

Sedimentchemische Untersuchungen zur Umweltgeschichte des westlichen Unterseegebietes (Kern US 8707)

Von Wolfgang Ostendorp, Limnologisches Institut, Universität Konstanz,
Wilfried Schmitz, Institut für Sedimentforschung, Universität Heidelberg, und
Michael Sturm, EAWAG-ETH, Dübendorf

1. Einleitung

Während der Bohrkampagne US 87 wurden insgesamt acht Langkerne aus der Profundalzone der einzelnen Becken des Untersees entnommen (*Abb. 1*). Hinter

jedem Kern steht eine besondere Fragestellung. Der Kern US 8707 (Länge 658,5 cm) stammt aus dem südlichen Becken des Zeller Sees aus 26 m Tiefe (Position $8^{\circ}58'24''$ ö. L. v. Greenwich, $47^{\circ}43'14''$ n. Br.). Er steht unter dem Einfluß des Einzugsgebietes der Radolfzeller Aach, deren Wasser am südlichen Zeller See-Ufer vorbeigeführt wird (Schröder 1974). Demgegenüber ist zu erwarten, daß der Einfluß des Seerheins, gegen den das Zeller See-Becken durch eine unterseeische Schwelle abgetrennt ist, verhältnismäßig gering ist.

Am Kern US 8707 wurden eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, von denen ein Teil hier und in den Beiträgen von S. Neukirch und W. Hofmann (in diesem Band) vorgestellt wird. M. Rösch (in Vorbereitung) führte die pollenanalytische Datierung durch, Algen- und Bakterienpigmente wurden von S. Neukirch, subfossile Cladoceren- und Chironomiden-Reste von W. Hofmann untersucht.

2. Ergebnisse

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse der mineralogischen und sedimentchemischen Untersuchungen vorgestellt (*Abb. 13*). Die Mittelwerte der einzelnen lithologischen Einheiten (LE) sind in *Tabelle 2* dargestellt.

3. Umweltgeschichtliche Interpretation

Die umweltgeschichtliche Interpretation der sedimentchemischen und mineralogischen Daten stützt sich auf folgende Parameter:

a) Organischer Kohlenstoff: Hohe C_{org} -Gehalte deuten auf erhöhte Primärproduktion im Freiwasser, auf verminderte C-Mineralisation infolge anaeroben Profundals, oder – im Falle von US 8707 – auf allochthonen Eintrag durch Zuflüsse hin.

b) Gesamt-Phosphor: Hohe P_{ges} -Gehalte im Sediment stammen aus erhöhtem Eintrag aus dem Einzugsgebiet, vorwiegend aufgrund von partikulärer Erosion.

c) Molenbruch X_{Mg} (= Mg/Summe Erdalkalien [atomar]): Hohe X_{Mg} -Werte kennzeichnen einen niedrigen Anteil autochthoner biogen gefällter Carbonate („Seekreide“) am Gesamt-Carbonat.

d) Molenbruch X_{Sr} (= Sr/Summe Erdalkalien [atomar]): Hohe X_{Sr} -Werte charakterisieren in unserer Region den nördlichen Kalkalpen-Raum als glaziales oder hydrologisches Einzugsgebiet (Müller 1969) gegenüber Molasse-Ausgangsgestein oder vulkanogenen Tuffdecken im Hegau.

e) Gesamt-Carbonat (hier als C_{anorg}): Hohe C_{anorg} -Gehalte werden als biogen gefällter Kalk interpretiert. Der Eintrag klastischer Carbonate aus dem Hinterland bildet dabei die geochemische Grundbelastung.

f) Dolomit/Calcit-Verhältnis: Ein hoher Quotient wird mit einem hohen partikulären Eintrag fossiler Carbonate, etwa durch Erosion glaziärer Sedimente und der Molassehänge, parallelisiert.

g) Quarz: Hohe Quarz-Gehalte deuten auf den erhöhten Anteil allochthoner Schwebstoffe bei der Sedimentbildung und damit auf Erosion im Einzugsgebiet hin.

	LE 1	LE 2 oberer Abschnitt	LE 2 unterer Abschnitt	LE 3 oberer Abschnitt	LE 3 unterer Abschnitt
Zeitstellung (nach RÖSCH)	ca. 1800 AD – 1987 AD	ca. 2400 BC – 1800 AD	ca. 6400 BC – 2400 BC	ca. 11000 BP – 10000 BP	ca. 13000 BP – 11000 BP
Sedimentwach- tumsraten (mm/a)	1,7	0,8	0,4	0,5	n. b.
Depositionsraten (kg TS/m ² /a)	0,52	0,46	0,28	0,44	n. b.
Wassergehalt (% d. FS)	73	62	54	43	35
Dichte (g TS/cm ³)	0,31	0,46	0,63	0,89	1,09
Porosität (Vol.-%)	87	81	75	66	58
C _{org.} (g/kg TS)	31	22	22	14	8
C _{anorg.} (g/kg TS)	66	60	76	35	35
Gesamt-Carbonat (g/kg TS)	590	510	650	340	330
S _{ges} (g/kg TS)	7,0	6,0	9,8	8,0	1,9
P _{ges} (ppm TS)	4920	2130	1810	1430	1630
X _{Mg} (· 1000)	28	43	33	131	150
X _{Sr} (· 1000)	0,88	0,74	0,71	0,82	0,64
Quarz (cps)	2350	3580	2470	8110	12170
Dolomit/Calcit (cps/cps)	23	28	14	139	311

Tabelle 2. Bodensee-Untersee, Kern US 8707. Sedimentchemische Durchschnittswerte der lithologischen Einheiten 1, 2 und 3 (vgl. *Abb. 4*); zur Erläuterung der Parameter vgl. auch Legende zu *Abb. 13*.

Die lithologischen Haupteinheiten(LE) werden aus dem Beitrag von Niessen u. Sturm (in diesem Band), die Zeitstellung von Rösch (in Vorbereitung) übernommen.

Die in diesem Kern erfaßten Bölling-zeitlichen Sedimente bestehen zum allergrößten Teil aus partikulärem Eintrag aus den offenen, mit schütterer Vegetation bedeckten Landoberflächen (sehr hoher Dolomit-Anteil, sehr hoher Quarz-Anteil, sehr hohe X_{Mg}-Werte sowie sehr niedrige X_{Sr}-Quotienten, die derzeit noch nicht erklärt werden können). Eine bedeutende Seekreide-Fällung ist noch nicht erkennbar.

Das Allerød ist nur durch eine kurze Kernstrecke repräsentiert, in der sich möglicherweise Hiaten verbergen, so daß auf eine Besprechung verzichtet wird.

In der Jüngeren Dryas geht der Dolomit-Anteil bei nur wenig verändertem C_{anorg.} deutlich zurück; ebenso erfährt der Quarz-Gehalt eine starke Abnahme. Bei-

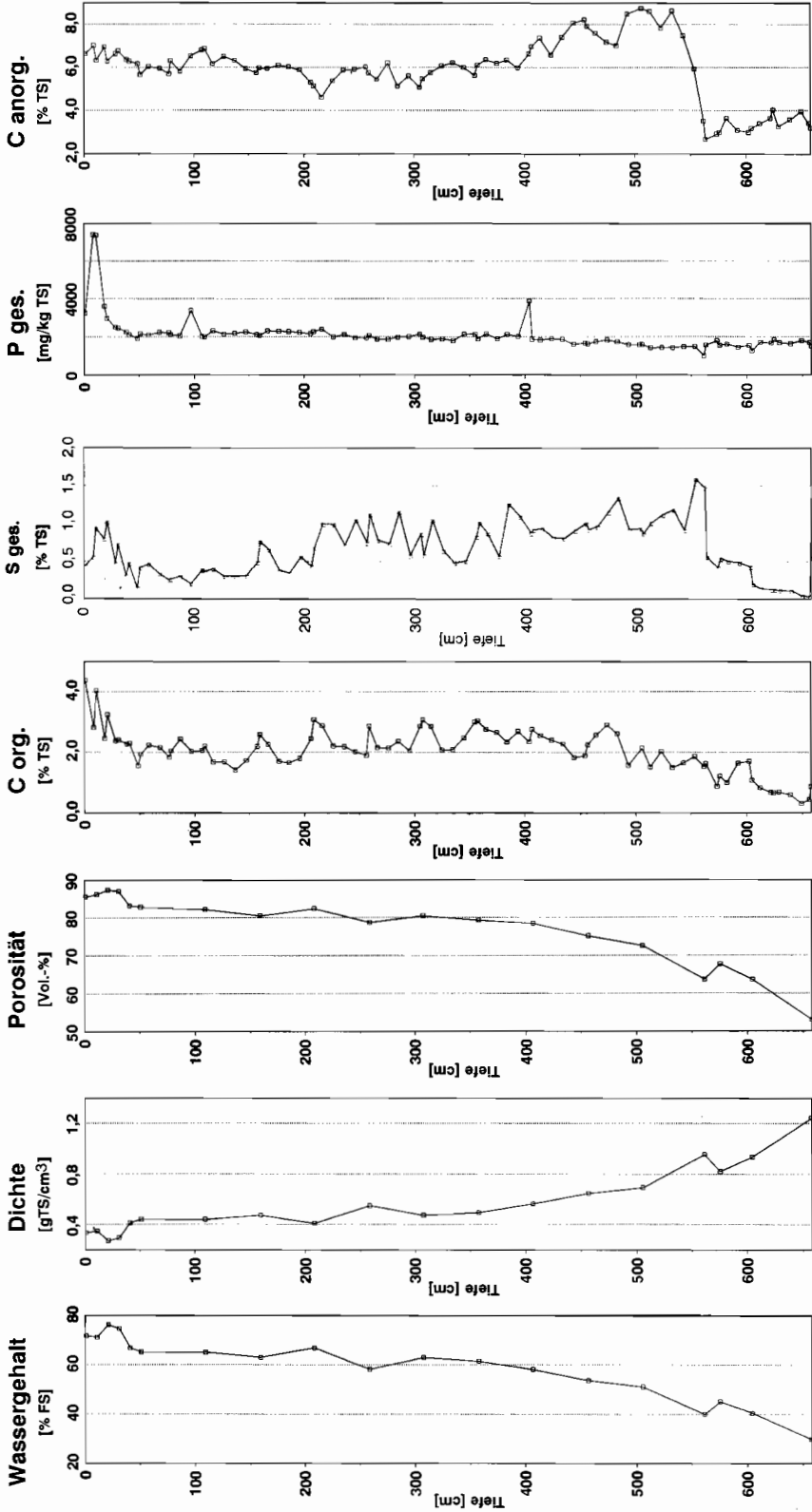


Abb. 13, Anfang. Erläuterungen siehe gegenüberliegende Seite.

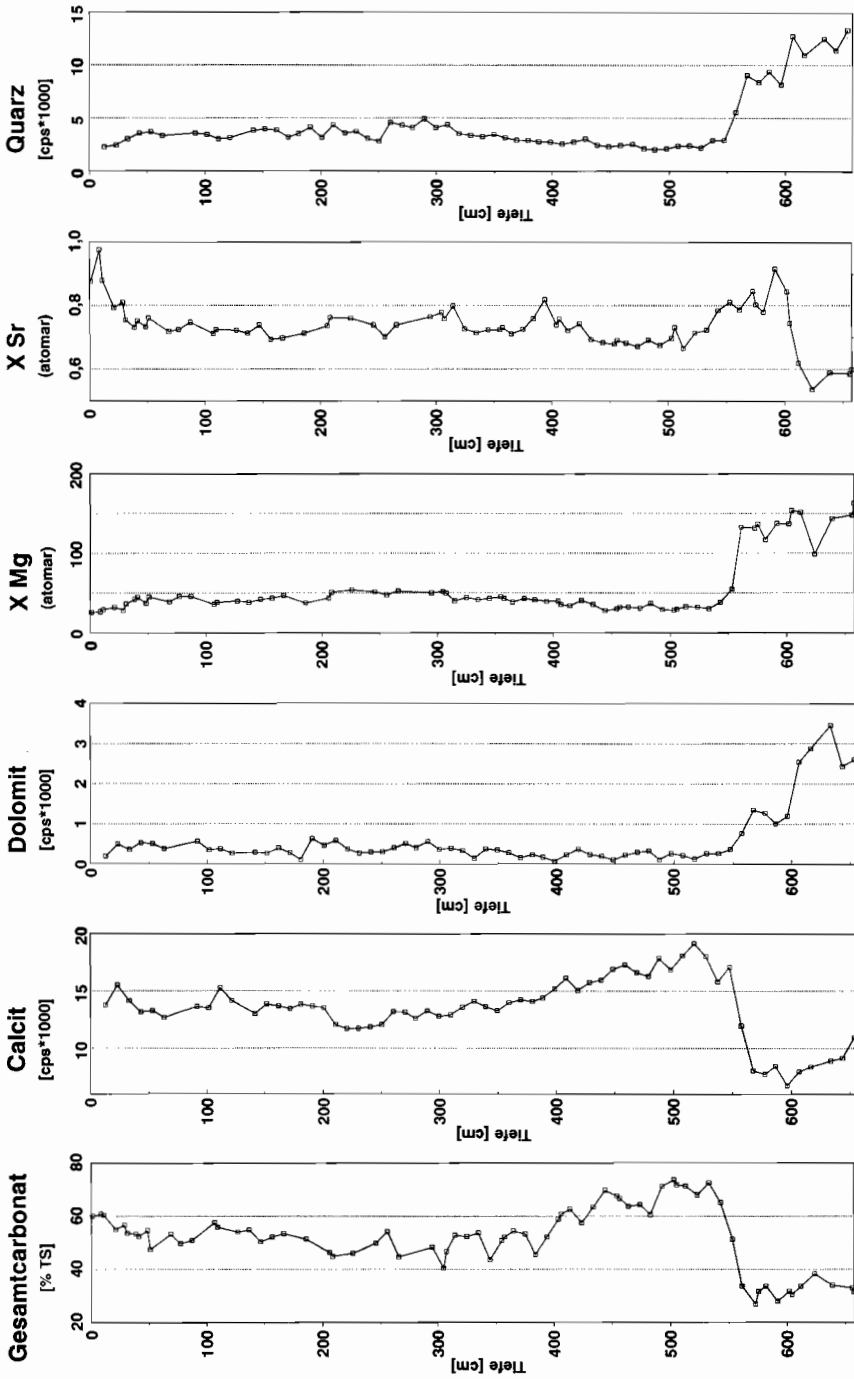


Abb. 13, Schluß. Bodensee-Untersee. Kern US 8707, sedimentchemische Parameter: Calcit, Dolomit und Quarz röntgenspektrometrisch, in relativen Einheiten (counts per second); FS – Frischsubstanz, TS – Trockensubstanz, Gesamt-Carbonat – berechnet als Summe aller Erdalkali-Carbonate, C_{org} , C_{anorg} – organischer, anorganischer Kohlenstoff, S_{ges} – Gesamt-Schwefel, P_{ges} – Gesamt-Phosphor, X_{Mg} – Molenbruch Magnesium (= Mg/Summe Erdalkalien, atomar), X_{Sr} – Molenbruch Strontium (= Sr/Summe Erdalkalien, atomar).

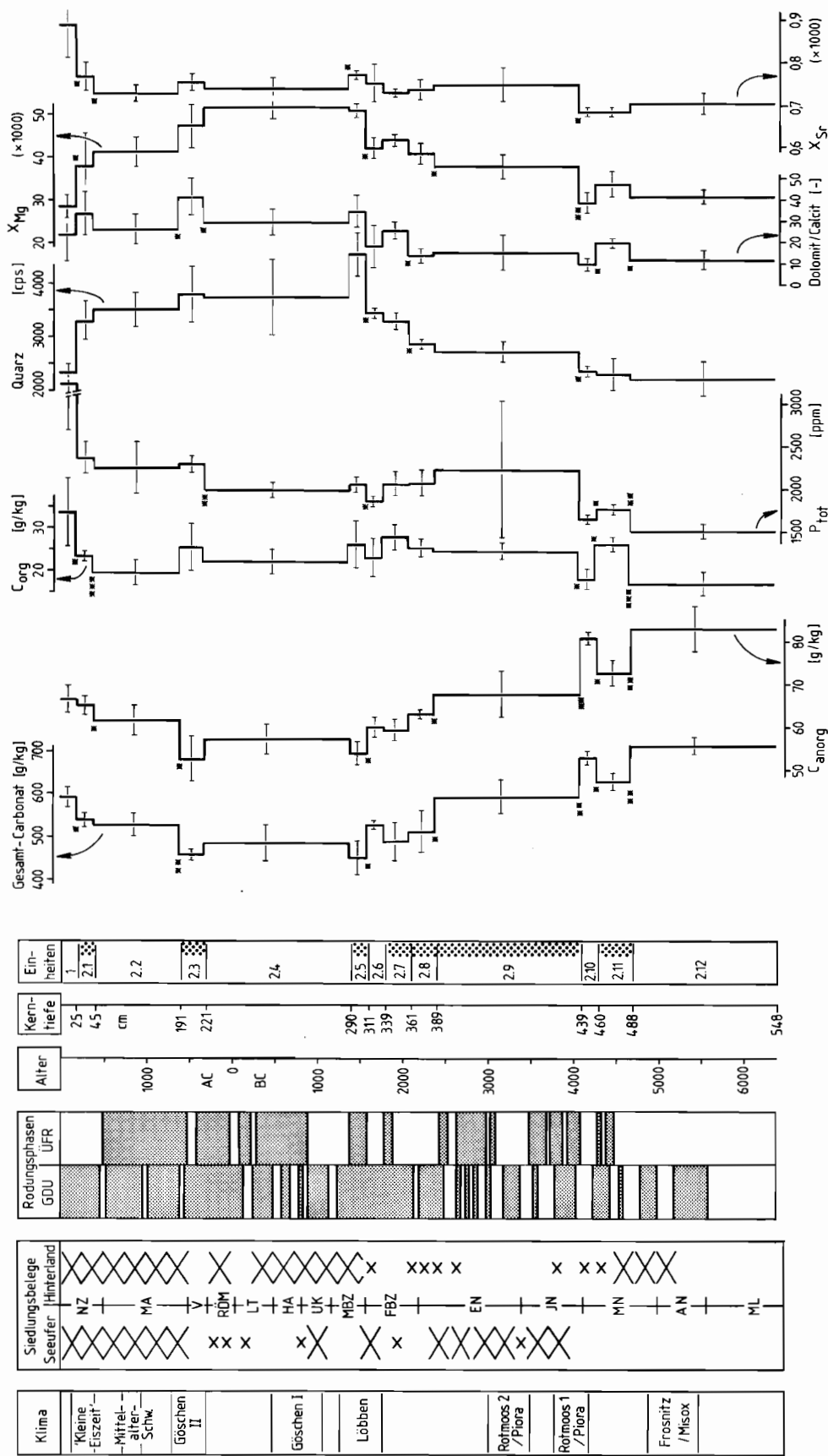


Abb. 14. Bodensee-Untersee. Kern US 8707, Gliederung der holozänen Sedimente. Zu den Erläuterungen siehe S. 277.

des kann als Indiz einer sich vermindernenden Erosion gewertet werden. Die beiden Carbonat-Schichten α und β der LE 3 (vgl. Beitrag Niessen u. Sturm, in diesem Band) sind sedimentchemisch nicht zu identifizieren. Indizien für einen Klimarückschlag sind sedimentchemisch nicht zu fassen.

Die Schichtfolge wird durch einen etwa 2600 Jahre umfassenden Hiatus (oder durch Schichtpakete mit extrem geringen Sedimentwachstumsraten?) unterbrochen, in dessen Hangendem Ablagerungen des Mittleren Atlantikums folgen. Die Ursachen sind nicht bekannt.

Die erhaltenen holozänen Sedimente des Kerns US 8707 lassen sich aufgrund sedimentchemischer Eigenschaften in 13 lithologische Untereinheiten (LUE) aufteilen (*Abb. 14*). Jede Untereinheit repräsentiert einen Abschnitt ähnlicher sedimentchemischer Zusammensetzung, der sich von den folgenden Abschnitten im Liegenden und Hangenden hinsichtlich der meisten Meßgrößen deutlich unterscheidet. Die Abtrennung einer Untereinheit stützt sich auf mindestens drei, meist aber fünf oder mehr Meßpunkte; in der *Abb. 14* sind die jeweiligen Parameter-Mittelwerte wiedergegeben. Jede Untereinheit entspricht einem Wechsel in den Abtragungsbedingungen des Einzugsgebietes oder des Seeufers (Seespiegelschwankungen!) oder in den limnologischen Bedingungen des Freiwassers (z. B. Eutrophierung). Die Ergebnisse der *Abb. 14* stellen einen ersten Gliederungsversuch dar, der durch geringere Probenabstände im Kern US 8707 sowie durch Befunde an anderen Profundalkernen gesichert werden muß.

Mit LUE 2.12 können wir über knapp anderthalb Jahrtausende eine gleichmäßige Seemergelablagerung verfolgen; der Eintrag allochthoner Schwebstoffe und Nährstoffe ist gering. LUE 2.12 repräsentiert wahrscheinlich den Ausgangszustand des Sees in einer weitgehend naturbelassenen Landschaft. Die Frosnitz-Schwankung ist sedimentchemisch nicht erkennbar. Um 4700 BC wird ein erstes Signal sichtbar, das als Indikator einer verstärkten Erosion im Hinterland gewertet wird (LUE 2.11). Das Ereignis dauert nur wenige Jahrhunderte an, und See und Einzugsgebiet kehren um 4300 bis 4100 BC in ihren Ausgangszustand zurück (LUE 2.10). Mit etwa 4100 BC beginnt eine erneute Erosionsphase, die in etwa gleichbleibender Intensität bis

◀ Erläuterungen zu *Abb. 14*

Klima: angegeben sind Kaltphasen nach Patzelt 1972; Patzelt u. Bortenschlager 1973; Pfister 1985; Furrer u. a. 1987. – Siedlungsbelege: nach Schlichtherle (mündliche Mitteilung); Seeufer: Stationen in der Flachwasserzone und an das Ufer angrenzend; Hinterland: Bodanrück und Hegau; kleine Kreuze: Belege selten, große Kreuze: Belege häufig, aneinanderstoßende Kreuze: Siedlungskontinuität belegt. – Kulturstufen und historische Epochen: ML: Mesolithikum; AN: Altneolithikum; MN: Mittelneolithikum; JN: Jungneolithikum; EN: Endneolithikum; FBZ: Frühbronzezeit; MBZ: Mittelbronzezeit; UK: Urnenfelderzeit; HA: Hallstattzeit; LT: Latènezeit; RÖM: Römerzeit; V: Völkerwanderungszeit; MA: Mittelalter; NZ: Neuzeit. – Rodungsphasen: pollenanalytisch nachgewiesene Rodungsphasen nach Rösch 1985a (ÜFR – Feuenried) und Rösch 1990 (GDU – Durchenbergried). – Einheiten: angegeben sind die Untereinheiten (LUE) der lithologischen Einheiten (LE), vgl. Beitrag Niessen u. Sturm; punktiert – Phasen verstärkter Erosionsaktivität. – Sedimentchemische Parameter: angegeben sind die Mittelwerte je LUE (durchgezogene Linie), einfache Standardabweichung der Einzelwerte (Fehlerbalken) und Signifikanz der Mittelwertdifferenzen je zwei aufeinanderfolgender LUE (* – $\alpha < 0,10$, ** – $\alpha < 0,01$, *** $\alpha < 0,001$), $P_{\text{tot}} = P_{\text{ges}}$, vgl.

Legende zu *Abb. 13*

2400 BC anhält (LUE 2.12); auch hier treten die Klimarückschläge Rotmoos 1 u. 2/Piora sedimentchemisch nicht besonders in Erscheinung. In der Zeit von etwa 2500 bis 1500 BC erfolgt eine stufenweise Verstärkung erosiver Prozesse, die allerdings weniger durch den P-Eintrag als vielmehr durch Quarz- und Dolomit-Eintrag sichtbar werden (LUE 2.8 bis 2.5). Die nachfolgenden Jahrhunderte bis ca. 300 AD bringen eine gewisse Stabilisierung des Systems auf hohem Niveau, verbunden mit einer leichten Abnahme der Intensität von Erosions-Indikatoren (LUE 2.4). Die Göschenen I-Kaltphase hinterläßt kein deutliches sedimentchemisches Signal. Um etwa 300 bis 600 AD kommt es erneut zu einer Intensivierung erosiver Prozesse (LUE 2.3), die jedoch bald wieder nachlassen (LUE 2.2). Ein qualitativ neues Signal bringen die LUE 2.1 und LE 1 ab etwa 1600 AD: Zwar nehmen C_{org} und P_{ges} zu, andererseits steigt auch die Carbonat-Ablagerung, während der Quarz-Gehalt und der X_{Mg} -Wert bemerkenswert absinken; der X_{Sr} -Wert erreicht hier maximale Werte. Diese Daten deuten vielleicht auf eine Eutrophierung ohne maßgebliche Beteiligung des Eintrags partikulärer Substanzen hin. Zudem scheinen sich die Kalkfällungsmechanismen geändert zu haben.

4. Schlußfolgerungen

Die sedimentchemischen Parameter der mittel- und spätholozänen Sedimente des Kerns US 8707 folgen keinem linearen Trend; vielmehr treten deutliche, zeitlich oft eng begrenzte „aktive Phasen“ auf, in denen sich die Intensität von Erosionsindikatoren erhöht. Getrennt werden diese Kernabschnitte von „stabilen Phasen“, in denen die Intensität abnimmt oder – auf hohem Niveau – gleichbleibt. Die markantesten „aktiven Phasen“ liegen in den Zeiträumen von etwa 4700 bis 4300 BC und um 4100 BC, von ca. 2400 bis 1800 BC, um 1500 BC, von 300 bis 600 AD und ab etwa 1600 AD.

Die postulierten Erosionsvorgänge können als Folge von Seespiegelsenkungen die Uferbank betreffen oder durch eine Verlagerung der Aach-Mündung bedingt sein. Sie können aber auch im Einzugsgebiet der Aach stattgefunden haben und (I) auf erhöhte oder ungleichmäßige Niederschläge („Klimarückschläge“) und/oder (II) auf die Öffnung der Vegetationsdecke („Waldrodung durch den Menschen“) zurückgehen. Eine Konkordanz mit den bekannten Klimarückschlägen ist nicht erkennbar, so daß anthropogene Ursachen an Wahrscheinlichkeit gewinnen (vgl. *Abb. 14*)².

Im westlichen Bodensee-Gebiet sind eine Reihe von Kolluvien und Talverfüllungen unterschiedlicher Zeitstellung bekannt (Tesdorf 1972, 87–90; Fritsch u. Ehrminger 1987; Vogt 1991), die zumindest seit der Wende zum zweiten Jahrtausend v. Chr. einen steten Bodenabtrag belegen. In etlichen Fällen sind Holzkohlen und/oder vorgeschichtliche Fundstücke eingebettet, die auf die räumliche Nähe einer menschlichen Siedlung schließen lassen. Aufgrund dessen darf auch eine kausale Beziehung zwischen menschlicher Landnutzung und Bodenerosion unterstellt werden. Ein Teil des abgeschwemmten Bodenmaterials wird über Bäche und Zuflüsse in

²) H. Schlichtherle danken wir für die Informationen zur Siedlungsbelegung am Untersee und im Hegau (vgl. *Abb. 14*).

die Radolfzeller Aach und in den Zeller See gelangt sein. Anhand pollenanalytischer Ergebnisse an zwei Mooren im Einzugsgebiet der Radolfzeller Aach konnte Rösch (1985 a, 62; 1990, 37) zahlreiche Rodungsphasen in der engeren und weiteren Umgebung nachweisen, deren zeitlich früheste um 4500 BC bzw. um 5500 BC einsetzen (vgl. *Abb. 14*). Auch im Kern US 8707 fällt das früheste holozäne Erosionssignal in die Mitte des fünften vorchristlichen Jahrtausends. Zumindest bei den „aktiven Phasen“ LUE 2.11 (mittelneolithische Besiedlung des Hegau) und LUE 2.3 (zweite alamannische Landnahme) dürfte folglich der anthropogene Faktor den klimatischen überwiegen.

Vor dem Hintergrund der sedimentchemischen Befunde sind die Auswirkungen klimatischer und/oder anthropogener hydrologischer Veränderungen im Neolithikum und in der Bronzezeit als nicht wesentlich geringer einzuschätzen als die des Mittelalters und der frühen Neuzeit.