

Die Oberflächensedimente des Bielersees

Autor(en): **Weiss, Hans-Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **72 (1979)**

Heft 2

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164844>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 72/2	Seiten 407-424	10 Textfiguren und 1 Tabelle	Basel, Juli 1979
---------------------	-----------	----------------	---------------------------------	------------------

Die Oberflächensedimente des Bielersees

VON HANS-PETER WEISS¹⁾

ABSTRACT

Lake Biel is a relatively shallow eutrophic lake (max. 75 m deep) situated on the edge of the Swiss Plateau at the foot of the Jura Mountains. The Aare river provides the mayor inflow, supplying most of the water and sediment load to the lake. Whereas the coarse load is deposited on a delta, the clay fraction is distributed over the entire lake. The carbonate fraction is authigenic and detrital. Authigenic carbonate is lake chalk consisting of calcitic charophyte remains, calcite precipitated on submersed plants and euhedral calcite crystals. Four facies are recognized in the surface sediments: (1) *sand facies* and (2) *lake chalk facies* on the shore terraces, (3) a *mixed facies* on the slopes and (4) a *calcareous sapropel facies* in the deeper areas.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Bielersee gehört zu den schweizerischen Juraseen und ist, verglichen mit den Alpenrandseen, ein eher flaches, morphologisch uneinheitliches Sedimentationsbecken von eutrophem Charakter. Hauptzufluss ist die 1878 in den See geleitete Aare. Die wichtige Bedeutung dieses Flusses als Sedimentlieferant geht besonders deutlich aus der Karbonatverteilung der Seesedimente hervor. Während sich im westlichen, aarefernen Seebereich die authigene Karbonatsedimentation durchsetzen kann, verliert sie im zentralen Seeteil gegenüber der detritisch zugeführten karbonatarmen Aarefracht zunehmend an Bedeutung. Ein rein autochthones Karbonatsediment stellt die vor allem in Uferbereichen des westlichen Seeteils anzutreffende Seekreide dar. Sie baut sich hauptsächlich aus Characeen-Detritus sowie aus authigen ausgefällten Calcitkristallen auf. Dolomit, der in kleinen Mengen vorkommt, ist detritisch.

Sandgehalt und Korngrösse der Sedimente vermindern sich kontinuierlich mit zunehmender Uferentfernung und Wassertiefe und entsprechen granulometrisch einer idealen Beckenabfolge. Die Tonmineral-Verteilung in den Sedimenten zeigt keine grossen Unterschiede, was darauf hindeutet, dass auch die Tonfraktion vorwiegend durch die Aare angeliefert und durch die Seeströmungen über den gesamten See verteilt wird.

Aufgrund ihres Gesamtaspekts konnten die Oberflächensedimente den vier Faziesbereichen *Sand-*, *Seekreide-*, *kalkige Faulschlamm-* und *Mischfazies* zugeordnet werden. Bemerkenswert ist die Übereinstimmung dieser Faziesräume mit den morphologischen Einheiten des Sees. So finden sich Sand- und Seekreide-Fazies ausschliesslich auf Uferzonen, die Mischfazies bedeckt die Seehalden, während die kalkige Faulschlamm-Fazies in den Profundalzonen des Sees zu finden ist.

1. Einleitung

Seit einigen Jahren wird der Bielersee intensiv von Forschungsgruppen verschiedener naturwissenschaftlicher Richtungen der Universität Bern untersucht, und bereits liegen eine Reihe von Arbeiten vor, die eine Fülle von Resultaten enthalten (AMMANN 1975; FRIEDLI 1973; NYDEGGER 1957, 1967, 1976; SANTSCHI 1975;

¹⁾ Geologisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern (Schweiz).

TSCHUMI 1977). Zu erwähnen sind ferner die beiden älteren Arbeiten von LOUIS (1922) und MINDER (1936). Während bisher vorwiegend limnologische Fragestellungen wie Thermik, Strömungsmechanismen, Chemismus und Stoffwechsel des Wasserkörpers im Vordergrund standen, befasst sich die vorliegende Arbeit mit den Oberflächensedimenten des Bielersees. Sie verfolgt das Ziel, mit Hilfe sedimentologischer Methoden ihre Entstehung und Verteilung im Seebecken aufzuzeigen. Die Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit über «Sedimentologische und isotopengeochemische Untersuchung der Lockersedimente im Bielersee» in den Jahren 1974–1976 am Geologischen Institut in Bern ausgeführt.

2. Morphologie und hydrologisches Regime des Bielersees

Der Bielersee besteht morphologisch aus drei Becken, nämlich dem Neuenstädter Becken im Nordwesten (max. Tiefe 38 m), dem Lüscherzer Becken (53 m) im Süden der Petersinsel und dem Tüscherzer oder Hauptbecken (75 m) im Nordosten (Fig. 1). Wie die meisten grösseren Seebecken lässt sich der Bielersee-Grund morphologisch in Uferbank, Halde und Profundal gliedern (Fig. 2). Die Litoralzonen, die mit Ausnahme der steiluferigen Juraseite als Uferbänke ausgebildet sind, erstrecken sich stellenweise bis zu 500 m in den See hinaus und reichen im Mittel bis in 5 m Wassertiefe. Ausgeprägte, bis zu 20 Grad Neigung aufweisende Beckenflanken existieren im Hauptbecken zwischen Tüscherz und Lattrigen. Solche Hangneigungen muten jedoch bescheiden an im Vergleich mit denjenigen randalpiner Seen wie z. B. Briener- und Thunersee, wo Neigungswinkel von 50 Grad und mehr gemessen werden.

Tabelle: *Morphologische Daten des Bielersees*
nach FRIEDLI (1973) und SANTSCHI (1975).

Geographische Lage	47°5' N, 7°10' E von Greenwich
Mittlerer Wasserspiegel	429 m ü. M.
Grösste Länge	14,8 km
Grösste Breite	4,3 km
Oberfläche	39,3 km ²
Volumen	1,183 km ³
Grösste Tiefe	75 m
Mittlere Tiefe	31 m
Einzugsgebiet total	8305 km ²
Einzugsgebiet der Aare	5140 km ²
Einzugsgebiet der Schüss	282 km ²
Einzugsgebiet der Zihl	2719 km ²
Einzugsgebiet: Seeareal	211:1
Mittlere Erneuerungszeit des Wassers	etwa 60 Tage

Natürliche Zuflüsse des Bielersees sind Zihl, Schüss und Twannbach. Weitaus der wichtigste Zufluss ist jedoch die Aare, welche 1878 anlässlich der ersten Juragewässer-Korrektur bei Hagneck via Hagneck-Kanal in den See eingeleitet wurde. Durch die vorgenommene Seespiegel-Absenkung um rund 2,2 m erhielt die Petersinsel eine Landverbindung (Heidenweg), welche Neuenstädter und Lüscherzer Becken voneinander trennt. Die erste Juragewässer-Korrektur stellt bezüglich des



Fig. 1. Bathymetrische Karte des Bielersees mit den Positionen der Probenstationen.

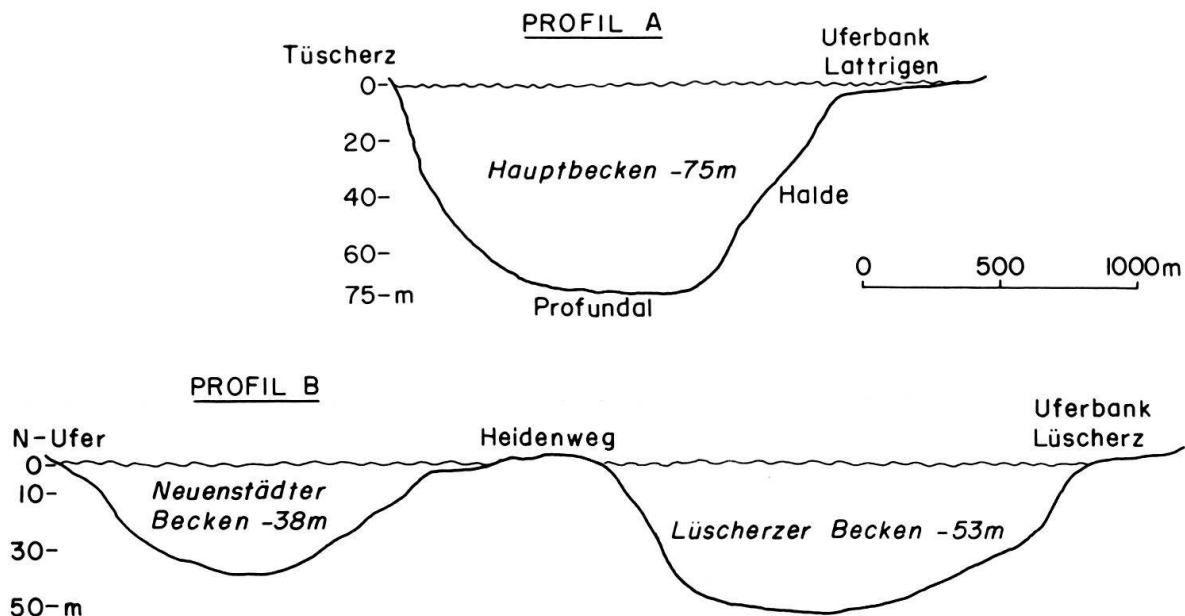


Fig. 2. Morphologische Profile durch den Bielersee, 10 \times überhöht (genaue Lage vgl. Fig. 1).

Bielersees ein bedeutsames Ereignis dar, da in deren Gefolge Einzugsgebiet und zugeführte Wassermengen vervierfacht wurden. Die Aare allein liefert seit 1878 etwa $\frac{4}{5}$ des Wassers in den See.

3. Methodik

3.1 Probennahme

In den Sommermonaten 1974–1976 wurden von einer Bohrplattform (STURM & MATTER 1972a) mittels eines Kastengreifers (REINECK 1963) und eines Kurzkerngeräts von 60 mm Kerndurchmesser (WEISS 1977), insgesamt 191 Oberflächensediment-Proben entnommen. Die Probestellen wurden mit Hilfe eines Sextanten durch Rückwärtseinschneiden lokalisiert. Vermessungsgrundlage bildeten die Blätter 1145 Bieler See und 1125 Chasseral der Schweizerischen Landeskarte 1:25 000.

3.2 Aufbereitung und Labormethoden

Das auf dem See gewonnene Sedimentmaterial wurde am Entnahmetag per Auto ins Geologische Institut transportiert, wo Kerne und Kästen aufgesägt bzw. aufgeschraubt und alsdann mit einer elektro-osmotischen Guillotine halbiert wurden (STURM & MATTER 1972b). Kern- und Kastenhälften wurden sodann fotografiert, detailliert beschrieben, beprobt und anschliessend zur Aufbewahrung im Kernkeller in luftdichte Polyäthylen-Säcke verschweisst. Am durchmischten Sediment der obersten 3–5 cm wurden folgende Laboruntersuchungen ausgeführt: Bestimmung des Gesamtkarbonat-Gehalts, röntgenographische Analyse von Gesamtsediment, Calcit/Dolomit-Verhältnissen und Tonmineralien sowie granulometrische Untersuchungen. Dabei wurden zunächst von allen 191 Oberflächenproben der Sandgehalt bestimmt und anschliessend an 50 ausgewählten Sedimentpro-

ben zusätzlich eine vollständige Korngrößen-Analyse durchgeführt. Die Sandfraktion (0,063–2 mm) wurde durch Naßsiegung vom Feinen abgetrennt und mit einer «Rotap»-Siebmaschine klassiert. Die Schlämmlung der Silt- und Tonfraktion geschah mittels einer Sedimentationswaage (Mettler Waage mit Leschonsky-Sedimentationszylinder). Aus den so gewonnenen Kornsummen-Kurven wurden die Korngrößen-Parameter von FOLK & WARD (1957) ermittelt. Die Bestimmung des Gesamtkarbonat-Anteils erfolgte auf gasvolumetrischem Wege mit Hilfe des Scheibler-Apparats (G. MÜLLER 1964). Calcit/Dolomit-Verhältnisse wurden röntgenographisch (Philips-Diffraktometer, CuK-Strahlung, 40 kV, 22 mA, 2 Grad/Min., drehender Proben-träger) aufgrund der Intensitäten der stärksten Reflexe von Calcit und Dolomit bestimmt. Die Ermittlung des Mg-Gehalts im Calcit erfolgte anhand des (104)-Reflexes nach dem Diagramm von GOLDSMITH & GRAF (1958), NaCl diente als interner Standard. Die entkalkte Tonfraktion ($< 2 \mu$) gelangte an aufgeschlämmten Texturpräparaten an je einem luftgetrockneten und einem mit Äthylenglykol abgesättigten Präparat zur Analyse. Der prozentuale Anteil der einzelnen Tonminerale wurde aus den Diffraktogrammen nach Tj. Peters (mündliche Mitteilung) semiquantitativ ausgewertet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Verteilung des Gesamtkarbonat-Gehalts

Die Gesamtkarbonat-Gehalte der Oberflächensedimente des Bielersees schwanken zwischen 11% und 90%. Mineralogisch handelt es sich vorwiegend um Calcit mit weniger als 1 Mol-% $MgCO_3$ (Tief-Calcit). Aragonit konnte röntgenographisch nicht nachgewiesen werden. Figur 3 illustriert die regionale Karbonatverteilung. Niedrigste Karbonatgehalte weisen die Sedimente am Süd- und an den Westufern auf, während hohe Karbonatgehalte entlang dem Nordufer und der nördlichen Uferbank der Petersinsel zu finden sind. Während sich im Hauptbecken eine Karbonatzunahme mit wachsender Entfernung von der Aaremündung feststellen lässt, beobachtet man im Neuenstädter und im Lüscherzer Becken annähernd symmetrisch zur Beckenachse angeordnete Zonen gleichen Kalkgehalts.

Die stark unterschiedlichen Karbonatgehalte der Bielersee-Sedimente erklären sich zwanglos dadurch, dass im See sowohl karbonatarme, klastisch-detritische sowie auch authigene, karbonatreiche Sedimente zur Ablagerung gelangen. Zur Hauptsache detritischer Herkunft sind die karbonatarmen Ablagerungen des Süd- und der Westufer; sie stellen Abtragungsprodukte der anstehenden Molasse- und Quartär-Abfolgen dar. Im Gegensatz dazu bestehen die karbonatreichen Uferstreifen des Nordufers und der nördlichen Uferbank der Petersinsel vorwiegend aus Seekreide, also aus authigenen, im See selbst gebildeten Karbonaten. Die Karbonatgehalte der Profundal-Regionen schliesslich werden zum Teil durch die Uferlithologie, im wesentlichen jedoch durch die Zuflüsse bestimmt. Karbonatarme Aare-Sedimente schieben sich zungenförmig in das Hauptbecken vor und verdrängen die authigenen Karbonate weitgehend. Die Aarefracht, hauptsächlich Sand und Schweb, wird nach SANTSCHI (1975) zum grössten Teil im See zurückbehalten. Lediglich in der Bieler Bucht vermag die Schüss durch Zufuhr von kalkreichen

Verteilung des GESAMTKARBONATGEHALTES der Oberflächensedimente des Bielersees

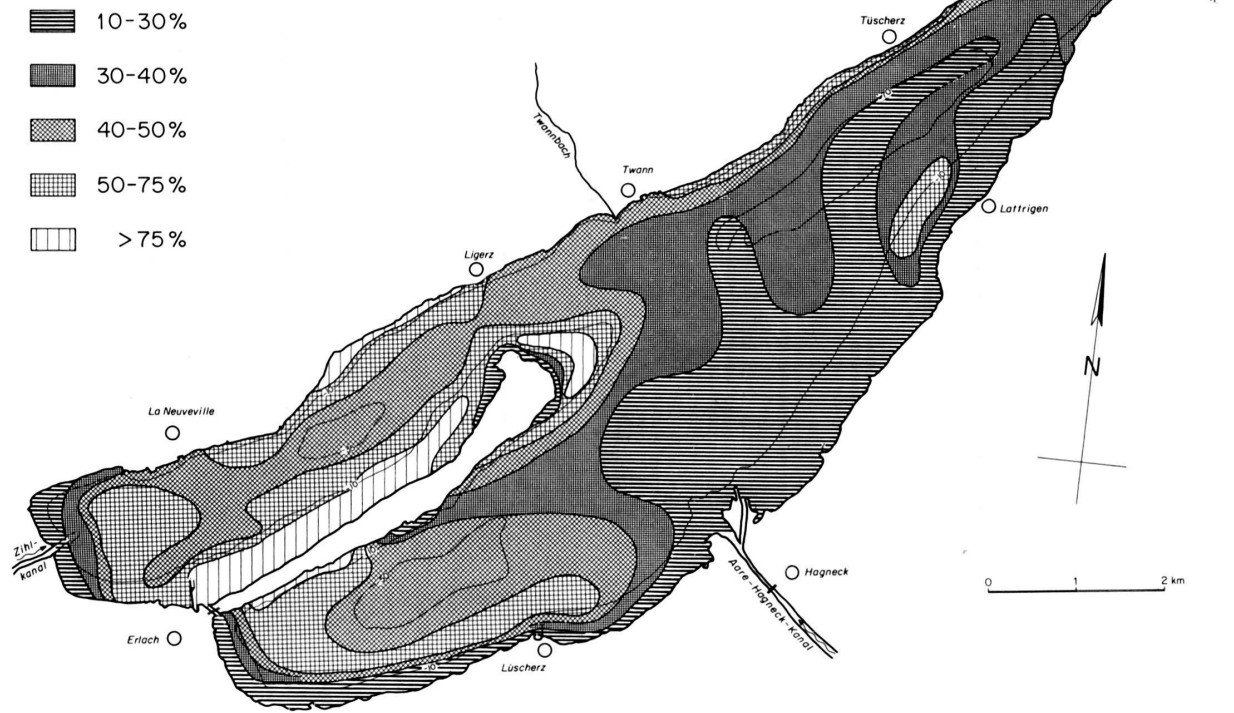


Fig. 3. Verteilung des Gesamtkarbonat-Gehalts der Oberflächensedimente des Bielersees.

detritischen Sedimenten die Aare-Dominanz im Hauptbecken etwas abzuschwächen. Die Karbonatverteilung des Hauptbeckens liefert somit ein recht genaues Abbild der von Aare und Schüss induzierten Wasserströmungen (vgl. NYDEGGER 1976). Im Lüscherzer und vor allem im Neuenstädter Becken dominiert eindeutig authigene Kalkausfällung. Die annähernd den Isobathen folgenden Zonen gleichen Kalkgehalts im Neuenstädter Becken weisen einerseits auf zunehmende Kalk-Untersättigung, andererseits auf die abnehmende Anzahl kalkproduzierender Wasserpflanzen mit steigender Wassertiefe. Die Verteilung des Karbonatgehalts im Neuenstädter Becken besitzt zudem einen gewissen Modellcharakter; wir sehen hier, wie das Karbonat-Verteilungsmuster des gesamten Bielersees vor der Aare-Einleitung ausgesehen haben mag (WEISS 1977).

4.2 Dolomit

Erwähnenswerte Dolomitgehalte finden sich lediglich in Ufersedimenten, und zwar ausschliesslich an Stellen, wo Molassegesteine die Seeufer bilden, wie z. B. bei Lüscherz und Lattrigen (Fig. 3). Die gemessenen Calcit/Dolomit-Verhältnisse der Lockersedimente schwanken zwischen 5,2 und 8,5, die entsprechenden Werte der Molasseproben streuen zwischen 5,1 und 7,5 (SCHÄR 1967). Gegen die Zentren von Haupt- und Lüscherzer Becken vermindern sich die Dolomitgehalte auf ein Ca/Do-Verhältnis von etwa 25. Die Profundal-Sedimente des Neuenstädter Beckens und die Seekreide-Ablagerungen der Petersinsel jedoch sind praktisch dolomitfrei ($\text{Ca/Do} = \infty$). Der Dolomitgehalt in den Bielersee-Sedimenten verhält sich somit reziprok zum Gesamtkarbonat-Gehalt; d. h. karbonatarmer Ablagerungen besitzen vergleichsmässig hohe Dolomitgehalte und umgekehrt. Dies lässt den Schluss zu, dass der Dolomit nicht authigener Entstehung ist, sondern als Detritus durch Ufererosion und durch die Aare in den See gelangt.

4.3 Tonmineralien

Die Tonmineral-Untersuchung der Bielersee-Sedimente beschränkte sich auf acht Proben, welche so ausgewählt wurden, dass alle Bereiche des Sees gleichmässig erfasst wurden. Es konnten Illit, Chlorit, Montmorillonit und Kaolinit nachgewiesen werden (Fig. 4). Die Tonfraktion der meisten Proben enthält zudem Quarz, Albit und Kalifeldspat. In allen untersuchten Präparaten erscheint Illit als dominantes Tonmineral, gefolgt von Chlorit. Kaolinit und Montmorillonit finden sich in kleineren Mengen in allen Proben mit Ausnahme zweier Uferproben (Bik 74, Bik 98) des westlichen Neuenstädter Beckens.

Die Übereinstimmung der Tonmineral-Zusammensetzung der Probe, die unmittelbar an der Aaremündung entnommen wurde (Bik 21), mit denjenigen der Profundal-Regionen des Sees (Bik 156, 108, 11) ist augenfällig. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Tonfraktion aller Seebecken eindeutig von der Aare zugeführt wurde. Das Fehlen von Montmorillonit in den beiden Uferproben des Neuenstädter Beckens (Bik 74, 98) mag auf die nahe liegende Zihlkanal-Einmündung zurückzuführen sein, deren Wasserströmungen eine Montmorillonit-Zufuhr aus Aare-Suspension verhindern.

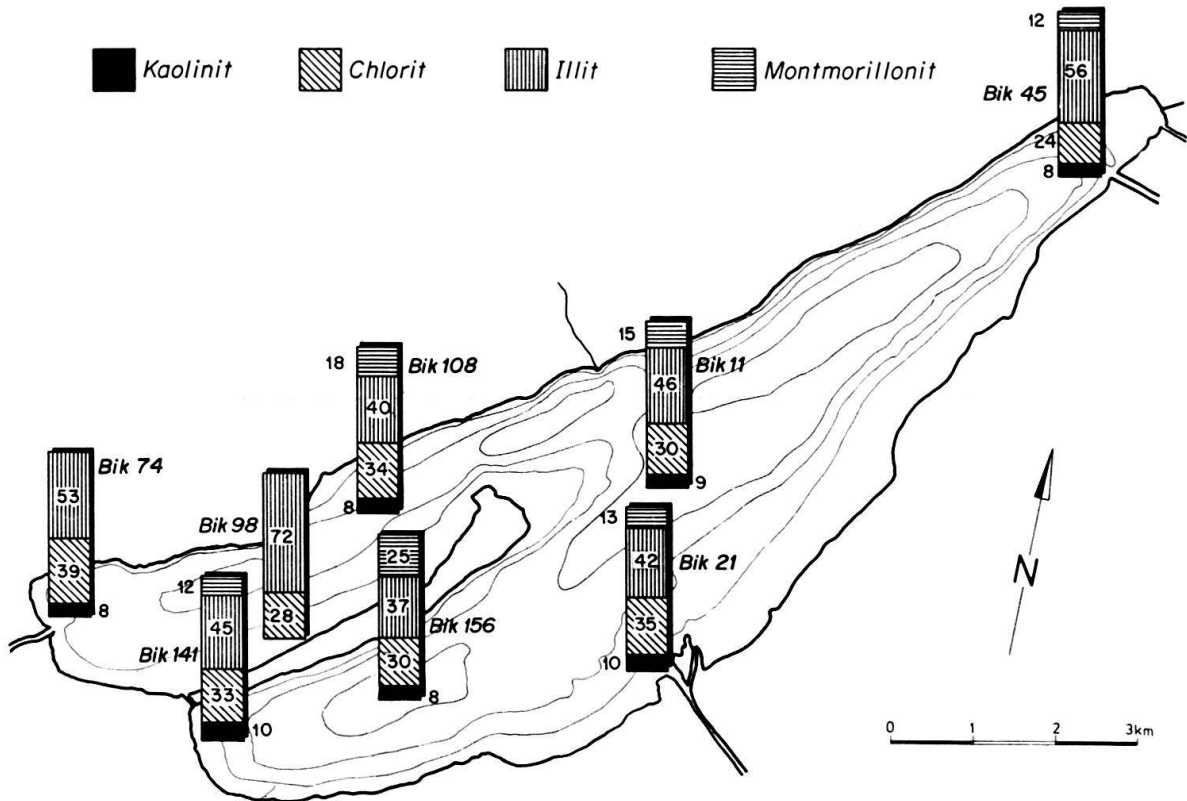


Fig. 4. Tonmineralbestand der Oberflächensedimente des Bielersees.

4.4 Sandverteilung, granulometrische Sedimenttypen

Der Sandgehalt (Fraktion 0,063–2 mm) der Oberflächenproben variiert zwischen 1 und 98 Gewichtsprozent (Fig. 5). Höchste Sandgehalte (50–98%) besitzen die Sedimente des Süd- und der beiden Westufer, des Ostsporns der Petersinsel sowie die Deltakegel von Aare und Schüss. Im Gegensatz dazu weisen die Ablagerungen der nördlichen Uferregion wesentlich geringere Sandgehalte auf. Im Bereich der Halden nimmt der Sandanteil seewärts stark ab und fällt im Profundal deutlich unter die 5%-Grenze. Ein Bereich leicht erhöhten Sandgehalts erstreckt sich von der Aaremündung ausgehend nach Nordosten in das zentrale Profundal.

Die unterschiedlichen Sandgehalte der Uferregionen sind Ausdruck der anstehenden Ufergesteine. Wie bereits auf Seite 411 erwähnt, bestehen Süd- und Westufer aus Sandsteinen und Mergeln der Molasse und ihrer stellenweise quartären Bedeckung. Diese recht lockeren Gesteinsverbände fallen der Wellenerosion schneller anheim als die widerstandsfähigen Malm- und Kreidekalke des Nordufers und sind die Quelle des sandigen Detritus. Eine weitere Folge ist zudem eine unterschiedliche Ufermorphologie mit sandigen Strandterrassen an den Molasseküsten bzw. Steilufern an den kalkigen Juraküsten. Die Sand-Verarmung in den Sedimenten des Halden- und Profundal-Bereichs erklärt sich aus der mit wachsender Tiefe abnehmenden Transportkraft des Wassers und entspricht granulometrisch einer «idealen» lakustrischen Sedimentabfolge (REINECK & SINGH 1975, S. 213). Dies führt zu der im Kartenbild deutlich erkennbaren konzentrischen Anordnung von Zonen gleichen Sandgehalts. Lediglich die Aare vermag in Hochwasserzeiten feinste

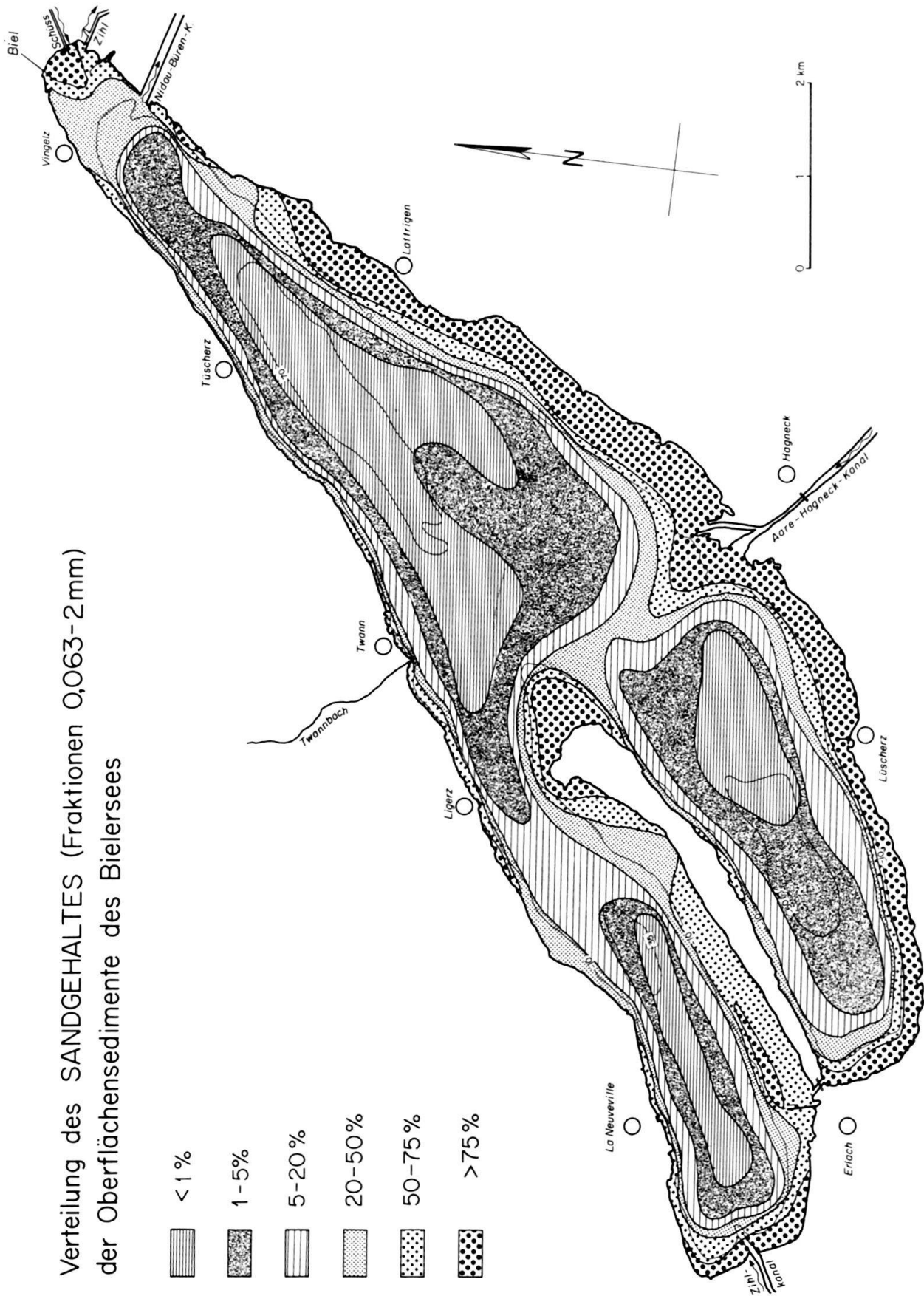


Fig. 5. Verteilung des Sandgehalts (Fraktion 0,063-2 mm) der Oberflächensedimente des Bielersees.

Sandpartikeln in Suspension zu halten, um sie im Profundal des Hauptbeckens zur Ablagerung zu bringen. Die vollständige Korngrößen-Analyse, die an 50 ausgewählten, über das ganze Seebecken verteilten Sedimentproben vorgenommen wurde, gestattet eine granulometrische Typisierung nach dem Sand-Silt-Ton-Stoffdreieck von TREFETHEN (1950).

Die Mehrzahl aller Proben liegt nahe der Grundlinie Sand-Silt (Fig. 6). Die feinkörnigste untersuchte Sedimentprobe, ein toniger Silt, weist einen Tongehalt ($< 2 \mu$) von 28% auf. Wie zu erwarten, ist der Tonanteil bei den «Sanden» gering, vergrößert sich jedoch mit zunehmendem Siltgehalt. Die Zonierung der im Stoffdreieck ausgeschiedenen Sedimenttypen ergibt ein Kartenmuster, welches sich von der Sandverteilung (Fig. 5) nur unwesentlich unterscheidet; es wird deshalb auf eine kartographische Darstellung verzichtet. Die Seeufer sind vorwiegend von Sand und siltigem Sand bedeckt, die Haldenregionen bestehen aus sandigem Silt, während in den Profundal-Ebenen Silt und toniger Silt vorherrschen. Allgemein gilt, dass Sedimente mit abnehmender Energie des transportierenden Mediums feinkörniger werden. Eine ähnliche Beziehung besteht für die Sortierung eines Korngemisches.

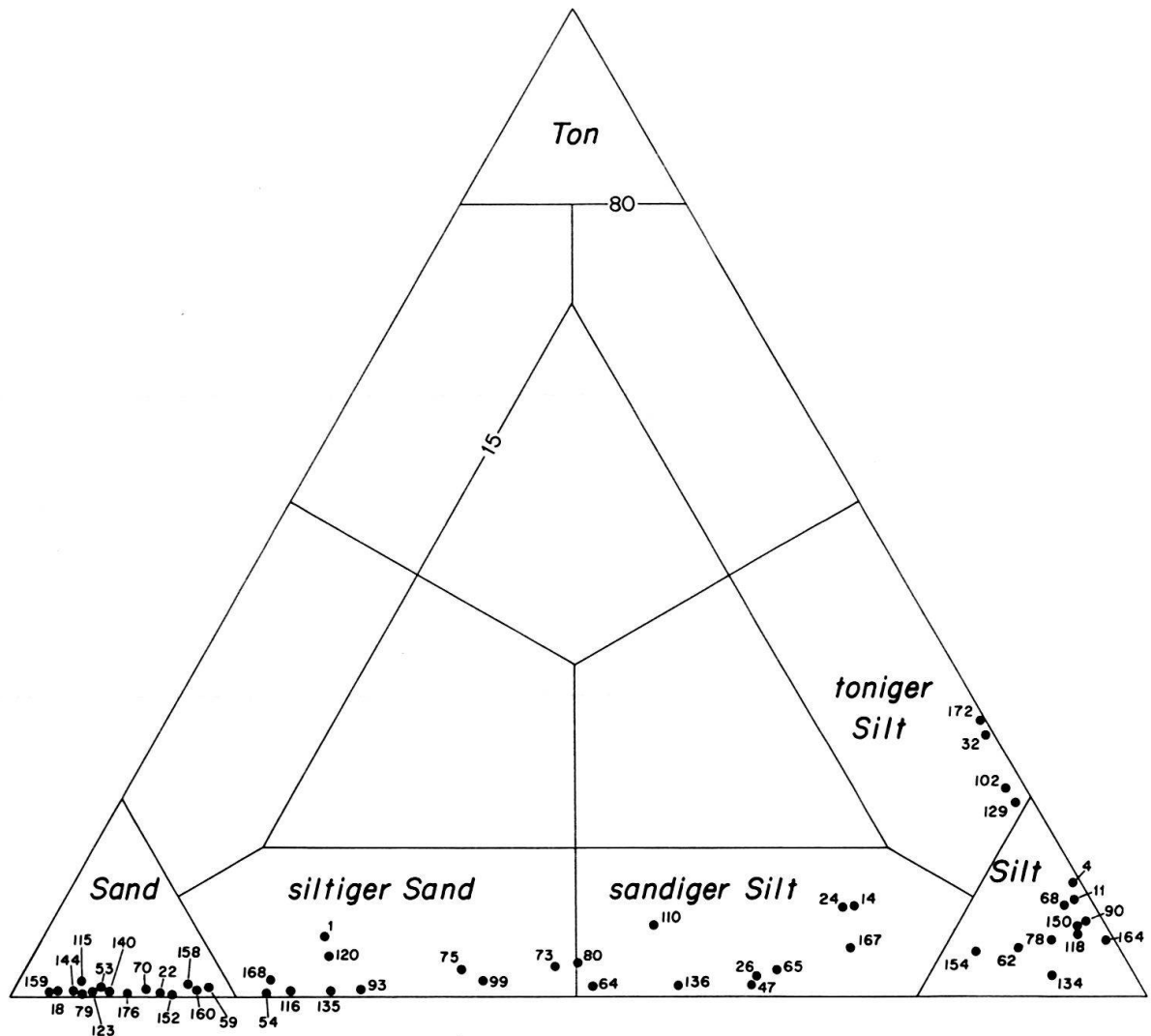


Fig. 6. Verteilung der analysierten Proben im Sand-Silt-Ton-Stoffdreieck von TREFETHEN (1950).

Nach FOLK (1974) finden sich die bestsortierten Sedimente an Stellen optimaler Strömungsgeschwindigkeit und grösster Wasserturbulenz. Jeder Ablagerungsraum besitzt nach FÜCHTBAUER & MÜLLER (1970) ein energiereiches Milieu mit gröberen, gut sortierten Sedimenten und ein energieärmeres Milieu mit feinen, schlechter sortierten Ablagerungen. Figur 7 zeigt die Kornsummen-Kurven aller granulometrisch analysierten Sedimentproben. Aufgrund der Ähnlichkeit in Korngrösse und Kurvenverlauf lassen sich die analysierten Proben vier Gruppen zuordnen (Korngrössen-Parameter nach FOLK & WARD 1957).

Die räumliche Verbreitung der Kurvengruppen deckt sich annähernd mit den morphologischen Einheiten Uferbank, Seehalde und Profundal und bestätigt somit den Kausalzusammenhang von Sedimentart und Seemorphologie.

Die Kurven der Gruppe *A* sind unimodal, liegen innerhalb eines engen Korngrössenbereichs und verraten durch ihre starke Steigung im Mittelbereich eine verhältnismässig gute Sortierung. Sie sind charakteristisch für hohen Wellengang verbunden mit beträchtlicher Sediment-Umlagerung. Durch die erhebliche Transportkraft des Wassers gelangt höchstens Sand zur Ablagerung, der Feinanteil wird weggetragen. Abgesehen von den Sedimenten des Jura-Ufers und der nördlichen Uferbank der Petersinsel fallen die Sedimente der Uferregionen einschliesslich der Deltabereiche von Aare und Schüss in die Gruppe *A*.

Die Summenkurven der Gruppe *B* weisen auf schlechtere Sortierung und liegen im feineren Kornbereich als die Kurven der Gruppe *A*. Sie sind zudem teilweise bimodal, was auf unterschiedliche Verfrachtungsprozesse und Ablagerungsbedingungen deutet. Gruppe *B* deckt sich in der Verbreitung mit der Haldenregion, wo unter normalen Sedimentationsbedingungen nur feiner Schweb abgelagert wird. Bei hohem Wellengang jedoch kann sandiger Detritus der äusseren Uferbank remobilisiert und in den Bereich der Beckenflanken verfrachtet werden, wo er zusammen mit feinem Schweb ein bimodales Sediment bildet. Diese Umlagerung mag zusätzlich von den in diesem Tiefenbereich herrschenden schwachen Wasserströmungen (NYDEGGER 1976) unterstützt werden.

Die Summenkurven der Gruppe *C* sind gegenüber denjenigen von Gruppe *B* deutlich in den Feinbereich verschoben. Die Feinkörnigkeit und leicht bessere Sortierung deuten auf ein ruhiges Ablagerungsmilieu. Gruppe *C* entstammt den zentralen Beckenteilen, wo lediglich feiner Schweb zur Ablagerung gelangt.

Die Sedimente der Kurvengruppe *S* besitzen, verglichen mit den übrigen Ablagerungen, eine aussergewöhnlich schlechte Sortierung. Es handelt sich dabei um Seekreide, also um ein an Ort und Stelle gebildetes Karbonatsediment, welches vorwiegend an der nördlichen Uferbank der Petersinsel zu finden ist (siehe S.411). Die schlechte Sortierung ist auf die ständige Zulieferung neugebildeter, grosser Karbonatpartikeln (Muschelschalen, Oogonien) zum bereits mechanisch zerkleinerten Sediment zurückzuführen.

4.5 Faziestypen und ihre Verbreitung

Aufgrund der Laboranalysen und des makroskopischen Aspekts können die Oberflächensedimente folgenden Faziestypen zugewiesen werden: Sandfazies, Seekreide-Fazies, Mischfazies und kalkige Faulschlamm-Fazies (Fig. 8 und 9).

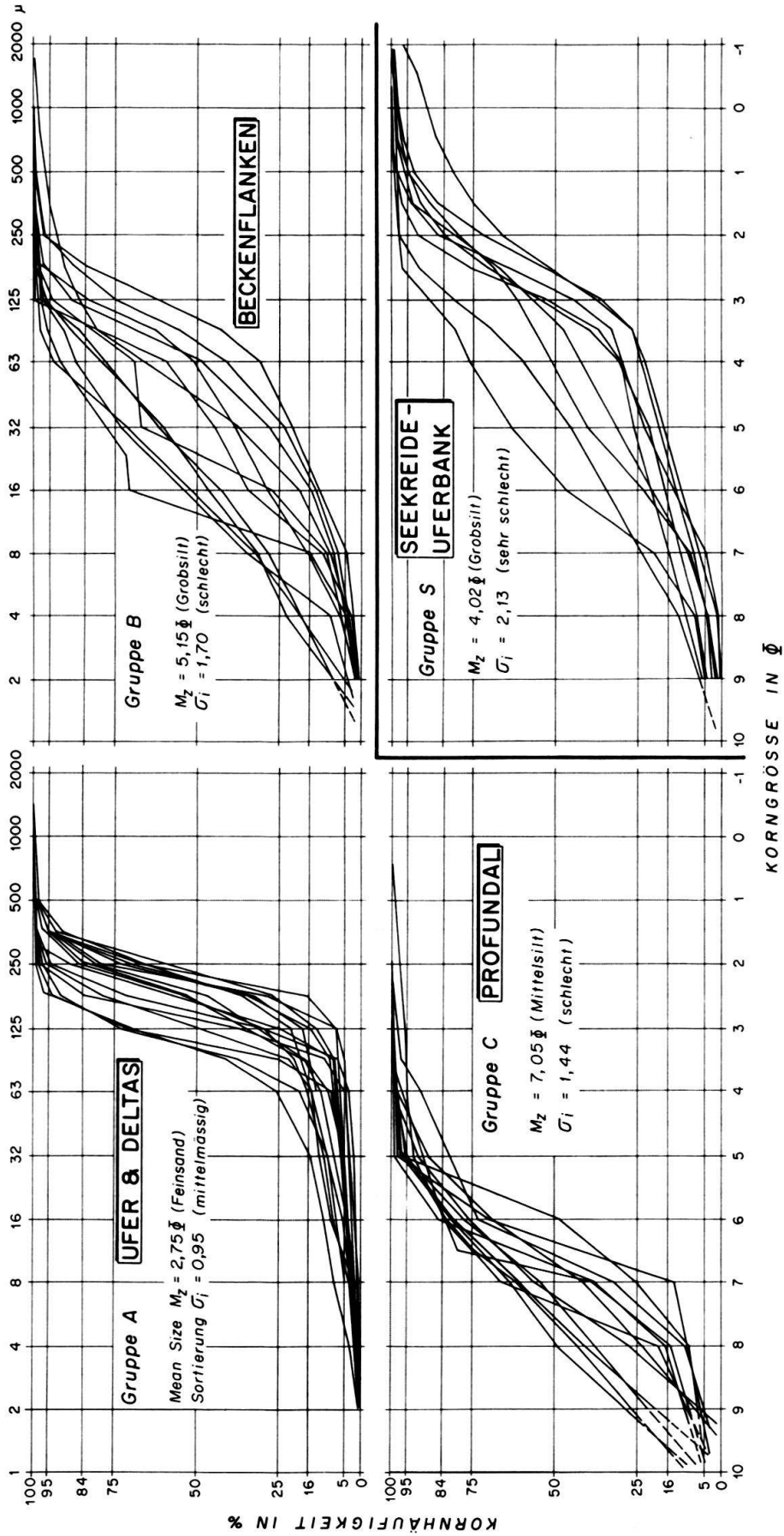


Fig. 7. Kornsummenkurven aller granulometrisch analysierten Proben.

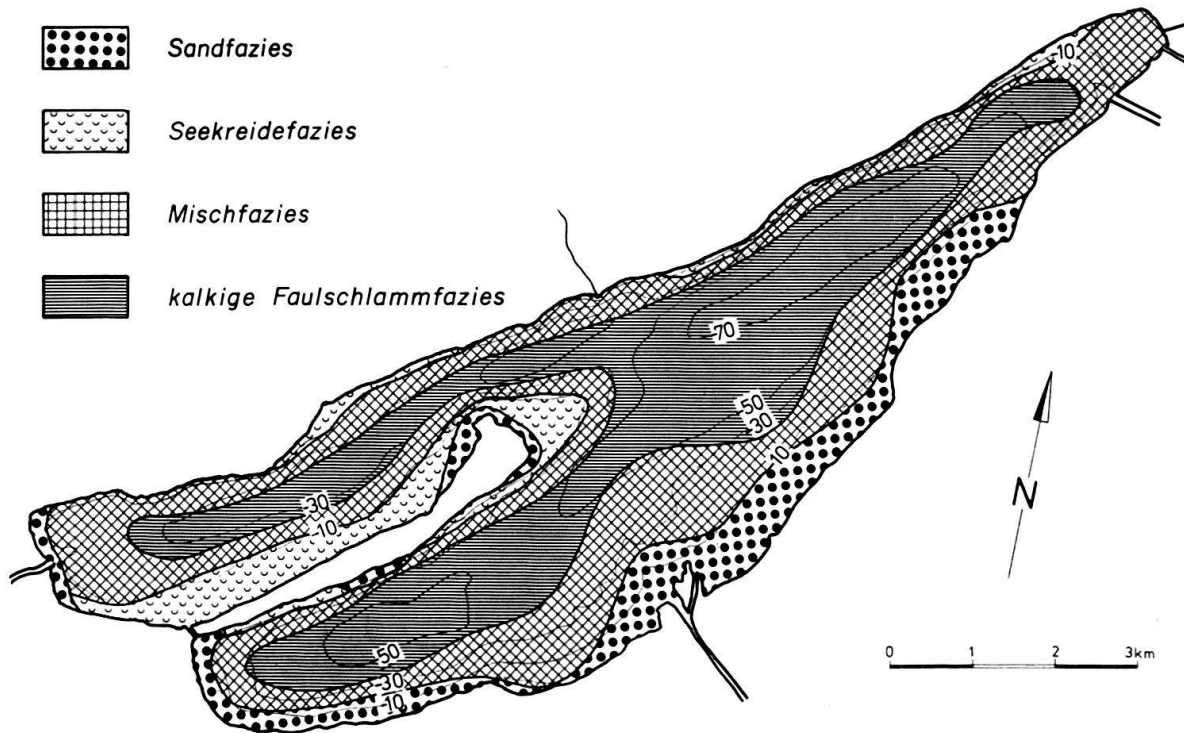


Fig. 8. Fazielle Gliederung der Oberflächensedimente des Bielersees.

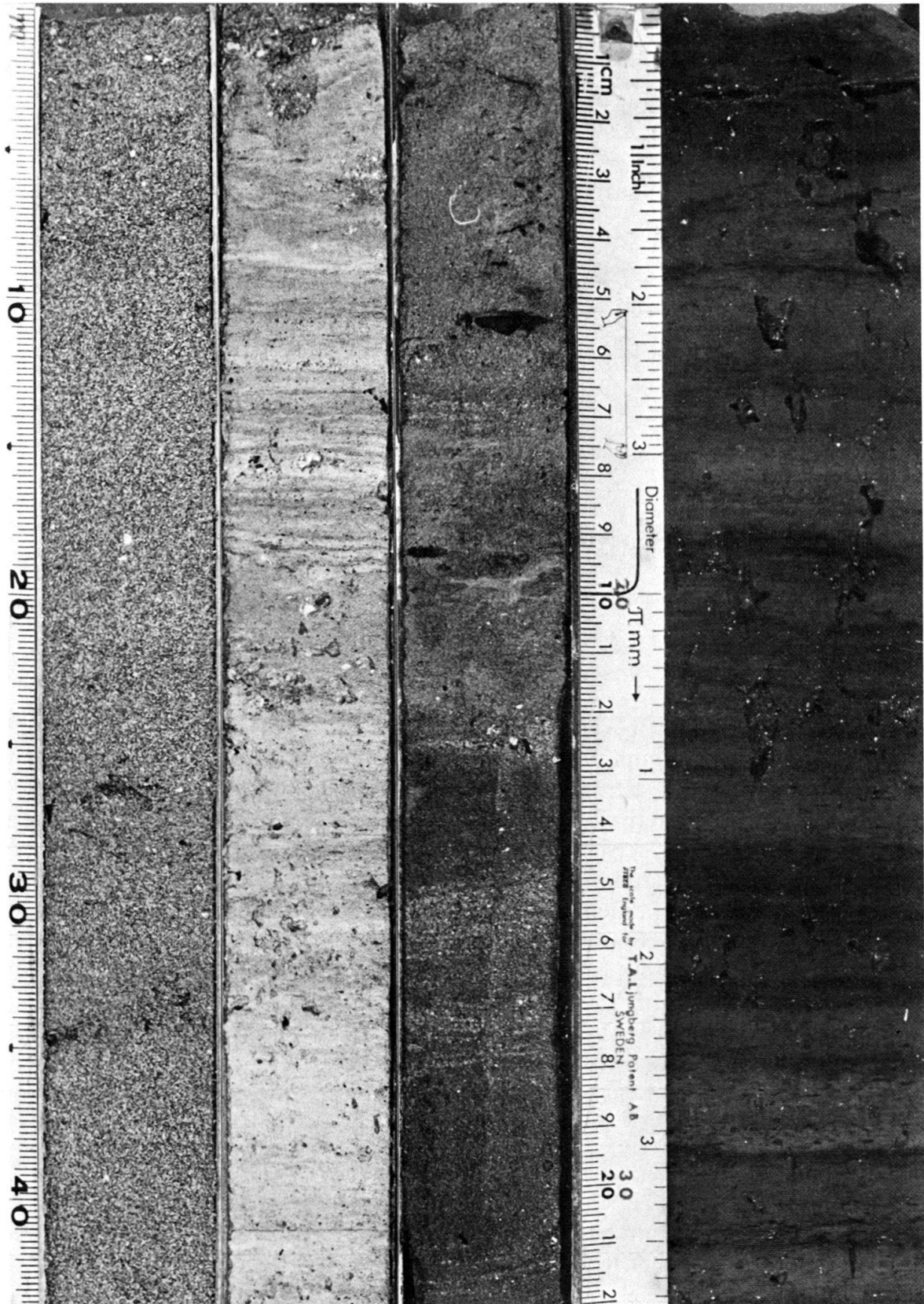
Sandfazies

Es handelt sich um lockere Sande, bestehend aus Quarz, Kalifeldspat, Albit, Chlorit, Hellglimmern und Schwermineralien (Fig. 9A). Häufig anzutreffen sind Schalenrümpfer von Gastropoden und Lamellibranchiern. Der Karbonatgehalt liegt jedoch immer unterhalb von 30% (vgl. S.412). Primäre Sedimentstrukturen sind der geringen Kernquerschnitte wegen oft nur schwer auszumachen. Beobachtet wurden Parallel-Lamination, Kleinrippel-Schichtung sowie Flaser- und Linsenschichtung. Ab und zu fanden sich Horizonte mit Pflanzendetritus. Die Farben der Sande variieren von Gelbbraun bis Dunkelgrau und weisen somit eher auf ein gut durchlüftetes, oxydierendes Ablagerungsmilieu. Wie der Vergleich der Calcit/Dolomit-Verhältnisse eindeutig zeigt (S.413), handelt es sich bei der Sandfazies um aufgearbeitete Molasse der Seeufer. Die Fazieseinheit beschränkt sich vorwiegend auf die Süd- und Westufer des Sees sowie auf kleinere Ufergürtel der Petersinsel.

Seekreide-Fazies

Als Seekreiden werden in der vorliegenden Arbeit Sedimente bezeichnet, die einen Kalkgehalt von $>75\%$ sowie eine sehr schlechte Sortierung $\sigma_i > 2$ aufweisen. Seekreideartige Sedimente enthalten mehr siliziklastischen Detritus als echte Seekreiden und weisen daher lediglich Karbonatgehalte zwischen 40 und 75% auf. In Figur 8 sind sie nicht gesondert ausgeschieden, sondern werden der Seekreide-Fazies zugerechnet.

Die Seekreiden des Bielersees sind lockere, gelbweisse bis hellolivgrüne siltige Sande, häufig durchsetzt von Pflanzenresten (Schilf, Seegras) (Fig. 9B). Bei mecha-



A

B

C

D

nischer Beanspruchung (Vibration, Zerreiben zwischen den Fingern) verliert die Seekreide augenblicklich ihre Stabilität und zerfällt zu einer schmierigen, dünnflüssigen Masse. Alle Seekreide-Kerne des Bielersees besitzen eine Hell/Dunkel-Laminierung, welche im Abstand von 2 bis 5 mm alterniert und allgemein als Jahresschichtung gedeutet wird (vgl. PIA 1933). Die hellen Laminae, meistens dicker und grobkörniger, werden der hohen Kalkproduktion der Sommermonate zugeschrieben, während die dunklen Lagen, die mehr organisches Material enthalten, als Winterschichten gedeutet werden.

Zur mikroskopischen Betrachtung wurde das Kornhaufwerk mit dem 63- μ -Sieb in eine Grob- und in eine Feinfraktion aufgetrennt. Der grösste Teil der Grobfraktion besteht aus verkalkten Stengelfragmenten und Oogonien von Armleuchteralgen (Characeen). Daneben finden sich mehr oder weniger zahlreich Schalen von Gastropoden (oft mit Opercula), Pelecypoden sowie Ostrakoden.

Vom Feinanteil der Seekreide wurde die Fraktion $< 20 \mu$ mit dem Raster-Elektronenmikroskop untersucht, wobei Präparate aus verschiedenen Sedimenttiefen des Kerns Bik 99 (vgl. Fig. 9B) betrachtet wurden. Bei 1 cm Kerntiefe lassen sich zahlreiche idiomorphe Calcit-Rhomboeder beobachten, welche teils miteinander verwachsen, teils als Einzelkristalle die Präparat-Oberfläche bedecken (Fig. 10). Bei 5 cm sind keine vollständig idiomorphen Kristalle mehr auffindbar; alle Rhomboeder sind bereits mehr oder weniger angelöst. Die Anlösung beginnt an den Kanten der Rhomboeder, so dass bei fortgeschrittener Auflösung bloss Reste der Flächen erkennbar sind. Bei 15 cm Kerntiefe schliesslich sind keine Kristalle mehr vorhanden, lediglich skelettartige Gebilde lassen auf stark angelöste ehemalige Rhomboeder schliessen (Fig. 10). Zusätzlich in der Feinfraktion vorhanden sind Schalenfragmente verschiedener Diatomeen-Arten, welche das Sedimentsubstrat sowie die Wasserpflanzen des Bielersees besiedeln (WEISS 1977, Anhang).

Die idiomorphen Calcitkristalle werden vorwiegend zur Zeit der Planktonblüten ausgefällt (WRIGHT et al., in Vorb.) und können somit als Produkt der biologischen Aktivität im See betrachtet werden. Ihr mengenmässiger Anteil am Gesamtsediment ist schwierig zu ermitteln, dürfte jedoch 20 Gewichtsprozent nicht überschreiten. Die An- bzw. Auflösung der Kristalle in geringen Sedimenttiefen wurde bereits von DAVAUD (1976) aus karbonatreichen Sedimenten des Murtensees beschrieben und auf die pH-Erniedrigung des Porenwassers infolge Zersetzung der organischen Substanz im Sediment zurückgeführt (vgl. auch SANTSCHI 1975, S. 256). Da die Grobfraktion, wie oben bereits erwähnt, aus Kalk-Inkrustationen submerser Wasserpflanzen, Schalen und Schalentrümmern von Muscheln und Schnecken besteht und die Feinfraktion ebenfalls biogener Entstehung ist, muss die gesamte Seekreide des Bielersees somit als ein rein autochthones Kalksediment betrachtet werden. Der Faziesbereich der Seekreide umfasst ufernahe Zonen in nahezu allen

Fig. 9. Sedimentkerne der vier Faziesseinheiten der Oberflächensedimente des Bielersees.

Kern A (Bik 152), Sandfazies, Südufer Lüscherzer Becken, 5 m Wassertiefe. *Kern B* (Bik 99), Seekreide-Fazies, nördliche Uferbank Heidenweg, 1,5 m Wassertiefe. *Kern C* (Bik 144), Mischfazies, Südwestufer Lüscherzer Becken, Wassertiefe 14 m. *Kern D* (Bik 5), kalkige Faulschlamm-Fazies, Beckenmitte Hauptbecken, Wassertiefe 74 m.

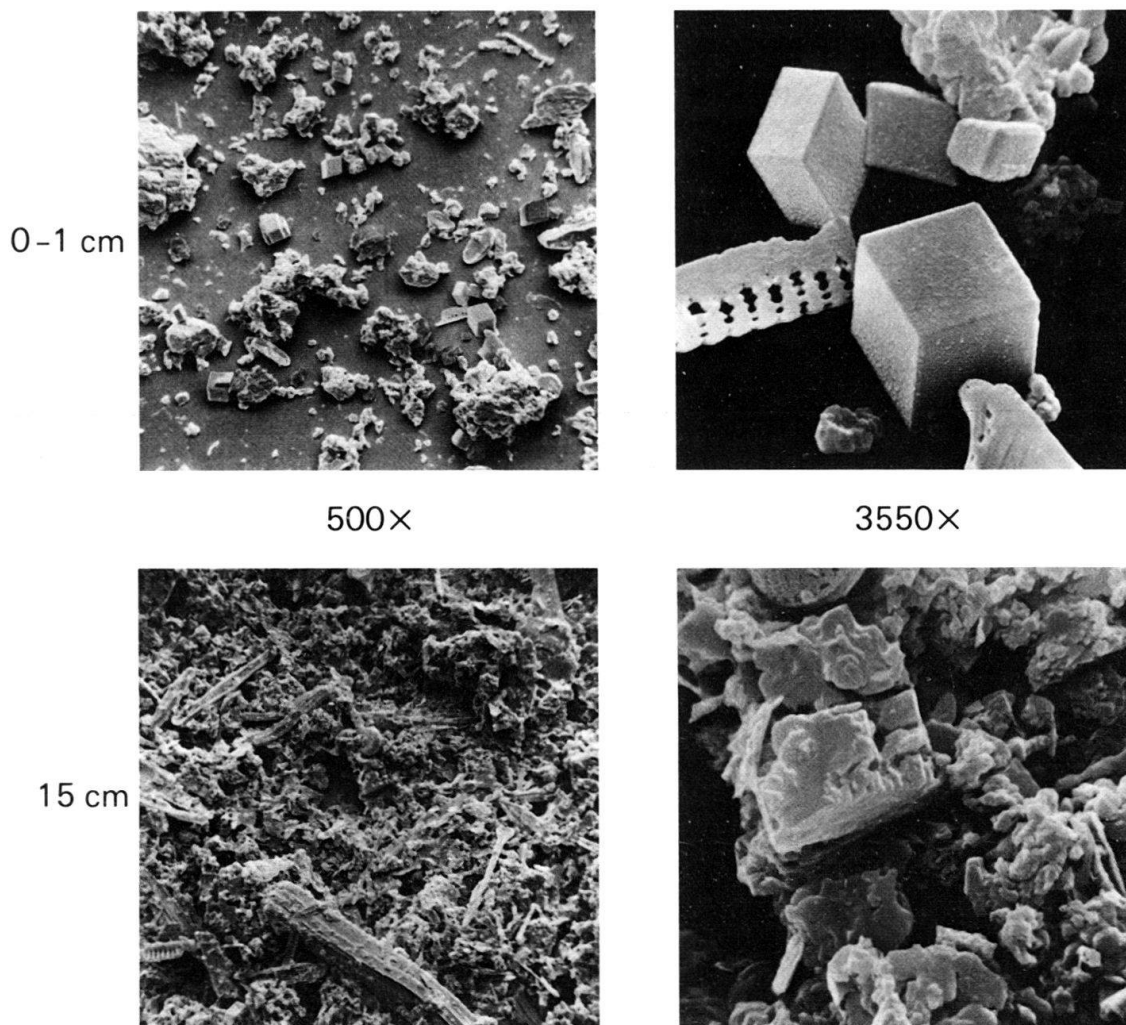


Fig. 10. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (Fraktion $< 20 \mu$) der Seekreide von Bik 99. Die rechten Aufnahmen stellen vergrößerte Ausschnitte der linken dar.

Seebereichen. In reiner Ausbildung findet sich die Seekreide-Fazies jedoch nur auf der nördlichen Uferbank der Petersinsel (Fig. 8).

Pollen-Datierungen an verschiedenen Sediment-Langkernen (WEISS 1977) beweisen, dass die Seekreide auf den Uferplattformen des Bielersees heute nicht mehr abgelagert wird, vermutlich infolge des seit 1878 erniedrigten Wasserspiegels. Die Kalkproduktion der Sommermonate wird durch die Winterstürme aufgearbeitet und kommt im Profundal zum Absatz. Die Seekreide-Fazies ist somit als Relikt einer vergangenen Sedimentationsepoche zu betrachten.

Mischfazies

Je nach Lithologie der angrenzenden Uferfazies weisen die Mischsedimente eher siliziklastisch-sandige oder seekreideartige Züge auf. Den Korngrösstentypen siltiger Sand, sandiger Silt und Silt angehörend, zeigen sich oft stark unterschiedliche Sediment-Aspekte in ein und demselben Kern. Charakteristisch sind zudem Horizonte aus organischem Detritus, wie Kleinholz, Schalen von Baumfrüchten, Blätter

usw. (Fig. 9C). Auffallend sind überdies die zunehmend dunkleren Sedimentfarben mit steigender Wassertiefe. So kann das Sediment in 15 m Wassertiefe braune bis olivgrüne Farbtöne aufweisen, in 25–30 m jedoch bereits dunkelgrau bis schwarz sein. Die Ursache dieser Farbänderung liegt in der mit zunehmender Wassertiefe auftretenden Sauerstoffzehrung. Der Mischfazies-Gürtel charakterisiert den Übergangsbereich von den Ufer- zu den Beckenablagerungen, was den hybriden Charakter des Sediments erklären mag (siehe S.417). Der vom Ufer herstammende organische Detritus wird bei hohem Wellengang über die Uferbankkante in den der Haldenregion angehörenden Mischfazies-Raum verfrachtet und abgelagert.

Kalkige Faulschlamm-Fazies

Die Faulschlamme des Bielersees sind tonige Silte, die, verglichen mit ähnlichen Sedimenten anderer Seen, einen erhöhten Karbonatgehalt (20–50%) aufweisen und deshalb als kalkig bezeichnet werden. Der Mineralbestand ist gegenüber demjenigen der Ufersande kaum verändert, lediglich Calcit ist etwas angereichert. Schmierige Konsistenz des Sediments, starkes Entgasen beim Herausheben der Kerne und charakteristischer H_2S -Geruch deuten auf einen hohen Gehalt an organischen Bestandteilen. SANTSCHI (1975) ermittelte für die Sedimentoberfläche Glühverluste zwischen 7 und 11% bei 550 °C. Die Sedimentfarben des kalkigen Faulschlammes sind ausnahmslos dunkel, wobei meistens tiefschwarze Laminae mit graubeigen Zwischenlagen im 1–2-cm-Abstand alternieren (Fig. 9D).

Kalkige Faulschlamme bedecken ausschliesslich die Profundal-Regionen des Sees, wobei die Faziesgrenzen annähernd verkleinerte Umrisse des Sees wiedergeben. SANTSCHI (1975) und NYFFELER (1975) bestimmten aufgrund der Konzentrationsschwankungen von Ca^{2+} und SiO_2 bzw. von Messungen an radioaktiven Isotopen den Zeitpunkt der Aare-Einleitung von 1878 und errechneten eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 1,46 bzw. 1,33 cm/Jahr. Diese Ergebnisse stimmen gut mit der mittleren Schichtdicke der Hell/Dunkel-Paare von 1,53 cm (oberste 23 cm Profundal-Sediment) überein, was bedeutet, dass es sich dabei um echte Warven-Zyklen handelt. Die helleren Zwischenlagen bilden sich während der Winter-Vollzirkulationsperioden, in deren Verlauf sich die ganze Wassermasse und somit auch die Sedimentoberfläche gleichmässig und ausgiebig mit Sauerstoff anreichert. Die dunklen, grauschwarzen Laminae jedoch sind Ausdruck der Sommer-Herbst-Stagnationsperioden. Während dieser Jahreszeit verhindert thermische Schichtung die Versorgung des Tiefenwassers mit Sauerstoff; es resultieren Reduktionsprozesse, welche Eisenhydroxyde zu Eisensulfiden reduzieren. Im Bielersee wird z. B. $FeOOH$ zu Fe_3S_4 (Greigit) reduziert (K. MÜLLER 1976). Diese Eisensulfide verleihen dem Sediment die charakteristische schwarze Farbe. Der kalkige Faulschlamm stellt somit eine typische Profundal-Fazies eutropher Gewässer dar, zu denen der Bielersee mittlerweile zu zählen ist.

Verdankungen

Die vorliegende Arbeit ist Teil eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Forschungsprojekts. Aufrichtiger Dank gebührt meinem Lehrer, Herrn A. Matter, für die Anregung zu dieser Arbeit und für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Ebenso danke ich Herrn M. Sturm für die gewährte Unterstützung und manche anregende Diskussion. Allen, die unsere Arbeit ausserdem unterstützten, sei

für ihre tatkräftige Mitarbeit bestens gedankt: Frau H. Haas, Herren H. Ischi, U. Furrer und meiner Frau Maja für die Mithilfe auf dem See und im Labor; Herrn F. Zweili für die Untersuchung am Raster-Elektronenmikroskop, Herrn U. Ernst für photographische Arbeiten, Herrn Tj. Peters für die Anleitung am Röntgen-Diffraktometer, Frau E. Schmid für die Reinschrift des Manuskriptes, Herrn P. Homewood für die Korrektur des Abstracts sowie allen Studenten und Dozenten des Geologischen Instituts, die durch fruchtbare Diskussionen an der Arbeit teilnahmen.

LITERATURVERZEICHNIS

- AMMANN-MOSER, B. (1975): *Vegetationskundliche und pollenanalytische Untersuchungen auf dem Heidenweg im Bielersee*. – Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz 56 (Diss. Univ. Bern).
- DAVAUD, E. (1976): *Contribution à l'étude géochimique et sédimentologique de dépôts lacustres récents (lac de Morat, Suisse)*. – Thèse Univ. Genève.
- FOLK, R. L. (1974): *Petrology of sedimentary Rocks*. – Hemphil Publ., Austin (Texas).
- FOLK, R. L., & WARD, W. C. (1957): *Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters*. – J. sediment. Petrol. 27/1, 3–26.
- FRIEDLI, P. (1973): *Limnologische Untersuchungen am Bielersee*. – Lizentiatsarb. Univ. Bern (unpubl.).
- FÜCHTBAUER, H., & MÜLLER, G. (1970): *Sediment-Petrologie II. Sedimente und Sedimentgesteine*. – Schweizerbart, Stuttgart.
- GOLDSMITH, J. R., & GRAF, D. L. (1958): *Relation between lattice constants and composition of the Ca-Mg Carbonates*. – Amer. Mineralogist 43, 84–101.
- LOUIS, P. (1922): *Der Einfluss der Aare in den Bielersee*. – Mitt. natf. Ges. Bern 3.
- MINDER, L. (1936): *Untersuchungen am Bielersee*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 81/1–2, 107–176.
- MÜLLER, G. (1964): *Sediment-Petrologie I. Methoden der Sedimentuntersuchung*. – Schweizerbart, Stuttgart.
- MÜLLER, K. (1976): *Messung und Interpretation von Redoxpotentialen in Bielerseesedimenten*. – Lizentiatsarb. Univ. Bern (unpubl.).
- NYDEGGER, P. (1957): *Vergleichende limnologische Untersuchungen an sieben Schweizerseen*. – Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. 9.
- (1967): *Untersuchungen über Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und zuflussbedingten Strömungen im Brienzensee und in einigen Vergleichsseen*. – Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. 16.
- (1976): *Strömungen in Seen. Untersuchungen in situ und an nachgebildeten Modellseen*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 121/2, 141–177.
- NYFFELER, U. (1975): *Kurzzeitdatierung der Bielerseesedimente anhand von Pb-210 und Cs-137*. – Lizentiatsarb. Univ. Bern (unpubl.).
- PIA, J. (1933): *Die rezenten Kalksteine*. – Akad. Verlagsges., Leipzig.
- REINECK, H. E. (1963): *Der Kastengreifer*. – Natur u. Museum 93/3, 102–108.
- (1967): *Ein Kolbenlot mit Plastik-Rohren*. – Senckenb. Lethaea 48/3–4, 285–289.
- REINECK, H. E., & SINGH, I. B. (1973): *Depositional Sedimentary Environments*. – Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- SANTSCHI, P. (1975): *Chemische Prozesse im Bielersee*. – Diss. Univ. Bern (unpubl.).
- SCHÄR, U. (1967): *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Mesozoikum und Tertiär des Bielerseegebietes (Kt. Bern)*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 133.
- STURM, M., & MATTER, A. (1972a): *Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee*. – Eclogae geol. Helv. 65/3, 563–590.
- (1972b): *The electro-osmotic Guillotine, a new device for core cutting*. – J. sediment. Petrol. 42/4, 987–989.
- TREFETHEN, J. M. (1950): *Classification of Sediments*. – Amer. J. Sci. 248, 55–62.
- TSCHUMI, P. (1977): *Eutrophierung, Primärproduktion und Sauerstoffverhältnisse im Bielersee*. – Gas, Wasser, Abwasser 57, 245–252.
- WEISS, H.-P. (1977): *Sedimentologische und isotopengeochemische Untersuchung der Lockersedimente im Bielersee*. – Lizentiatsarb. Univ. Bern (unpubl.).
- WRIGHT, R. F., MATTER, A., SCHWEINGRUBER, M., & SIEGENTHALER, U. (in Vorb.): *Sedimentation in Lake Biel, a eutrophic, hard-water lake in northwestern Switzerland*.