. THOME

(Manuskripteingang: 11. Januar 2000)

Kurzfassung: Labormessungen der Porendichte ergaben eine geringe Kompaktion der karbonatischen Tiefseesedimente. Sie wurde zur Grundlage für die Sedimentdatierung mit dem Verfahren der linearen Interpolation, weil sie scheinbar bewies, daß die Sedimente sich nicht gesetzt hatten. Doch kann eine erhebliche Setzung durch einfache mathematische Verfahren zweifelsfrei nachgewiesen werden. Daher ist die Datierung nur mit Hilfe der Setzungskurve möglich. Die mit der Setzungskurve ermittelten Daten ergeben nicht nur das wirkliche Alter der Eem-Warmzeit (ca. 80 000 Jahre), sondern ermöglichen durch Wahl eines geeigneten Tiefseekerns erstmals einen Überblick über das gesamte Eiszeitalter mit einer Reihenfolge bekannter und nicht bekannter Inlandeisvorstöße. Hinweise auf neue Einsichten in quartäre Zusammenhänge, insbesondere im Rheingebiet, schließen die Arbeit ab.

Schlagworte: Tiefseesedimente, Sedimentstörungen, Bohrkern V28-239, Kompaktion, lineare Interpolation, Setzungskurve, Sauerstoff-Isotopen-Verhältnis, Porenraum, Gesteinsauflösung, Eem-Interglazial, Glaziale, Interglaziale, Rheinterrassen, Eifelvulkanismus

Abstract: Carbonaceous deep sea sediments have a great porosity and a negligible compaction; this seemed to prove the absence of a sediment-settlement and gave reason for dating the oxygen-isotope-stages by linear interpolation. But a remarkable settlement can be proofed by the comparison of different deep sea cores. The absence of a considerable compaction makes clear, that the settlement was not caused by compaction but by solution. Dating by linear interpolation resulted in wrong dates. Dating by the settlement curve showed realistic ages. The core with the best proportionality of its oxygen-isotope-share to Nord-European Glaciations is core V28-239. The excursions of that oxygen-isotope curve represent changes of the icevolume. They make visible the connections between size and time of glaciations, erosion of the Rhine-River-Terraces and mobilisation of volcanism. This paper will show steps for the proofing of the settlement.

Keywords: deep-sea-sediments, porosity, compaction, linear interpolation, settlement, dating of oxygen-isotope-stages, core V28-239, Nord-European Glaciations, Eemian, Rhine-River-Terraces, Volcanism

1. Einleitung

Das Hauptthema dieser Arbeit sind Entdeckungen in Sedimenten des Ozeans, weil sie die Grundlage für ein neues Verständnis der rheinischen Eiszeitgeschichte bilden. Im letzten Kapitel wird der Bezug zum Rheinland hergestellt. Das 1998 erschienene Lehrbuch „Einführung in das Quartär“ (Springer Verlag) bringt die Ergebnisse in zusammengefasster Form. In einer in Kürze erscheinenden Arbeit (s. Literaturverzeichnis: THOME im Druck) sind die mathematisch ableitbaren Zusammenhänge der Datierung und einige Folgerungen für die einheimische Quartärgeologie ausführlich erläutert.

Eine weltweit anwendbare Gliederung des Quartärs ist trotz aller Untersuchungen noch nicht befriedigend gelungen. Die Ursache liegt

in der unübersehbaren Vielfalt der Spuren und Schichtlücken, deren Bedeutung teilweise nicht verstanden wird und in der Unkenntnis der wirklichen Alter.

Als vor einigen Jahrzehnten die Erkundung der Tiefseesedimente mit Forschungsschiffen und Kolbenloten begann, schien die gesuchte Übersicht in erreichbare Nähe gerückt, denn in ungestörten, gleichmäßig und lückenlos sedimentierten Tiefseeablagerungen sind die Klimaschwankungen des Quartärs mit realen Größen- und Zeitmaßstäben aufgezeichnet. Doch hat eine Datierungsmethode, deren Unbrauchbarkeit nicht erkannt wurde und der Glaube an ihre Unfehlbarkeit bis heute die Auswertung des Tiefseearchivs weitgehend verhindert. Nach der Revision des Datierungsfehlers (THOME 1997 und 1998) wünschten

Leser ausführlichere Erläuterung zu den Berichtigungsverfahren. Sie erfolgt in dieser Arbeit durch den mathematisch begründbaren sicheren Nachweis des Rechenfehlers. Auf die daraus erwachsenden überraschenden neuen Einsichten in das Eiszeitalter wird hingewiesen.

2. Datierung der Tiefseesedimente

2.1. Verbreitung und Eignung

In ungestörten Sedimenten ist in allen Ozeanen die Vereisungsgeschichte der Erde durch die Schwankungen des Mengenverhältnisses der Sauerstoff-Isotope ^{16}O und ^{18}O aufgezeichnet. Die vorwiegend aus karbonatischen Foraminiferenschalen bestehenden Schlämme des Ontong-Java-Plateaus im westlichen Pazifik sind für eine Datierung besonders geeignet. Erste Ergebnisse waren vielversprechend: Schalen bestimmter Foraminiferenarten zeigen Sauerstoff-Isotopen-Verhältnisse, aus denen das Eisvolumen der Kontinente zur Lebenszeit der Foraminiferen errechnet werden kann. Die in stetig und gleichmäßig abgelagerten Sedimenten aufgezeichneten Sauerstoff-Isotopen-Verhältnisse dokumentieren erstmals die in dieser Klarheit bisher nicht bekannte lückenlose Folge der Kalt- und Warmzeiten des Quartärs.

2.2. Vorbedingungen für die Datierung

Zur Datierung mußten folgende Bedingungen erfüllt sein: a) Störungsfreie Bergung gleichmäßig sedimentierter Tiefseeprofile; b) die Profile müssen mindestens zwei Horizonte mit bekanntem Alter enthalten: Die ungestörte Sedimentoberfläche hat das Alter 0; die im Sauerstoff-Isotopen-Abschnitt 19 der Tiefseesedimente enthaltene paläomagnetische Grenze zwischen der revers magnetisierten Matuyama-Epoche und der darüber folgenden heutigen normal magnetisierten Brunhes-Epoche (= B/M-Grenze) hat ein Alter von ca. 700 000 bis 800 000 Jahren.

Das zu datierende Bohrprofil sollte nicht zu kurz sein, weil bei größerer Länge mehr Details unterscheidbar sind. Es durfte auch nicht zu lang sein, sonst könnten die Bergungsgeräte (Kolbenlote) die B/M-Grenze nicht fassen. Datiert werden Abschnitte unterschiedlicher Sauerstoff-Isotopen-Verhältnisse. Sie repräsentieren eine in fast allen Tiefseesedimenten vorhandene Schichtung.

3. Karbonatische Tiefseesedimente

3.1. Ohne Setzung ?

In nichtkarbonatischen feinkörnigen Sedimenten nimmt mit zunehmender Sedimenthöhe und dadurch steigender Belastung der mit Wasser oder Luft gefüllte Raum zwischen den Kornfragmenten (= Porenraum) ab, weil diese sich dichter zusammenlagern (= Sedimentverdichtung = Kompaktion). Sie bewirkt eine Volumenverminderung, das Sediment sinkt zusammen - es „setzt sich“. Aus der Abnahme des Porenraumes (= Kompaktion) lassen sich die Setzungsbeträge errechnen.

Von diesem, allen nichtkarbonatischen Feinsedimenten eigenen, Setzungsverhalten weichen die karbonatischen in auffällender Weise ab: Sie zeigen in dem für die Datierung wichtigen Bereich der obersten Zehner von Metern praktisch keine Verdichtung. Da das Ausmaß der Setzung normalerweise am Grad der Verdichtung gemessen wird, erwuchs aus diesem Befund die Überzeugung, daß die karbonatischen Tiefseesedimente keine in Betracht kommende Setzung aufweisen. Das war ein Fehlschluß, aber auf ihm beruht die Datierung durch lineare Interpolation:

EHLERS (1993: 133) erläutert die Begründung dieser Datierungspraxis wie folgt: „Es ist bemerkenswert, daß für die Betrachtung quartärer Ablagerungen die Kompaktion der Tiefseesedimente nur eine äußerst geringe Rolle spielt. Untersuchungen an einer Reihe von Bohrungen haben gezeigt, daß die Zunahme der Dichte mit wachsender Tiefe von etwa 1,5 g/cm³ auf 1,8 g/cm³ sich über mehrere hundert Meter erstreckt. Diese Veränderung ist nicht kontinuierlich, sondern es treten wiederholte, kleinräumige Wechsel der Dichte auf.... Sie sind insgesamt so gering, daß sie bei der Bearbeitung der relativ kurzen quartären Bohrkerne für die Sauerstoff-Isotopenuntersuchungen vernachlässigt werden können.“

3.2. Datierung durch lineare Interpolation

Beispiel: Die Länge der Bohrstrecke im Meeresboden betrage bis zur B/M-Grenze 12 m = 1200 cm, wie im Bohrkern V28-238, den SHACKLETON & OPDYKE (1973, 1976) datierten. Dividiert man die Kernstrecke bis zur B/M-Grenze 1200 cm durch das Alter der B/M-Grenze (70 Jahrzehntausende) - (1200 : 70 = 17,1 cm), so erhält man den Teil der Kern-

Tabelle 1. Bohrkerne V28-238 und V28-239

Spalten											
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Isotopenabschnitte	Tiefsee-Bohrung										Isotopenabschnitte
	V-28-239	V-28-238	V-28-239	V-28-238	V-28-239		V-28-238	V-28-239	V-28-238		
	Altersberechnung (in 1000 Jahren)										
	Länge des Bohrkerns in cm		mit linearer Interpolation		mit der Setzungskurve			Mächtigkeit der Isotopenabschn.			
1					(10)			25	22	1	
	25	22	22	13	10	13	8				
2					(20)			20	23	2	
	45	55	42	32	30	25	13				
3					(10)			27	55	3	
	72	110	69	64	40	44	25				
4					(25)			10	18	4	
	82	128	79	75	65	50	32				
5					(15)			45	92	5	
	127	220	123	128	80	75	57				
6					(35)			63	115	6	
	190	335	184	195	115	114	96				
7					(15)			45	95	7	
	235	430	227	251	130	150	133				
8					(50)			40	80	8	
	275	510	266	297	180	185	168				
9					(20)			45	85	9	
	320	595	311	347	200	230	208				
10					(45)			25	35	10	
	345	630	335	367	245	243	230				
11					(25)			32	125	11	
	377	755	367	440	270	270	305				
12					(60)			53	55	12	
	430	810	417	472	330	330	348				
13					(20)			32	50	13	
	462	860	449	502	350	350	388				
14					(40)			38	70	14	
	500	930	485	542	390	406	445				
15					(60)			67	85	15	
	567	1015	550	592	450	480	520				
16					(130)			68	60	16	
	635	1075	616	627	580	581	580				
17					(40)			25	35	17	
	660	1110	640	647	620	612	613				
18					(80)			55	70	18	
	715	1180	694	688	700	706	688				
19					(30)			10	30	19	
	725	1210	706	706	730	725	733				
20					(40)			22	23	20	
	750	1250	728	729	770	763	773				
21					(30)			27	53	21	
	777	1340	755	782	800	806	875				
22					(100)			46		22	
	825		801		900	900					

strecke = 17,1 cm, der in einem Zeitraum von 10 000 Jahren abgelagert wurde, gleichgültig, ob die 17,1 cm ein Kernstück in der Nähe der Oberfläche im Abschnitt 1 oder tief unten in der Nähe des B/M-Grenze, z.B. in Abschnitt 22 umfassen (Tab.1, Spalten d und e).

3.3. Sedimentstörungen

Diese Datierungsmethode wurde auf zahlreiche Bohrprofile angewandt. Die errechneten Alter gleicher Isotopenabschnitte waren sehr unterschiedlich, eine Folge der in den Profilen verborgenen primären Störungen der Sedimentation und unterschiedlicher Setzungen. Es gab auch Störungen durch den Bohrvorgang, aber viel gravierender waren natürlich entstandene, meist nicht deutlich erkennbare Abweichungen vom erwünschten idealen gleichmäßig sedimentierten Schichtprofil. Schwankende Sedimentationsraten verfälschen die Alterswerte. Selten ist eine Störung so deutlich erkennbar, wie die übergroße Mächtigkeit von 125 cm im Isotopenabschnitt 11 des Kerns V28-238, Tab.1, Spalte k. Umschichtungen an der Mee-

resbodenoberfläche vor Überdeckung durch jüngere Sedimente veränderten die Extremwerte der Isotopenkurven, so daß oft ihre Proportionalität zur unterschiedlichen Größe der Erdvereisungen verloren ging.

3.4. Ergebnisse der Datierung durch lineare Interpolation

Die in Nordeuropa erkennbaren Vereisungen (Abb.1) konnten in den Isotopenkurven nicht identifiziert werden, weil die durch lineare Interpolation festgestellten Alter viel zu hoch waren. Daß die zu hohen Alter nur durch eine falsche Datierungsmethode verursacht waren, ergab sich erst bei der Datierung mittels der Setzungskurve (Kap. 4.2). Im Hinblick auf die vielen Sedimentstörungen war es notwendig, einen möglichst ungestörten Tiefseekern zu finden. SHACKETON & OPDYKE (1973,1976) wählten Kern V28-238 (Tab.1, Spalten c, e, i, k). IMBRIE et al. (1984) mittelten die Daten mehrerer Kerne (Abb.2) und veränderten sie durch Angleichung an Zyklen aus Erdbahnelementen nach der Milankovic-Theorie. BERGER et al.



Abbildung 1. Randlagen der Glaziale in der norddeutschen Tiefebene
W = Würm, SIII = Saale-3, SII = Saale 2, SI = Saale-1 und E = Elster

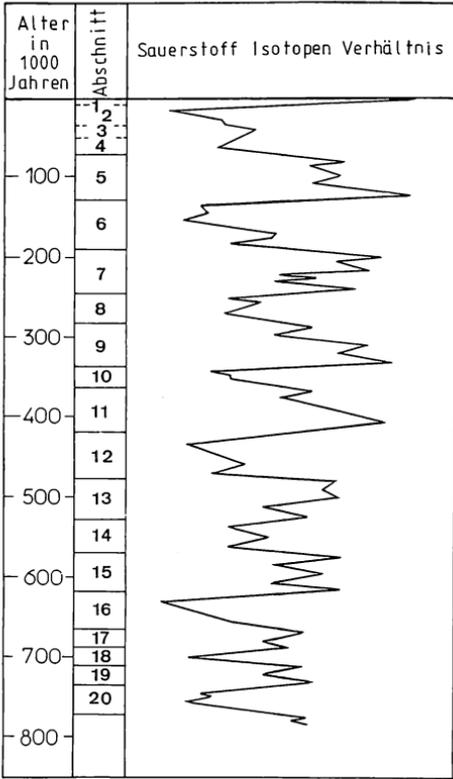


Abbildung 2. Sauerstoff-Isotopen-Kurve mehrerer Tiefseekerne, datiert durch lineare Interpolation (IMBRIE et al. 1984).

(1993a) hielten Kern 130-806 zur Datierung für besser geeignet.

Trotzdem fand keine dieser Datierungen allgemeine Anerkennung, denn bei keiner zeigte die Sauerstoff-Isotopen-Kurve eine eindeutige Proportionalität zu den nordeuropäischen Vereisungen (vgl. Abb.2). Die Enttäuschung über die geringe Brauchbarkeit der Tiefseesedimente wird u.a. in Äußerungen von BOWEN (1979), LIEDTKE (1990), BRUNNACKER (1990) deutlich.

Als einziges weltweit für richtig gehaltenes Resultat der Datierung mit linearer Interpolation gilt das Eem-Interglazial (= Abschnitt 5 der Tiefseegliederung) mit einem Alter von 125 000 Jahren (Tab.1, Spalte e, SHACKLETON & OPDYKE (1973, 1976), weil diese Datierung scheinbar durch unabhängige Altersbestimmungen bestätigt wurde: Die dem Eem-Interglazial zugerechneten Eisschichten an der Basis der Inlandeise in Grönland und in der

Antarktis werden auf 125 000 Jahre geschätzt. Die Schätzung beruht auf Vermutungen über den Grad der Ausdünnung des Inlandeises in der Nähe seiner Basis. Eine Schätzung des Alters von 125 000 Jahren ist genau so sicher und unsicher, wie eine Schätzung von 70 000 bis 80 000 Jahren. Entscheidend ist der sichere Nachweis, daß die Datierung des Eem-Alters durch lineare Interpolation falsch ist. Die richtige Datierung mit der Setzungskurve ergibt für den Sauerstoff-Isotopen-Abschnitt 5 ein Alter um 70 000 bis 80 000 Jahren (Kap. 4.2; Tab. 1, Spalten f, g und h). Eine weitere Unsicherheit ergibt sich daraus, daß es verschiedene Inter-

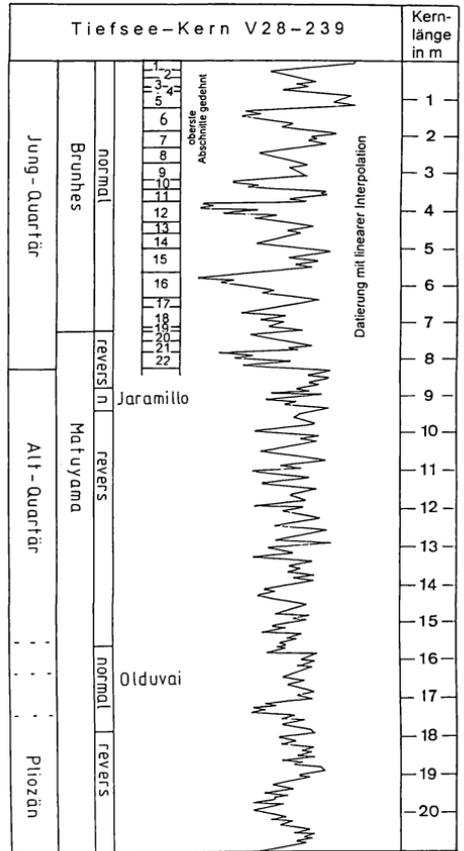


Abbildung 3. Sauerstoff-Isotopen-Kurve des Kerns V28-239, datiert durch lineare Interpolation. Die Meterabstände der Kernlänge (rechte Seite) entsprechen jeweils 100 000 Jahren (SHACKLETON & OPDYKE 1976).

Tabelle 2. Meerestiefe und Länge der Bohrkerne

Bohrkern Nr.	Sedimentmächtigkeit in cm über der B/M-Grenze	Meerestiefe in m
130-806B	1600	2520
130-805C	1236	3188
V28-238	1210	3120
Lysokline		3300
V28-239	725	3490
CCD (Carbonate-Compensation-Depth)		4000

glaziale mit ähnlichem Fossilinhalt, also mehrere verschieden alte eem-ähnliche Interglaziale gibt, z. B. das Interglazial des Sauerstoff-Isotopen-Abschnitts 7, das wirklich ca. 125 000 Jahre alt ist (vgl. Tab.5).

Eine Mittelung der Daten aus verschiedenen Kerndatierungen sollte lokale Störungen einzelner Sedimentprofile ausgleichen; das Ergebnis war die Sauerstoff-Isotopen Kurve in Abb.2. Diese oft verwendete Kurve (IMBRIE et al. 1984) zeigt typische Fehler falscher Datierung und falscher Kernwahl: Auffällig ist auch hier (wie bei allen linear datierten Isotopenkurven) die scheinbare Zunahme der Zeitdauer in den oberen, jüngsten Abschnitten, es ist eine Folge der in den Profilen vorhandenen aber ignorierten Setzung. Auch zeigen die Maxima und Minima der Isotopenkurve keine Übereinstimmung mit der Folge kontinentaler Eisvorstöße, weil in den ausgewählten Kernprofilen die Maxima und Minima gestört waren. So ist weder in den Altersangaben noch in den Ausschlägen der Isotopenkurve eine Ähnlichkeit mit den nordeuropäischen Eisvorstößen vorhanden. Trotzdem sollten Ergebnisse der Erdbahnberechnungen nach der von MILANKOVIC erarbeiteten Methode diese Zeitkurve des Quartärs bestätigen und verbessern.

Von allen bisher für die Datierung in Betracht kommenden Tiefseekernen scheint nur der Tiefseekern V28-239 (Abb.3, 6, 10) von Störungen weitgehend verschont zu sein (vgl. Kap. 6.2), denn nur er zeigt eine erstaunliche Proportionalität zu den nordeuropäischen Eisvorstößen. Aber die falsche Datierung mit linearer Interpolation (Tab.1 Spalte d und Abb.3) ließ diese Proportionalität als Zufall erscheinen, dem kein innerer Zusammenhang zugrunde zu liegen schien. Auch stammte der Kern aus einem Gebiet, das randlich zu den für die Datierung bevorzugten Tiefseebereichen

und in größerer Tiefe lag und daher eine geringere Sedimentmächtigkeit aufwies. (Abb.9 u. Tab.2).

Je höher der Meeresboden über die CCD aufragt, desto größer ist die Karbonatsedimentation, desto stärker sind aber auch die Sedimentationsstörungen (vgl. u.a. O.D.P.(1993).

4. Setzung der Tiefsee-Sedimente

4.1. Verdacht einer Setzung

Der Verdacht, daß lineare Interpolation zu falschen Altersdaten führt, entstand durch folgende Beobachtungen:

a) Bei Sedimenten ohne Setzung ergibt sich die Zeitdauer eines Abschnitts allein aus der Sedimentmächtigkeit, ganz gleich, ob sich die Schicht 20 m unter der Sedimentoberfläche oder dicht an ihr befindet. Nun zeigen aber alle nach dem Verfahren der linearen Interpolation datierten Sauerstoff-Isotopen-Kurven in den obersten, jüngsten Abschnitten 2-4 (= letztes Glazial) eine relativ längere Zeitdauer als für ältere wesentlich größere Glaziale (z.B. die Abschnitte 12 und 16) in größerer Sedimenttiefe (Tab.1, Spalte e, Abb. 2 und 3). Es widerspricht allen Erfahrungen, daß Zeitabschnitte mit etwa doppelt so großen Eisansammlungen kürzer gewesen sein sollen als Zeitabschnitte mit kleineren Vereisungen. Eine „Zeitdehnung“ in den obersten Sedimentlagen ist aber die charakteristische Folge der Sedimentsetzung.

b) Nicht nur die Zeitdauer, sondern auch die Alter der jüngeren Sauerstoff-Isotopen-Abschnitte waren zu groß, um ein verständliches Bild über den Ablauf der kontinentalen Vereisungen zu geben. Zu hohe Alter im oberen Teil der Sedimentsäulen sind ein typisches Merkmal einer Datierung ohne Berücksichtigung der Setzung.

4.2 Mathematischer Beweis einer beträchtlichen Setzung.

Aus dem Verdacht einer Setzung erwachsen folgende Fragen:

a) Wie läßt sich eine Setzung nachweisen, wenn die Verdichtung fehlt?

b) Falls eine Setzung nachweisbar ist, wie läßt sich die Setzungskurve finden, die zur Datierung notwendig ist?

Beide Fragen lassen sich mit ausreichender Sicherheit beantworten: Es ist hierzu die Klärung der mathematischen Gesetzmäßigkeiten einer Setzung erforderlich:

c) Eine Setzung verkleinert bei zunehmender Belastung bzw. zunehmender Überlagerung die Schichtmächtigkeiten in gesetzmäßig abnehmender Weise.

d) In zwei verschieden langen Sedimentprofilen, die der gleichen, nur von der Sedimentmächtigkeit abhängigen Setzung unterlagen, ergibt sich aus Mächtigkeitsunterschieden gleich alter Schichtabschnitte die Setzungskurve.

Die Setzungskurve wurde aus dem Vergleich der Schichtmächtigkeiten der beiden unterschiedlich langen Kernbohrungen V28-238 und V28-239 rekonstruiert. Die durch lineare Interpolation errechneten Alter (Abb. 4 und Tab. 1 Spalten d und e) ergaben erhebliche Dif-

ferenzen, wie sie für verschieden lange aber gleich alte Schichtabschnitte typisch sind, die einer erheblichen Setzung unterlagen. Der Vergleich erbrachte nicht nur den mathematischen Beweis erheblicher Setzung, sondern es ließ sich auch die zugehörige Setzungskurve (Abb.5) über die in Spalte b, Abb.5 (und 7) dargestellte Schichtausdünnung rekonstruieren. Ein (hier nicht durchgeführter) Vergleich der Daten beider Kerne (s. THOME im Druck) zeigt stärkere Störungen in den Schichten des Kerns V28-238, so daß die Datierung des Kerns V28-239 in Tab.1, Spalte h bessere Alterswerte ergibt. In Spalte f sind die Daten der Spalte h unter der Annahme, daß die Sedimentation in Glazialen vermindert war, tentativ verändert.

4.3. Vereinfachter Setzungsnachweis durch Gedankenexperiment

Die in Kap. 4.2 erläuterten Setzungsberechnungen werden an Tiefseekernen vorgenommen, die teilweise nicht erkennbaren Störungen unterworfen waren. Um den Einfluß unbekannter Störungen für den wichtigen Setzungsnachweis völlig auszuschalten, werden im Folgenden die Setzungsberechnungen als Gedankenexperiment an idealen Sedimentprofilen mit völlig gleichmäßiger Sedimentation und ohne jede Störung durchgeführt, (Abb. 7 u. 8, Tab. 3):

Tabelle 3. Schichtung nur von Setzung beeinflusst (Gedankenexperiment)

a	b		c		Spalten		f	g	h
	Tiefe in m unter dem Meeresboden		scheinbare Alter in 1000 Jahren (mittels linearer Interpolation)		Differenz				
Schichtabschnitte	A	B	A	B	B-A		A	B	
1	1,80	4,0	178	215	37		100	100	
2	3,00	6,5	296	350	54		200	200	
3	4,00	8,27	394	447	53		300	300	
4	4,93	9,77	483	528	45		400	400	
5	5,80	11,0	572	592	20		500	500	
6	6,50	12,1	641	652	11		600	600	
7	7,10	13,0	700	700	0		700	700	

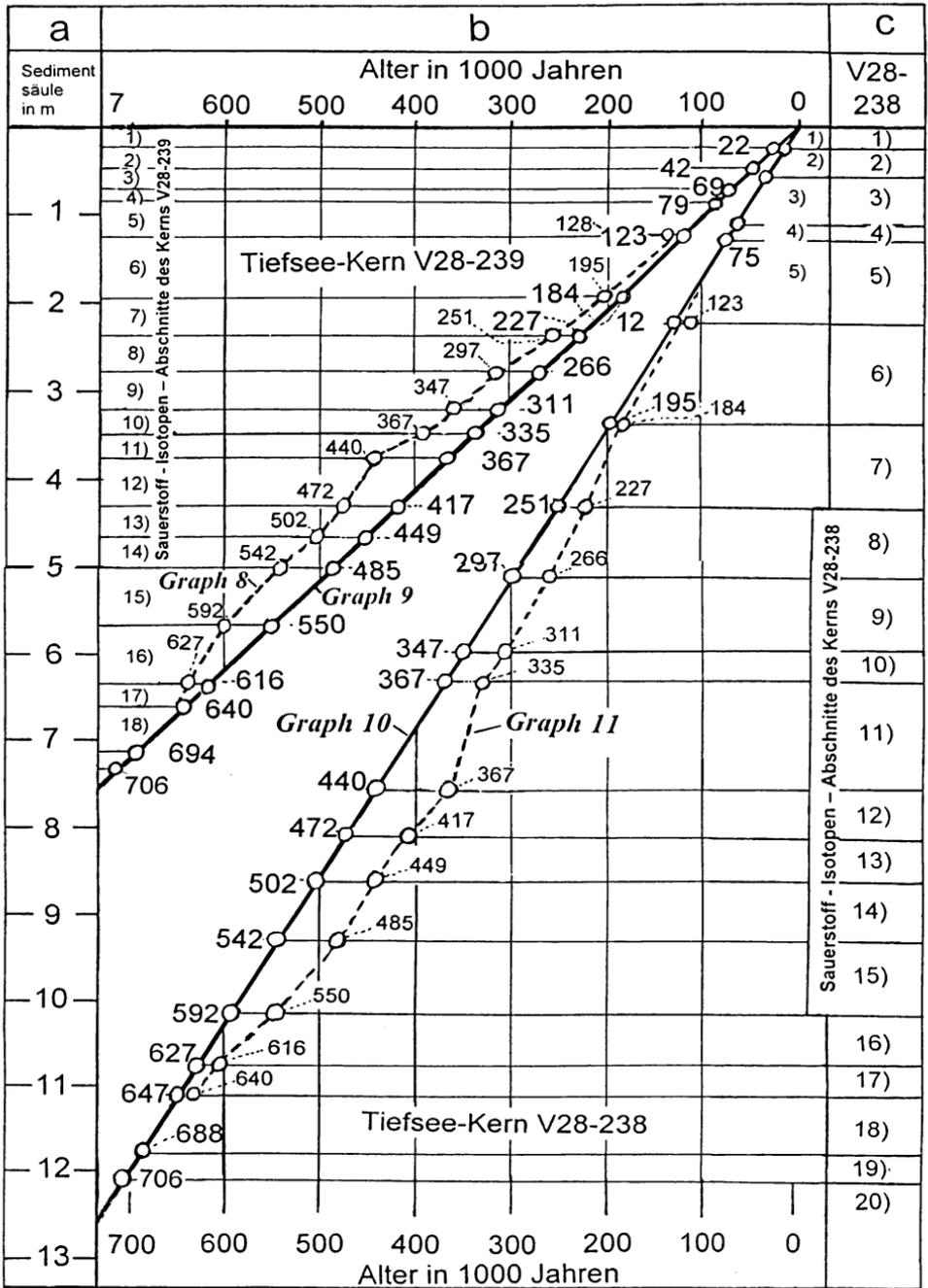


Abbildung 4. Tiefseekerne V28-238 und V28-239, datiert durch lineare Interpolation (vgl. Abb.8). Graph 9 = Datierung von Profil V28-239, Graph 10 = Datierung von Profil V28-238. Graph 8 = Daten des Profils V28-238, übertragen auf Graph 9; Graph 11 = Daten des Profils 9, übertragen auf Graph 10; vgl. Tabelle 1 Spalten d, e. Die Ähnlichkeit der Graphen mit denen in Abb. 8 beweist, daß die Datierungsdifferenzen hauptsächlich durch die ignorierte Setzung entstanden (vgl. Abb.8).

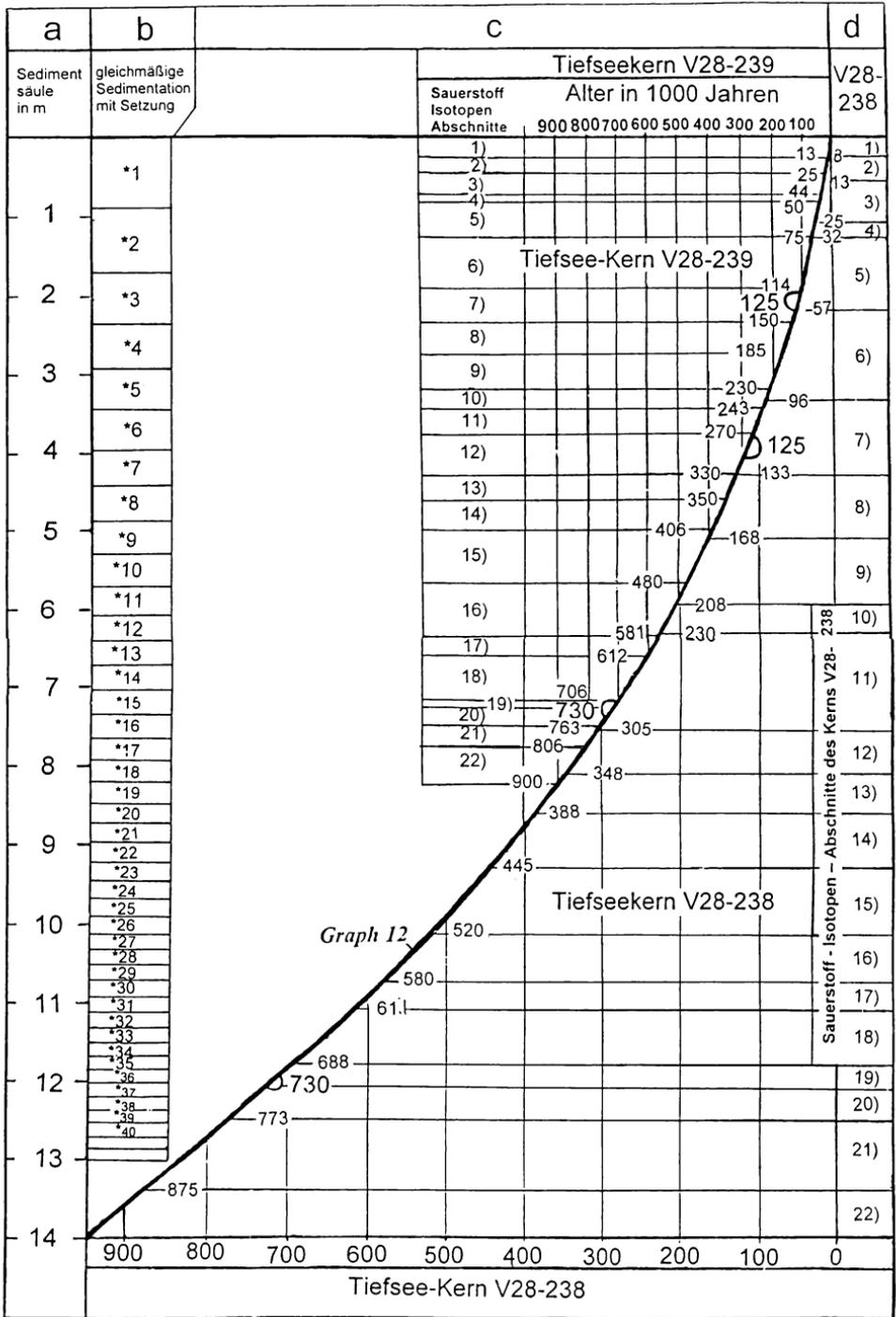


Abbildung 5. Setzungskurve der Tiefseekerne V28-238 und V28-239 (vgl. Abb. 7)

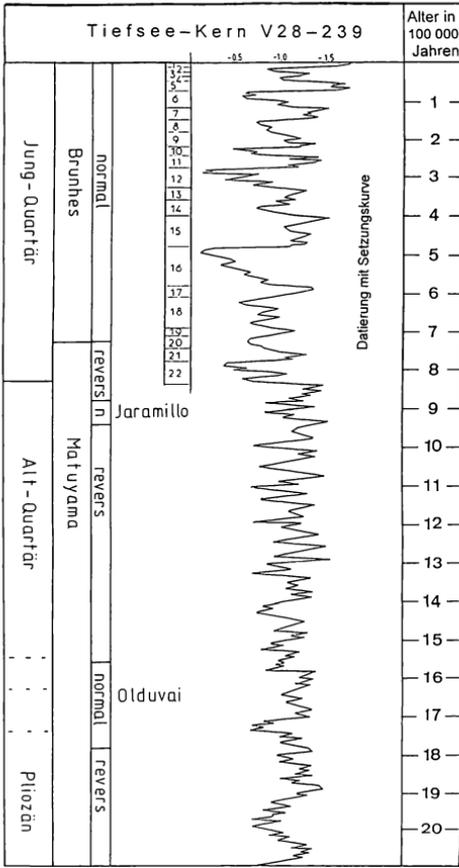


Abbildung 6. Sauerstoff-Isotopen-Kurve des Kerns V28-239, datiert nach Setzungskurve. Zur Zeit die beste Übersicht über die Vereisungsschwankungen des Eiszeitalters (THOME 1997, 1998).

Gegeben sind zwei gleich alte, aber verschieden mächtige Sedimentsäulen A (7,1 m) und B (13 m). Es lassen sich in jeder Säule 7 Schichten unterscheiden, die jeweils genau 100 000 Jahre zu ihrer Ablagerung unter einer gleichbleibenden stetigen Sedimentation benötigten. Die Sedimentationsrate war in Sedimentsäule B genau dreimal so hoch, wie in Sedimentsäule A. So betragen die aus der Setzungskurve in Abb. 7 (= Graph 7) ermittelbaren reellen Alter an der Basis der Schichten jeweils 100 000 bis 700 000 Jahre (Spalten g und h in Tab. 3, Graph 7 in Abb. 7). Datiert man die Sedimentsäulen mit dem Verfahren der linearen Interpolation, ergeben sich beträchtliche Datierungsfehler

(Spalten d und e in Tab.3; Graph 2 und Graph 3 in Abb.8). Die Ähnlichkeit der durch lineare Interpolation entstandenen Datierungsfehler in dem theoretisch vereinfachten Beispiel (Abb. 7 u. 8, Tab. 3), optisch dargestellt durch die Graphen 1 und 4 in Abb. 8, mit den durch lineare Interpolation entstandenen Datierungsfehlern in den Tiefseekernen V28-238 und V28-239, optisch dargestellt durch die Graphen 8 und 11 in Abb. 4, sind ein sicherer Beweis für die Existenz einer erheblichen Setzung in Tiefseesedimenten.

Die durch lineare Interpolation ermittelten Alter (Tab. 3, Spalten d und e) sind in den durch Setzung deformierten Profilen A und B nicht nur viel zu hoch, sondern auch in gesetzmäßiger Weise verschieden groß, denn die größten Unterschiede zeigen sie im größeren Abstand von den vorgegebenen Daten 0 (= Oberfläche des Abschnitts 1) und 700 (Basis des Abschnitts 7). Die Differenz der Daten (Spalte f) ist Ausdruck setzungsbedingter Unterschiede der Schichtmächtigkeiten.

Die in den Graphen 1 und 4 der Abb. 8 dargestellten, durch lineare Interpolation entstandenen Altersdifferenzen der idealen Sedimentprofile A und B entsprechen den durch lineare Interpolation entstandenen Altersdifferenzen der Sauerstoff-Isotopen-Kurven der Tiefseekerne V28-239 und V28-238 in den Graphen 8 und 11 der Abb. 4. Zwar stecken in den Daten der Tiefseekerne auch lokale Sedimentationsstörungen, die große Übereinstimmung ihrer Graphen 8 und 11 (Abb.4) mit den allein Setzungsunterschiede darstellenden Graphen 1 und 4 in Abb. 8 in den idealen Profilen A und B ist ein sichtbarer Beweis für die erhebliche Setzung in Tiefseesedimenten.

5. Sedimentationsbedingungen karbonatischer Tiefseesedimente

5.1. Kompaktion und Setzung

Durch Labormessungen wurde das Fehlen einer nennenswerten Kompaktion in den Tiefseesedimenten nachgewiesen. Da normalerweise die Größe einer Setzung aus der Größe der Kompaktion ableitbar ist, wurde aufgrund der Messungen eine nennenswerte Setzung der karbonatischen Tiefseesedimente verneint. Damit schien die Anwendung der linearen Interpolation zur Altersbestimmung berechtigt. Durch den Nachweis einer erheblichen Setzung (s.

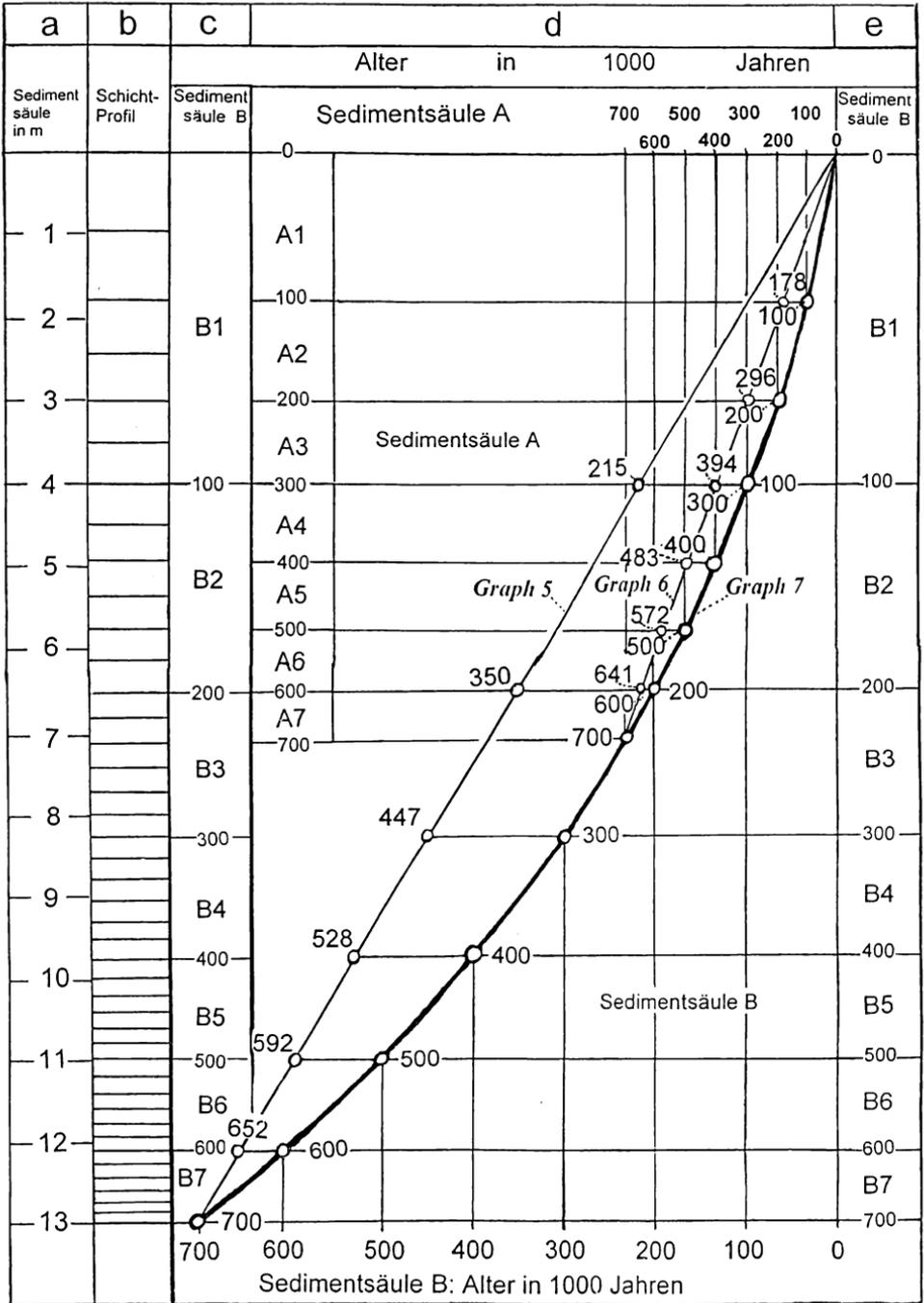


Abbildung 7. Gedankenexperiment (vgl. Abb.5) Setzungskurve (Graph 7) der theoretischen Schichtprofile A und B und die Geraden Graph 5 und 6 der linearen Interpolation. Die Profile enthalten keinerlei Sedimentationsstörungen. Aus den Datendifferenzen der linearen Interpolation kann die Setzungskurve ermittelt werden.

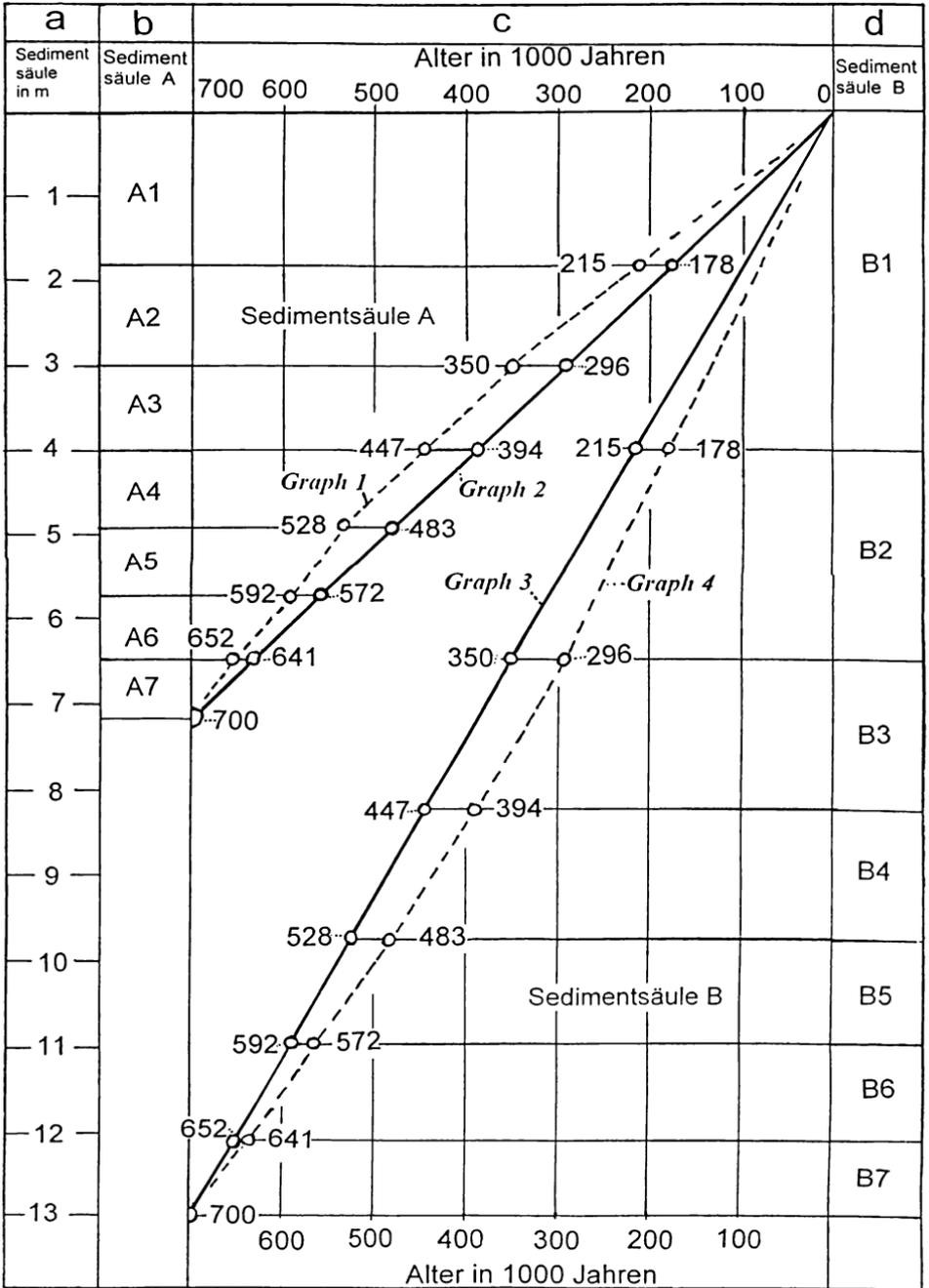


Abbildung 8. Gedankenexperiment: (vgl. Abb.4 u. Tab.3)

Profile A (Graph 1 u.2) und B (Graph 3 und 4), datiert durch lineare Interpolation. Ermitteln der Setzungskurve der Abb.7 aus gesetzmäßigen Datierungsdifferenzen der linearen Interpolation. Trägt man auf dem Graphen 2 (Profil A) die Werte des Graph 3 (Profil B) ein, erhält man Graph 1; trägt man umgekehrt auf dem Graphen 3 (Profil B) die Werte des Graphen 2 (Profil A) ein, erhält man Graph 4. Die Graphen 1 und 4 zeigen erhebliche Datierungsdifferenzen, die nur durch Setzung entstanden.

Kap. 4) wird aber deutlich, daß lineare Interpolation unbrauchbar ist und daß zur Datierung die Setzungskurve ermittelt werden muß. Der Irrtum, der zur falschen Datierung führte, entstand durch die vorweggenommene Gleichsetzung von Kompaktion und Setzung. Die karbonatischen Tiefseesedimente unterliegen aber anderen Sedimentationsregeln, sie können sich setzen ohne gleichzeitig sich zu verdichten:

5.2. Sedimentgerüst

Die aus dem Ozeanwasser herabsinkenden feinkörnigen Fragmente erfahren nach ihrer Auflagerung auf dem Meeresboden schon früh eine Verklammerung mit anderen Teilchen. Es entstehen relativ stabile Gerüste, die große Porenräume umschließen. Auch spielt die Form der Fragmente eine Rolle: Foraminiferenschalen sind kleine Hohlkugeln, sie halten Belastungen von über 100 Metern Sedimentdicke aus, ohne zu zerbrechen (u.a. PRENTICE et al.1993: MAYER et al.1993:623,). Karbonatische Tiefseesedimente bestehen teils aus diesen Hohlkugeln, teils aus Fragmenten ohne Hohlraum, die sich zwar etwas stärker verdichten, aber auch durch Verklammerung an der Bildung großer Porenräume beteiligt sind. Mit abnehmender Meerestiefe bzw. zunehmender Höhe des Meeresbodens steigen nicht nur die Sedimentationsraten und mit ihnen die Profil-

mächtigkeit sondern auch die Größe der Sedimentationsstörungen (Tab. 2, Abb. 9). Höhergelegene Meeresböden eignen sich daher weniger zur Datierung als tiefer gelegene.

Die Abnahme der Mächtigkeit karbonatischer Tiefseesedimente mit zunehmender Meerestiefe entsteht durch fortschreitende Auflösung der herabsinkenden karbonatischen Foraminiferenkügelchen im kalkaggressiven Meerwasser. In einer Tiefe von 4000 m sind alle Schalen gelöst, darunter bildet sich kein Kalkschlamm mehr, sondern nur roter Tiefseeton. Die Tiefe, in der die letzten Schalenreste verschwinden, heißt CCD = carbonate compensation depth. Der Tiefenbereich wenige hundert Meter über der CCD, in dem nur Fragmente der Foraminiferenkugeln auf dem Meeresboden ankommen, wird nach oben – gegen den Sedimentationsraum, der noch vollständige Kugeln enthält, durch die Lysokline begrenzt. Als Lysokline bezeichnet BERGER 1968 (in CHESTER 1989) die Grenzzone, bis zu der die herabsinkenden Foraminiferenkugeln in Spangen aufgelöst sind und unter der nur noch spangenartige Fragmente den Meeresboden erreichen. Unter der Lysokline sind die Schalenreste feiner, die Sedimentationsraten geringer und gleichmäßiger; dadurch verringern sich dort auch die durch wechselnde Sedimentationsraten verursachten Sedimentstörungen (Tab.2, Abb.9 und THOME im Druck).

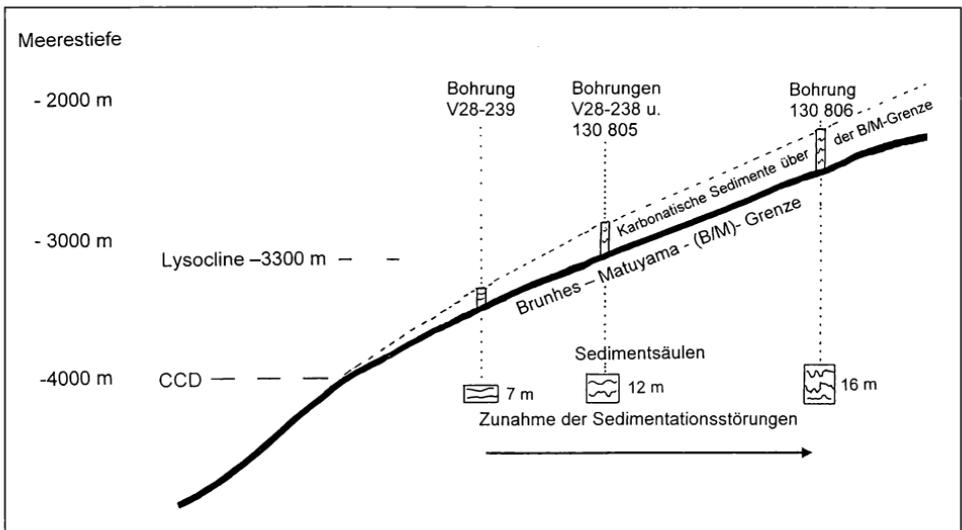


Abbildung 9. Karbonatische Tiefseesedimente auf dem Ontong-Java-Plateau (u.a. BERGER et al. 1993b; Kap. 5.2).

Die 1990 vom Ontong-Java-Plateau geborgenen Sedimentprofile (ODP 1993) stammen vorwiegend aus Meeresbodenbereichen über der Lysokline. Der große Informationsgehalt der Isotopenkurve des Kerns V28-239, der aus Bereichen unter der Lysokline stammt, zeigt, daß Sedimentprofile unterhalb der Lysokline für Datierungen besonders interessant sein können (Kap. 6.2).

5.3. Gesteinsauflösung unter Druck?

Die beträchtliche Setzung der karbonatischen Tiefseesedimente erfolgt nicht durch Verdichtung, sondern durch Gesteinsauflösung. Sie konnte an Sedimentproben erkannt, aber zahlenmäßig nicht erfasst werden (u.a. BERGER et al. 1993b:711 f.). Ihr Umfang ergab sich erst aus Setzungsberechnungen. Die großen Porenräume der Tiefseesedimente stützen die Annahme von tief in die Schichtstapel reichenden Verbindungswegen der gelösten Karbonate zur Sedimentoberfläche.

Die Karbonatauflösung in den Tiefseeablagerungen erinnert an die aus vielen terrestrischen Kalksteinen bekannte Auflösung unter Druck, die sich in der Ausbildung von Styolithen dokumentiert. Vielleicht findet eine ähnliche, wenn auch schwache Drucklösung an Kontaktstellen der feinkörnigen Fragmente unter dem Belastungsdruck der Sedimentmächtigkeit statt. Insgesamt zeigt das Beispiel der karbonatischen Tiefseesedimente, daß nicht jede Setzung durch Kompaktion kompensiert sein muß.

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1. Tiefseesedimente

Eine erhebliche Setzung der Tiefseesedimente ist nachweisbar. Sie entstand nicht durch Verdichtung (= Kompaktion), sondern durch Auflösung karbonatischer Fragmente. Zwar sind alle Datierungen mit mehr oder weniger großen Unsicherheitsfaktoren behaftet, doch weichen die mit linearer Interpolation ermittelten Daten so stark vom wirklichen Alter ab, daß sie unbrauchbar sind. Das betrifft auch das Eem-Interglazial: Nach linearer Interpolation soll es 125 000 Jahre alt sein, nach der Setzungskurve ist es ca. 70 000 oder 80 000 Jahre alt.

6.2. Bohrkern V28-239

Es gibt in der Erforschung des Eiszeitalters eine verwirrende Fülle verschiedener Deutungen der vorhandenen Befunde, was Alter und Zugehörigkeit zu einzelnen Zeitabschnitten betrifft (u.a. EISSMANN & LITT 1994, EISSMANN 1997, SCHIRMER 1995). Viele Einstufungen beruhen auf unsicheren Grundlagen, hierzu zählen insbesondere fehlgedeutete Geländebeefunde, nicht erkannte Schichtlücken und unsichere Datierungen.

Nachdem mit der Setzungskurve die Datierung der Tiefseesedimente auf eine tragbare Basis gestellt werden konnte, erweist sich die Sauerstoff-Isotopen-Kurve des Tiefseekerns V28-239 als die einzige, die ohne große offensichtliche Störungen einen bisher einzigartigen Überblick über das Eiszeitalter gestattet (Tabelle 4 und 5).

Tabelle 4. Nordeuropäische Glaziale im Tiefseekern V28-239

Isotopenabschnitt	Glaziale der Tiefseegliederung und Nordeuropäische Inlandeise		Reichweite in Deutschland
2	Glazial 2	Weichsel-Glazial (W)	Brandenburger Std. zw. Brand. u. Pomm. Std.
4	Glaz. 4, unerkant unter Gl. 2		
6	Glazial 6	Saale-3 (SIII)	südl. von W, nördl. v. SII
8	Glazial 8, unter Gl. 6	nicht erkannt	südl. v. W, nördl. v. S III
10	Glazial 10	Saale-2 (SII)	südl. v. SIII, nördl. v. SI
12	Glazial 12	Saale-1 (SI)	Niederrhein
14	Glazial 14, unter Gl.10 u. 6	nicht erkannt	zwischen W und SIII (?)
16	Glazial 16	Elster-Gl. (E)	Niederrhein
18	Glazial 18, unter Gl.16 u. 12	nicht erkannt	zw. SIII und SII (?)
20	Glazial 20, unter Gl.16 u. 12	nicht erkannt	zw. SIII und W (?)
22	Glazial 22 a,b, Reste selten	Anger/Don Gl	Niederrhein

Tabelle 5. Quartärgliederung durch Datierung der Tiefsee-Sedimente

Mit linearer Interpolation falsche Datierung:

Trotz Verwendung verschiedener Tiefseekerne ergibt sich kein eindeutiger Zusammenhang mit kontinentalen Befunden. Es werden wiederholte Klimaschwankungen von etwa gleicher Dauer vermutet

Mit Setzungskurve richtige Datierung:

Sie ergibt in Kombination mit der Sauerstoff-Isotopen-Kurve des Tiefsee-Kerns V28-239 eine realistische Quartärübersicht, die mit kontinentalen Befunden übereinstimmt. Das Quartär besteht aus Klimaschwankungen ungleicher Größe und Dauer.

Die Datierung der Tiefseekerne nach dem Verfahren der linearen Interpolation hat große, seit langem bestehende Probleme nicht lösen können. Sie lieferte keine überzeugende zeitliche Verklammerung für das Neben- oder Nacheinander kontinentaler Ereignisse. Versuche, die Reihenfolge der Glaziale durch Abzählen vom jüngsten zu den älteren zu erfassen, konnten nicht gelingen, weil Spuren kleinerer älterer Eisvorstöße durch jüngere vernichtet wurden. Weil aus vielen Einzelbefunden keine klaren Zeitvorstellungen und daher keine überzeugend deutlichen Übersichten zu gewinnen waren, tendieren Übersichts-darstellungen dazu, die Klimawechsel in eine Folge etwa gleich großer Schwankungen zu untergliedern und weil kein anderer Faktor erkennbar ist, der regelmäßige Klimaschwankungen verursachen könnte, werden die winzigen Temperaturschwankungen der Erd-bahnelemente als wichtigster Steuerungs-faktor angesehen. Aber die Voraussetzung: Eine Folge gleichartiger Klimaschwankungen ist nur eine nicht bewiesene Vermutung.	falsche Daten (in 1000 J.) durch lineare Interpolation	Isotopen-Abschnitte	richtige Daten (in 1000 J.) durch Setzungskurve	Quartärgliederung Nord-deutschlands	Deutliche Krustenbewegungen	Rheingebiet		Eifel-Vulkanismus
						Erosion	Flußbett (bes. Niederreingebiet)	
		1		Holozän	-		R/ HWB,	
		2		(2)Weichsel Gl.	-	breit	(2)NT	
		3	35	(3)Interstadial	-		(3)NT	
		4		(4)Weichsel Gl.	-	breit	(4)NT	
	125	5	70 – 80	(5)Eem	-		(5)NT	
		6	110	(6)Saale III Gl.	-	breit	(6)NT	Vulkane
	200	7	125	(7)Eemähnlich Glazial 8	-		(7)NT	
		8		(8)Eemähnlich	-	breit	(8)NT	
	300	9	200	(9)Saale II Gl.	-	breit	(9)NT	
	400	10		(10)Eemähnlich	-		(10)NT	
		11		(11)Saale I Gl.	-		(11)NT	
		12	300	(12)Holsteinähn.	klein	breit	(12)NT	Magma-mobilisation.
		13		(13)Glazial 14	-	tief	(12)UMT	
	500	14		(14)Holstein	-	breit	(13)UMT	Vulkane
		15	400	(15)Elster Gl.	-		(14)UMT	
		16	500	(16)Cromer Glazial 18	groß	sehr tief	(15)Hol.IG	
	600	17	600	(17)Cromer Glazial 20	-	breit	Quartär-basis	starke Mag.-mobil.
		18		(18)Cromer Glazial 21	-	breit	(16)OMT	
		19	700	(19)Cromer	-		(17)OMT	
		20		(20)Cromer	-	breit	(18)OMT	
		21	800	(21)Cromer	-		(19)OMT	
	800	22	900	(22)Donglazial b	groß	sehr tief	(20)OMT	erste starke Magma-mob.
				(22)Donglazial a	klein	tief	(22)UHT	
		23		(23)Cromer s. Erl.		breit	(22)OHT	keine Vulkane
						s. Erl.	s. Erläute-rung	

Erläuterung zur Tabelle 5: Glaziale, Interglaziale und Terrassen erhalten als Kennziffer die Nummer des zeitgleichen Sauerstoffisotopenabschnitts in Klammern vor dem Namen, z.B. „(5)Eem“
 Rheingebiet: breit = vorwiegend Seitenerosion, tief = vorwiegend Tiefenerosion, R = holozäne Rheinrinne, HWB = holozänes Hochwasserbett, NT = Niederterrasse, MT = Mittelterrasse, HT = Hauptterrasse, O = Obere, U = Untere

Sie zeigt z.B. eine Mehrzahl Eem-ähnlicher Interglaziale, und zwar mehr als bisher unterscheidbar sind (vgl. KUKLA 1978, URBAN 1997). Anzahl, Dauer und Alter der Eisvorstöße in Norddeutschland sind mangels sicherer Unterscheidungsmöglichkeiten bis heute strittig. Kern V28-239 zeigt nicht nur eine klare zeitlich datierte Reihenfolge der bekannten Glaziale und bindet sie in eine weltweite Eiszeitgliederung ein. Er zeigt auch Eisvorstöße, deren Ränder durch jüngere überfahren und deren Spuren, soweit überhaupt erhalten, kaum deutlich von den jüngeren unterscheidbar sind. Die Isotopenkurve zeigt, daß eine Gleichsetzung der norddeutschen Endmoränenzüge mit den letzten Glazialen falsch ist. Es stellt sich die Aufgabe, unter jüngeren Gletscherspuren Reste der überfahrenen zu identifizieren um ihre maximale Ausdehnung zu erkennen.

Bohrkern V28-239 liefert zur Zeit nicht nur die wirklichkeitsnächste Datierung, sondern aufgrund der geringen Störung seiner Isotopen-Maxima auch eine einzigartige Übersicht über das ganze Eiszeitalter. Die Proportionalität seiner Isotopenschwankungen erstreckt sich sicher auf die Zeit vom Beginn des Isotopenabschnitts 16 = Glazial 16 = Elstervereisung vor ca. 600 000 Jahren bis heute. Diese überraschend genaue Übereinstimmung berechtigt zu der Annahme, daß auch die älteren Kernabschnitte dieses einzigartigen Kerns wirklichen Vereisungsschwankungen entsprechen. Besondere Bedeutung hat diese Vermutung für die Entstehung der Rheinterrassen und des Eifelvulkanismus (THOME im Druck): Vor dem Elsterglazial hat, nach seinen Auswirkungen auf die Erdkruste zu urteilen, nur ein einziges, bisher weitgehend unbekanntes Glazial (nach der Isotopenkurve des Kerns V28-239 war es das Glazial 22) eine ähnliche Größe wie das Elster-Glazial (= Glazial 16) gehabt. Zwar sind seine Maxima (es hat 2 große: a und b) kleiner als die des Abschnitts 16, nach seinen morphologischen Auswirkungen aber muß es etwa gleich groß gewesen sein. Daher wird angenommen, daß, obwohl der höhere, jüngere Kernabschnitt (über Abschnitt 17) fast völlig frei von Sedimentstörungen ist, im tieferen, insbesondere im Abschnitt 22, die Extremwerte der Isotopenkurve durch eine geringe Erosion vor der Überdeckung reduziert wurden.

Im Hinblick auf die Genese der Oberen und Unteren Rheinhauptterrasse deutet sich ein

Unterschied zwischen den Glazialen 22 und 16 an: Im Glazial 16 hat ein einziger großer, lang dauernder Eisvorstoß Krustenbewegungen verursacht, im Glazial 22 haben anscheinend zwei große Eisvorstöße hintereinander zu zweimaligen Krustenbewegungen geführt: Glazial 22a, etwa in den Dimensionen des Glazials 12, Glazial 22b in den Dimensionen des Glazials 16 (Tab.5, Abb.10 und THOME 1998: 203).

Die zur Vereisungsgeschichte der Erde weitgehend proportionale Isotopenkurve des Kerns V28-239 zeigt eine unregelmäßige Folge großer und kleiner, längerer und kürzerer Glaziale. Besonders wichtig ist die bisher durch keine andere Darstellung erreichte Einsicht in Größenverhältnisse und Struktur des Quartärs. Von Glazialen vor dem Sauerstoff-Isotopen-Abschnitt 16 sind fast nur Erosionsformen erhalten. Die heutige Landschaft wurde hauptsächlich von den beiden größten Glazialen (Abschnitte 22 und 16) geprägt, aber auch die Glaziale 12 und 2-4 hinterließen morphologisch deutliche Spuren; diese 4 veranlaßten wohl einst die klassische Gliederung des Eiszeitalters in Günz, Mindel, Riß und Würm (Abb. 10 u. THOME 1998:203f.).

6.3. Übersicht über den Ablauf des Quartärs

Quartärgliederungen umfassen meistens nur einen Teil des Eiszeitalters und stellen den Gesamtverlauf in mehr oder weniger schematischen, etwa gleich großen Klimaabschnitten dar. Die Isotopenkurve des Kerns V28-239 weicht von diesem Schema deutlich ab (vgl. u.a. die Quartärgliederungen in FIEDLER 1997). Sie bietet das bisher beste Abbild der Vereisungskurve der Erde und gewährt nicht nur eine klare Übersicht, sondern enthält Einzelheiten in einer bisher nicht bekannten zeitlichen Verknüpfung (Tab.5, und THOME 1997, 1998, und im Druck).

Glazial 22 bezeichnet den Beginn starker quartärer Krustenbewegungen mit kräftiger Tiefenerosion und Vulkanismus. Auch Moränenreste sind bekannt: Anger-Glazial bei Düsseldorf und Donglazial im Dongebiet (THOME 1991, 1998). Vielleicht gehören Teile der „Feuersteinlinie“ in Sachsen und Thüringen dazu, denn die kristallinen Geschiebe dieses Glazials sind bei Düsseldorf so stark zersetzt, daß von Ferngeschieben nur Feuersteine erhalten blieben. Vor Abschnitt 22 liegt das Frühquartär mit vergleichsweise kleinen Klimaschwankungen.

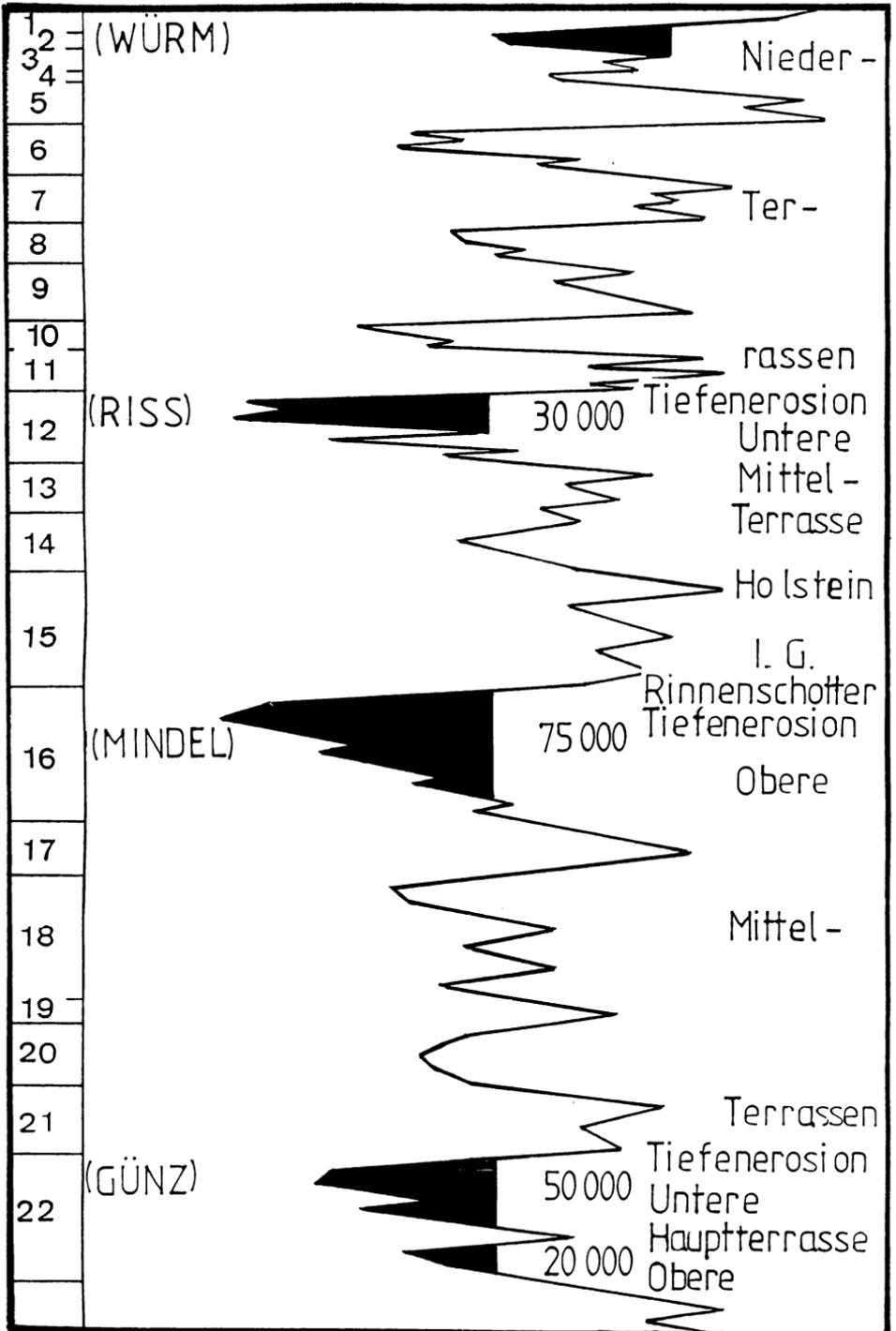


Abbildung 10. Sauerstoff-Isotopen-Kurve des Kernes V28-239, Morphologisch wichtige Glaziale schwarz angelegt

Der Zeitabschnitt der großen Vereisungen begann also ziemlich unvermittelt. Es scheint ein ursächlicher Zusammenhang zu bestehen zwischen den ganz großen Glazialen 22, 16 und 12 und Krustenbewegungen, die sich in der Bildung der Flußterrassen im Rheingebiet und der Mobilisation vulkanischer Magmen im Eifelraum auswirkten.

Oft wurde die Terrassengeschichte des Rheins als Sonderfall angesehen, weil an kleineren Flußläufen das Schema der „Terrassentreppe“ entwickelt worden war (Terrassentreppe = Folge treppenartig angeordneter Terrassen, die jeweils die Erosion und Aufschüttung durch ein Glazial repräsentieren sollen). Der Rhein aber hatte eine so große Erosionskraft, daß er die relativ starken Krustenhebungen der Glaziale 22 und 16 jeweils noch im gleichen Glazial durch Tiefenerosion weitgehend ausglich (Tab.5, THOME 1991, 1998:200 f. und im Druck). Das dritte große Glazial (Abschnitt 12) war trotz ähnlich großer Eismasse weniger wirksam als die Glaziale 22 und 16, vermutlich deshalb, weil es etliche Jahrzehntausende kürzer war. Grob geschätzt beträgt die zeitliche Dimension der Glaziale 22 und 16 etwa um 100 000 bis 130 000 Jahre, die des Glazials 12 etwa 60 000 Jahre (Tab.5 u. THOME im Druck), die Vereisungsmaxima, die nur einen Teil der Glazialabschnitte umfassen, verhielten sich vielleicht wie 50 000 bis 80 000 zu 20 000 bis 30 000 (Abb.10).

Ob die Folge der großen und kleinen Glaziale einer übergeordneten Steuerung unterliegt, mögen spätere Untersuchungen erörtern. Vielleicht ist es kein Zufall, daß die ganz großen Vereisungen voneinander durch Zeitabschnitte kleinerer Klimaschwankungen getrennt sind.

Die Wärmemaxima bzw. Eisminima der Interglaziale sind in Isotopenkurven weniger deutlich ausgebildet als die Eismaxima der Glaziale, vermutlich infolge stärkerer Sedimentationsstörungen in Zeitabschnitten der Erwärmung. Bei den Störungen der Extremwerte der Sauerstoff-Isotopen-Kurven dürfte es sich um leichte Erosionen an der Sedimentoberfläche gleichzeitig oder kurz nach der Sedimentation der Extremwerte handeln.

Es gibt mehrere Eem-ähnliche Interglaziale (vgl. URBAN 1997). Auf Grund bodenkundlicher Erwägungen hat KUKLA (1978) ebenfalls mehrere Eem-ähnliche Interglaziale vermutet. Im Hinblick auf die starke quartäre Erosion und

relativ langsame floristische Entwicklung scheint es nicht verwunderlich, daß bisher erst wenige unterschieden werden konnten. Echte Eem-Bildungen gehören zum Isotopenabschnitt 5 (in Tab.5 = (5)Eem). Es hat den Anschein, daß die Interglaziale des Saale-Komplexes (Abschnitte 5, 7, 9, 11) eem-ähnliche, die Interglaziale des Elster-Komplexes (Abschnitte 13, 15) holsteinähnliche, die Interglaziale des Cromer-Komplexes (Abschnitte 17, 19, 21, 23) cromerähnliche Florengemeinschaften haben.

Die Folge der Vereisungen zeigt keine deutliche Regelmäßigkeit. Eine Übereinstimmung mit den nach der Methode von MILANKOVIC aus Erdbahnelementen errechneten Klimazyklen ist nicht erkennbar.

Literatur

- BERGER, W. H., BICKERT, T., SCHMIDT, H., WEFER, G. & YASUDA, M. (1993a): Quaternary oxygen isotope record of pelagic foraminifers: Site 805, Ontong Java Plateau. - in: O.D.P.Vol.130, Scientific results, Sites 803-807, Library of Congress, USA, 363-395
- BERGER, W. H., LECKIE, R. M., JANECEK, T. R., STAX, R. & TAKAYAMA, T. (1993b): Neogene Carbonate Sedimentation on Ontong Java Plateau - Highlights and open Questions - in: O.D.P.Vol.130, Scientific results, Sites 803-807, Library of Congress, USA, 711-744
- BOWEN D. Q. (1979): Quaternary correlations. - Nature Vol. 277, 171-172
- BRUNNACKER, K. (1990): Gliederung und Dauer des Eiszeitalters im weltweiten Vergleich. - in: LIEDTKE, H. (Hrsg. 1990) Eiszeitforschung. - Wiss. Buchges. Darmstadt, 55-68
- CEPEK, A. G. (1976): Atlas DDR 5: Geologie - Quartär 1:750 000. - VEB Gotha-Leipzig
- CHESTER, R. (1989): Marine Geochemistry. - Unwin Hyman, London, Boston, Sydney
- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - Enke Verl., Stuttgart, 358 S.
- EISSMANN, L. & LITT, TH. (Hrsg. 1994): Das Quartär Mitteldeutschlands. - Altenb. Naturw. Forsch. H. 7, Altenburg
- EISSMANN L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. - Altenb. Naturw. Forsch. H. 8, Altenburg
- FIEDLER, L. (1997): Die Suche nach den kulturellen Anfängen. -In: FIEDLER L. (Hrsg., 1997): Archäologie der ältesten Kultur Deutschlands - Die Zeit des homo erectus und frühen Neandertalers. - Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hesen, Wiesbaden, Band 18, 1-4
- IMBRIE, J., HAYS, J. D., MARTINSON, D. G. et al. (1984): The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine 18 O record. - in: MILANKOVICH and Climate; NATO Advanced Study Institute; 269-305

- KUKLA, G. J. (1978): The classical European glacial stages: Correlation with deep sea sediments; *Transact. Nebraska Acad. Sciences*, v. **VI**, 57-93
- LIEDTKE, H. (1990): Stand und Aufgabe der Eiszeitforschung. - in: LIEDTKE, H. (Hrsg.) *Eiszeitforschung*. - Wiss. Buchges. Darmstadt, 40-54
- MAYER, L. A., JANSEN, E., BACKMAN, J., TAKAYAMA, T. (1993): Climatic cyclicity at site 806: The GRAPE Record. - *Proc. O.D.P. Vol. 130*, 623-639
- O.D.P. Ocean Drilling Program (1993): *Vol. 130: Scientific results, Sites 803-807*, Library of Congress, USA
- PRENTICE, M. L., FRIEZ, J. K., SIMONDS, G. G. & MATTHEWS, R. K. (1993): Neogene trends in planktonic foraminifer delta 18O from site 807: Implications for global ice volume and western equatorial Pacific sea surface temperatures. - in: *O.D.P. Vol. 130, Scientific results, Sites 803-807*, Library of Congress, USA, 281-305
- SHACKLETON, N. J. & OPDYKE, N. D. (1973): Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238; *Quaternary Research*, v.3.1: 39-55;
- SHACKLETON, N. J. & OPDYKE, N. D. (1976): Oxygen-Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Pacific Core V28-239, *Geol. Soc. America Mem.* **145**, 449-464
- SCHIRMER, W. (1995): *Quaternary field trips in Central Europe*. - Verlag Friedrich Pfeil, München
- THOME, K. N. (1991): Die Basis der quartären Schichten am Niederrhein (zwischen Neuss, Rheinberg, Geldern) und ihre Entstehung durch Rhein- und Gletschererosion. - in: *Niederrhein. Landeskunde. Band X*, Niederrhein-Verlag, Krefeld, 109-130
- THOME, K. N. (1997): Gliederung des Eiszeitalters nach den Sauerstoff-Isotopen-Verhältnissen der Tiefsee-Kerne und Einstufung von Niederrhein-Terrassen. - in: FIEDLER L. (Hrsg.): *Archäologie der ältesten Kultur Deutschlands - Die Zeit des homo erectus und frühen Neandertalers*. - Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hessen, Wiesbaden, Band **18**, 280-287
- THOME, K. N. (1998): *Einführung in das Quartär – Das Zeitalter der Gletscher*. - Springer Berlin, Heidelberg New York
- THOME, K. N. (im Druck): Revision der marinen Chronologie des jüngeren Quartärs und die Geschichte der Rheinterrassen. - in: SCHIRMER W.: *Landschaftsgeschichte im europäischen Rheinland*. - Rhein-Verlag, Brauweiler
- URBAN, B. (1997): Deutschland im Alt- und Mittelpleistozän. - in: FIEDLER L. (Hrsg.): *Archäologie der ältesten Kultur Deutschlands - Die Zeit des homo erectus und frühen Neandertalers*. - Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hessen, Wiesbaden, **18**, 5-15

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. KARL N. THOME, Hammersteinstraße
28, D - 47807 Krefeld

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [153](#)

Autor(en)/Author(s): Thome Karl N.

Artikel/Article: [Neudatierung des Eiszeitalters nach Tiefseesedimenten Berichtigung eines Rechenfehlers und Folgen für die Rheinlandgeologie 241-259](#)