Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 47,1998

ISSN 1011-1263

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

Bericht Nr. 47

Zustand des Seebodens 1992-1994 Sedimentinventare - Phosphor - Oligochaeten

Bearbeiter: Dr. B. Wagner, Dr. H.G. Schröder, Dr. H. Güde, Dr. W. Sanzin, Dipl. phil. II U. Engler

- 1998 - ,

10.98 810 U42637



Vorwort

An der 37. Tagung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee am 7. und 8. Mai 1991 in Reichenau, Graubünden, wurde der Auftrag erteilt, die Überwachung des Seebodenzustandes nach Maßgabe des neuen Untersuchungskonzepts vorzunehmen. Die im vorliegenden Bericht ausgewerteten Untersuchungen wurden in den Jahren 1992-1994 ausgeführt.

An den Arbeiten waren neben vielen Mitarbeitern in den einzelnen Institutionen federführend beteiligt:

- Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz Dr. Benno Wagner (Vorsitz)
- Bayerisches Landesamt f
 ür Wasserwirtschaft, M
 ünchen Dr. W. Sanzin
- Landesanstalt f
 ür Umweltschutz Baden-W
 ürttemberg, Institut f
 ür Seenforschung (ISF)
 Dr. H. G
 üde, Dr. H. G. Schr
 öder
- Amt f
 ür Umweltschutz des Kantons St. Gallen Dipl. phil. II U. Engler (bis 1995)
- Eidgenössische Anstalt f
 ür Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gew
 ässerschutz (EAWAG), D
 übendorf Dr. M. Sturm



nhaltsverzeichnis Seite Zusammenfassung 2 Abstract/Résumé 3 EINLEITUNG 4 2 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE 4 2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen 4 2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB 6 2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Aktische and optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.1 Aktische and optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen 12 5.2 Atomgröfenanalyse 17 5.3.1 Warsergehalt 21 5.3.2 Komgröfenanalyse 17 5.3.3 Konzelogien 24 5.4.1 Orgenischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.3 Figmente 23 5.4.2 Orgenischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.3 Figmente 23 5.4.1 Gestriffgehalt und Redoxpotential 21 5.3.2 Komgröfeshate und Redoxpotential 21			• • • • • • •	
nhaltsverzeichnis Seite Zusammenfassung 2 Abstract/Résumé 3 EINLEITUNG 4 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE 4 2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen 4 2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB 6 2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Sedimentstrukturen 11 5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.2 Korgmäscher Kohlenstoffgehalt 21 5.3.3 Mineralogie 17 5.3.4 Anorgenäscher Kohlenstoffgehalt 21 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 22 5.3.7 Pigmente 23 5.4.4 Oligochaeten 24 5.4.2 Verteilung der Phoophor-Fraktionen 24 5.4.3 Steuteröffgehalt 22 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 23			•	1
nhaltsverzeichnis Seite Zusammenfassung 2 Abstract/Résumé 3 EINLEITUNG 4 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE 4 2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen 4 2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB 6 2.3 Derzeittige Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Sedimentstrukturen 11 5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen 12 5.3.3 Midmischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.3 Vassergehalt 16 5.3.3 Vomgrößenandyse 17 5.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.6 Orientilächengroben 24 5.4 Oberliächengroben 24 5.4 Oberliächengroben 24 5.4 Oligochaeten 22 23.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 23 5.3.6 Oligische		а 1 д		1 A.
Zusammenfassung 2 Abstract/Résumé 3 EINLEITUNG 4 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE 4 2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen 4 2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB 6 2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Sedimentstrukturen 11 5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen 12 5.3.3 Midminentstrukturen 12 5.3.3 Komgrößenanalyse 17 5.3.3 Vassergehalt 16 5.3.3 Vassergehalt 16 5.3.3 Vassergehalt 12 5.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.5 Orignischer Kohlenstoffgehalt 21 5.4 Oberflächenproben 24 5.4 Oberflächenproben 24 5.4 Oberflächengroben 24 5.4 Oberflächengroben 24 5.4 Oberflächengroben 24 5.4 Oberflächengroben 24 5.4 Oberglächt 31 5.3 Sofiumetflögehalt 31 <t< td=""><td>Inhaltsverzeichnis</td><td></td><td>Seite</td><td></td></t<>	Inhaltsverzeichnis		Seite	
Abstract/Résumé 3 EINLEITUNG 4 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE 4 2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen 4 2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB 6 2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Sedimentstrukturen 11 5.1.1 Ackussiche und optische Begutachtung der Probenentmahmestellen 11 5.1.2 Korgnößennanlyse 17 5.3.3 Köngrößenanlyse 17 5.3.4 Anorgnößenstorfügehalt 22 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.7 Digmente 23 5.4 Oberflächenproben 24 5.4.1 Gesamt-Phosphor-Fraktionen 25 5.4.3 Outgrünscher Kohlenstoffgehalt 21 5.3.7 Digmente 23 5.4 Oberflächenproben 24 5.4.1 Gesamt-Phosphor-Fraktionen 25 5.4.3 Outgrünscher Kohlenstoffgehalt 21 5.3.7 Digmente 23 5.4 Oberflächenproben </td <td>Zusammenfassung</td> <td></td> <td>2</td> <td></td>	Zusammenfassung		2	
EINLEITUNG4BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE42.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen42.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB62.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB8BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Ackusische und optische Begutachtung der Probenentmahmestellen115.1.2 Komgößennaltyse175.3.3 Kömgößennaltyse175.3.4 Anorginscher Kohlenstoffgehalt225.3.7 Figmente235.4 Oberflächengroben245.4 Oberflächengroben255.4 Oberflächengroben255.4 Oberflächengroben255.4 Oberflächengroben255.4 Oberflächengroben265.4 Oberflächengroben275.4 Oberflächengroben265.4 Oberflächengroben275.4 Oberflächengroben285.4 Oberflächengroben295.4 Oberflächengroben265.4 Oberflächengroben265.4 Oberflächengroben275.	Abstract/Résumé		3	
EINLEITUNG4BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE42.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen42.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB62.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB8BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen115.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3 Schimentoffile165.3.3 Wassergehalt165.3.4 Wassergehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Grammer Desphor-Fraktionen245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen245.4.3 Sauterstoffgehalt235.4.4 Oligochaeten23DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38LITERATUR38				
BISHERIGE SEEBODENUNTERSUCHUNGEN AM BODENSEE42.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen42.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB62.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB8BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Stedimentstrukturen115.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Still Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Oberflächengehalt225.3.7 Pigmente245.4 Oberflächengehalt235.4 Oberflächengehalt235.4 Oberflächengehalt235.4 Oberflächengehalt235.4 Oberflächengehalt245.4.4 Oligochaeten25SCHLUBFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38	1 EINLEITUNG		4	
2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen42.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB62.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB8BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Komgrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalt313.4 Oligochatetn32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38LITERATUR38	2 BISHERIGE SEEBODENUNTERSUC	HUNGEN AM BODENS	EE 4	
2.2 Seebodenuntersuchungsprogramm der IGKB 6 2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB 8 2 BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES" 9 PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER 10 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE 11 5.1 Sedimentstrukturen 11 5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen 11 5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen 14 5.3.1 Wassergehalt 16 5.3.2 Komgrößenanalyse 17 5.3.3 Wassergehalt 16 5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt 21 5.3.6 Versereigehalt 21 5.4 Oberflächenproben 24 5.4 Oberflächenproben 24 5.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte 24 5.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen 25 5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential 31 5.4.4 Oligochaeten 32 DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE 35 SCHL	2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchunge	D	4	1. t.
2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB8BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Sedimentstrukturen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Komgrößenanalyse175.3 Mineralogie175.3 Sudimentoffgehalt215.4 Oberflächenstoffgehalt235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten23DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38	2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB		6	
BEWERTUNG DER LITERATURSTUDIE "GREAT LAKES"9PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Stedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Oberphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten23DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38	2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogram	mm der IGKB	8	
PROBENENTNAHME UND UNTERSUCHUNGSPARAMETER10UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE11S.1 Sedimentstrukturen11S.1. Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen11S.1. Vergleich der Sedimentstrukturen12S.2 Datierungen14S.3 Sedimentprofile15S.3.1 Wassergehalt16S.3.2 Komgrößenanalyse17S.3.3 Mineralogie17S.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt21S.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt21S.3.6 Schwefelgehalt22S.3.7 Pigmente23S.4 Oberflächenproben24S.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte24S.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen25S.4.3 Suerstoffgehalte und Redoxpotential31S.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38Physen38	3 BEWERTUNG DER LITERATURSTUE	DIE "GREAT LAKES"	9	
UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE115.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt225.3.7 Pigmente245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.3 Sauerstoffgehalt255.4.3 Sauerstoffgehalt und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE3535SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38rebrev: Manuel14	4 PROBENENTNAHME UND UNTERSU	ICHUNGSPARAMETE	R 10	
5.1 Sedimentstrukturen115.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalt und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38rburgt Manuel14	5 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE		11	· · · ·
5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen115.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen125.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalt und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38nhoren38	5.1 Sedimentstrukturen		11	
5.2 Datierungen145.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38phones Manuel14	5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der 5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen	Probenentnahmestellen	11 12	١
5.3 Sedimentprofile155.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalt und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUBFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38phongu ManuelL XXXVII	5.2 Datierungen		14	
5.3.1 Wassergehalt165.3.2 Korngrößenanalyse175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38phonge Manuel4XXYII	5.3 Sedimentprofile		15	
5.3.3 Mineralogie175.3.3 Mineralogie175.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalt und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38phonen ManuelL YYYU	5.3.1 Wassergehalt		16	
5.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt215.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSARLITERATUR38phage: Manual1VYYU	5.3.3 Mineralogie		17	
5.3.5 Organischer Kohlenstottigehalt215.3.6 Schwefelgehalt225.3.7 Pigmente235.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSARLITERATUR38phange ManualL XXXVII	5.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt	· · · · ·	21	
5.3.0 Schwerzigenat 22 5.3.7 Pigmente 23 5.4 Oberflächenproben 24 5.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte 24 5.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen 25 5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential 31 5.4.4 Oligochaeten 32 DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE 35 SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT 37 GLOSSAR 38 LITERATUR 38	5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt		21	:
5.4 Oberflächenproben245.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte245.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen255.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential315.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUBFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSARLITERATUR38phangu ManuelL	5.3.7 Pigmente		22 23	
5.4.1 Gesamt-Phosphor-Genate 24 5.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen 25 5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential 31 5.4.4 Oligochaeten 32 DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE 35 SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT 37 GLOSSAR 38 LITERATUR 38 phange Manuel 4	5.4 Oberflächenproben	♦ '	24	
5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential 31 5.4.4 Oligochaeten 32 DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE 35 SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT 37 GLOSSAR 38 LITERATUR 38 phangel L YYYH	5.4.1 Gesami-rnosphor-Genalte 5.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen		24	
5.4.4 Oligochaeten32DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38Namuel1. YYYH	5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential		31	
DISKUSSION UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE35SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT37GLOSSAR38LITERATUR38Namuel1. YYYH	5.4.4 Oligochaeten	· · ·	32	
SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNFTIGE ARBEIT 37 GLOSSAR 38 LITERATUR 38 Namuel 1 YYYH	6 DISKUSSION UND INTERPRETATION	I DER ERGEBNISSE	35	
GLOSSAR 38 LITERATUR 38	7 SCHLUßFOLGERUNG FÜR DIE KÜNI	TIGE ARBEIT	37	•
LITERATUR 38	B GLOSSAR		38	
nkangi Manual T. VVVII	9 LITERATUR		38	
	Anhang: Manual		I - XXXII	

Zusammenfassung

1992 wurde das Seebodenuntersuchungsprogramm der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) neu ausgerichtet. Abiotische Parameter wurden stärker einbezogen und zur Sicherung der Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen die Oligochaeten als Bioindikatoren weiterhin miterfasst.

Folgende Ziele wurden mit den Untersuchungen verfolgt:

- Beschreibung der Verhältnisse und Veränderungen im Seeboden unter Anwendung neuer Parameter und Verringerung des Untersuchungsaufwands
- Aufschluß über die jeweiligen Ablagerungsbedingungen und deren zeitliche Änderungen durch Analyse der vertikalen Verteilung von unterschiedlichen Inhaltsstoffen
- Abschätzung des Rücklösungspotentials sedimentgebundenen Phosphors durch Analyse von Phosphor-Gehalten unterschiedlicher Bindungsformen.

Auf der Grundlage der Untersuchung von 5 Seebodenstationen im Nord-Süd-Transekt des Bodensee-Obersees über drei Jahre (1992-1994) lassen sich folgende Hauptergebnisse festhalten:

- Die Sedimente des nördlichen und zentralen Obersees sind zuflußdominiert.
- Die Sedimente des südlichen Obersees spiegeln seeinterne Entwicklungen klarer wider.
- Die Phase der Eutrophierung ist sowohl durch eine Veränderung der chemischen Sedimentparameter als auch durch eine Änderung der Mineralanteile dokumentiert.
- Demgegenüber gibt es für eine im Zusammenhang mit der erfolgreichen Reduktion der Phosphor-Zufuhr erwartete Reoligotrophierung keine verläßlichen Hinweise aus den Verteilungsbildern der Sedimentkerne.
- Ein beträchtlicher Anteil des sedimentierten Phosphors wird in den anaeroben tieferen Sedimentschichten rückgelöst und gelangt durch diffusive Wanderung teilweise in das Wasser zurück.
- Dieser unter aeroben Bedingungen langsame Prozess kann vorübergehend stark beschleunigt werden, wenn sich an der Sediment-Wasser-Grenzschicht sauerstofffreie Verhältnisse einstellen. In diesem Fall ist mit einer zusätzlichen internen Phosphor-Belastung zu rechnen, die mindestens in der Größenordnung der derzeitigen externen Phosphosr-Zufuhr über die Zuflüsse liegt.
- Die Besiedlungsdichten und Zusammensetzung der Oligochaetenbestände haben sich in den untersuchten Arealen im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht erkennbar verändert.

Abstracts

Im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee erfolgte über drei Jahre (1992-94) eine Untersuchung von 5 Seebodenstationen im Nord-Süd-Transekt des Bodensee-Obersees. Zielsetzung der Untersuchung war die Beschreibung der Seeboden-Veränderungen im Zusammenhang mit der Nährstoffentwicklung des Bodensees unter besonderer Berücksichtigung des Nährstoffs Phosphor in seinen unterschiedlichen Bindungsformen. Neben Phosphor wurden Kohlenstoffgehalt und Mineralzusammensetzung bestimmt, eine Sediment-Datierung durchgeführt sowie die Bestandsdichte der Oligochaeten festgestellt. Auf Grundlage der Untersuchungen lassen sich folgende Hauptergebnisse festhalten. Die Sedimente des nördlichen und zentralen Obersees sind zuflussdominiert, während die Sedimente des südlichen Obersees seeinterne Entwicklungen klarer widerspiegeln. Die Phase der Eutrophierung ist sowohl durch eine Veränderung der chemischen Sedimentparameter als auch durch eine Änderung der Mineralanteile dokumentiert. Demgegenüber gibt es für eine im Zusammenhang mit der erfolgreichen Reduktion der Phosphor-Zuführ erwarteten Reoligotrophierung keine verlässlichen Hinweise aus den Verteilungsbildern der Sedimentkerne. Ein beachtlicher Anteil des sedimentierten Phosphors wird in den anaeroben tieferen Sedimentschichten rückgelöst und gelangt durch diffusive Wanderung in das Tiefenwasser zurück. Die Besiedlungsdichten und Zusammensetzung der Oligochaetenbestände haben sich in den untersuchten Arealen im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht erkennbar verändert.

Sur mandat de la Commission internationale pour la protection des eaux du lac de Constance, une étude de trois ans (1992-94) a été effectuée à cinq stations du fond du lac de Constance (Obersee), sur un axe nord-sud. Il s'agissait de décrire les modifications du fond du lac en fonction de l'évolution des nutriments dans le Bodan, plus particulièrement du phosphore sous ses diverses formes. A côté du phosphore, le contenu en carbone et la composition minérale ont également été déterminés, les sédiments ont été datés et la densité des peuplements d'oligochètes a été recensée. Les résultats principaux de ces recherches sont les suivants: les sédiments du nord et du centre de l'Obersee sont principalement influencés par les affluents alors que ceux du sud reflètent davantage l'évolution interne du lac. La phase d'eutrophisation est aussi bien documentée par une modification des paramètres chimiques des sédiments que par un changement dans leur composition minérale. Par contre, les courbes de distribution pour les carottes de sédiment ne livrent pas d'indices fiables d'un retour à l'état oligotrophe, suite à la réduction atteinte des apports de phosphore. Une part importante du phosphore déposé dans les couches anoxiques de sédiment est redissous et finit dans les eaux du fond après diffusion. Dans les zones étudiées, la densité des peuplements d'oligochètes et leur composition ne se sont pas modifiées de manière visible par rapport aux études antérieures.

A study, commissioned by the International Water Protection Commission for Lake Constance, was carried out over three years (1992-94) at five ground stations in the north-south transect of Upper Lake Constance. The objective of this research was to describe changes in the lake bed in connection with the development of nutrients in Lake Constance, with special reference to phosphorus in its various compounds. As well as measurement of phosphorus, carbon content and mineral constitution were established, sediment dating was carried out, and the density of oligochaetes was determined. The study yielded the following main results: the sediments of northern and central Upper Lake Constance are dominated by inflows, whereas the sediments of the southern Upper Lake more clearly mirror lake-internal developments. The eutrophication phase is documented by a change in the chemical parameters of the sediment, and also by a change in the proportions of different minerals. In contrast, distribution pictures of sediment grains provide no reliable evidence for the expected reoligotrophication in connection with the successful reduction in phosphorus inflows. A significant part of sedimentary phosphorus is dissolved back into the anaerobic deeper layers of sediment, and reaches deep water again by diffusive migration. In the areas under investigation, the population density and constitution of the oligochaetes have not noticeably changed compared to previous studies.

1 Einleitung

Der Seeboden ist ein wesentlicher Bestandteil des gesamten Gewässerökosystems. Als solcher ist er nicht nur Lebensraum für eine spezifische Lebensgemeinschaft sondern auch als Grenzfläche zwischen Wasserkörper und Sediment an physikalisch-chemischen-biologischen Stoffkreisläufen beteiligt.

Sedimente in einem See sind das Resultat von natürlichen und anthropogen-beeinflußten Umweltprozessen im Einzugsgebiet eines Sees und im See selbst. Sedimente speichern auf diese Weise Informationen über den gegenwärtigen Zustand und über frühere Umweltbedingungen eines Seesystems. Für eine Beurteilung von Veränderungen eines Sees und die Planung von Maßnahmen, gesetzlichen Bestimmungen und Konzepten für eine nachhaltige Entwicklung ist die genaue Kenntnis der in den Sedimenten archivierten Umweltparameter von großer Wichtigkeit. So lassen sich über das Ausmaß, die Bedeutung und die Dauer von anthropogenen Veränderungen in einem Seegebiet nur dann gesicherte Aussagen machen, wenn die in den Sedimenten vorhandenen Informationen über die in der Vergangenheit abgelaufenen Umweltprozesse erhoben, ausgewertet und interpretiert worden sind.

In diesem Sinne ist das Seebodenuntersuchungsprogramm der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) seit 1992 ausgerichtet. Bei einem von der IGKB 1991 im Bildungszentrum Schloß Hofen in Lochau bei Bregenz veranstalteten Seebodenseminar wurde eine Neuorientierung unter stärkerer Einbeziehung abiotischer Parameter vorgeschlagen, wobei zur Sicherung der Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen auch wie bisher die Oligochaeten als Bioindikatoren bearbeitet werden sollten.

Mit diesem Untersuchungsprogramm wurden vor allem drei Hauptziele verfolgt:

- 1. Das Routineprogramm sollte durch die Anwendung neuer Parameter künftig bei geringerem Untersuchungsaufwand ein gutes Instrument zur Beschreibung der Verhältnisse und Veränderungen im Seeboden bieten. Daher war insbesondere auch das Aussagepotential der Parameter zu bewerten.
- 2. Durch die Analyse der vertikalen Verteilung von unterschiedlichen Inhaltsstoffen sollte Aufschluß über die jeweiligen Ablagerungsbedingungen und deren zeitliche Änderungen erhalten werden. Insbesondere war damit die Frage verbunden, in welchem Umfang die Entwicklung des Seezustandes während der letzten Jahrzehnte - vor allem in Hinblick auf die Eutrophierung - auch in den Sedimenten abgebildet ist.
- 3. Durch die Analyse von Phosphor-Gehalten und deren unterschiedlichen Bindungsformen sollte eine Abschätzung des Rücklösungspotentials sedimentgebundenen Phosphors ermöglicht werden. Dieses Ziel steht insbesonders auch im Zusammenhang mit der angestrebten Anpassung des Seemodells der IGKB (IGKB Bericht Nr. 44, 1993).

2 Bisherige Seebodenuntersuchungen am Bodensee

2.1 Zur Geschichte der Seebodenuntersuchungen

Die Erforschung der Seeablagerungen des Bodensees hat eine mehr als 120 jährige Tradition. Im ausgehenden vorigen Jahrhundert spielten im Zuge der beginnenden Eiszeitenerforschung grundsätzliche Fragen zur Natur- und Entstehungsgeschichte des Bodensees eine große Rolle. So beschrieb der Ravensburger Diakon A. STEUDEL 1870 in seinen Ausführungen "Ueber die erratischen Erscheinungen in der Bodenseegegend" unter anderem das Vorkommen großer Gesteinsblöcke in den Bodensee - Flachwasserbereichen vor Lindau und Friedrichshafen. Für die damaligen Forscher stand außer Zweifel, dass es sich hierbei um eiszeitliche Relikte handelte. Die Ausdehnung des früheren Bodensees wurde ebenso diskutiert wie dessen Ufergestaltung und anschauliche Kartendokumente belegen die detaillierte Kenntnis der damaligen Eiszeitforscher (STEUDEL 1874). Mit einer topographischen Seevermessung wurde die Struktur des Seebodens genauer erfasst und markante Rinnenstrukturen als Spuren einer unterseeischen Fortsetzung des Rheins gedeutet (A. von SALIS 1884), später dann ihr Aufbau durch Sedimentwallbildungen erklärt (KRAPF 1901).

In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts stand der Zürichsee im Zentrum sedimentologischer Untersuchungen. In kurzen Bohrkernen wurden Wechsellagerungen aus hellen biogenen Kalken und dunklem organischem Material über helleren Basisschichten aus mineralischem Detritus beobachtet und daraus geschlossen, daß sich seeinterne Prozesse wie z. B. eine Eutrophierung in Seesedimenten widerspiegeln (NIPKOW 1920). Diese wegweisende Erkenntnis beeinflußte auch die Seeboden-Untersuchungen am Bodensee. Mitte der 50er Jahre noch vor der dramatischen Eutrophierung gelang es anhand charakteristischer Pigmentmuster in Sedimenten von Zürichsee und Bodensee die Entwicklung pflanzlichen Planktons über einen längeren Zeitraum und unter verschiedenen trophischen Zuständen nachzuvollziehen (ZÜLLIG 1956).

Im Verlauf der fortschreitenden demografischen Entwicklung des Bodenseeraumes rückte Mitte der 60er Jahre die anthropogene Veränderung des Bodenseezustandes durch erhöhte Nährstoffzufuhr zunehmend ins Blickfeld. Im Sediment lebende Organismen als Indikatoren für den Gewässerzustand wurden Basis eines umfassenden Untersuchungsprogramms der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (ZAHNER 1964). Grundlegende Faktoren der Sedimentbildung im Bodensee (MÜLLER 1966), die Beziehungen zwischen Wasser, Sediment und Organismen sowie der Phosphor-Gehalt der Sedimente (MÜLLER 1967) waren Arbeitsthemen des Heidelberger Instituts für Sedimentforschung. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs "Stoffkreisläufe im Bodensee" wurde 1989 an der Universität Konstanz ein Teilprojekt mit dem Thema "Das Abbild der Stoffkreisläufe im Sediment" eingerichtet. Die Arbeitsgruppe von F. GIOVANOLI erforschte u. a. biogene Silikate, die Rückschlüsse auf Trophieänderungen im Bodensee zulassen (LENJER 1990), sowie die Möglichkeiten einer Rekonstruktion von Phytoplanktonentwicklungen im Bodensee anhand von Pigmentuntersuchungen im Sediment (NEUKIRCH 1993, LENHARD 1994). Anhand von Diatomeenresten im Sediment des Bodensee-Obersees konnte für die letzten 100 Jahre ein Abbild der Nährstoffbelastung im See nachgezeichnet werden (MOHAUPT 1994).

Neben den Überresten der Bioproduktion wurden seit Mitte der 60er Jahre sowohl die mineralischen. zuflußbürtigen Sedimentanteile im Bodensee-Obersee (WAGNER 1967, et al. 1968) als auch die autochthonen Karbonate FÖRSTNER des Untersees (SCHÖTTLE 1969) zunehmend erforscht. Sedimentschichtungen dienten als Hinweis auf Ablagerungsmechanismen und als . Zeitmarken bei seeweiten Korrelationen (WAGNER 1972). Hydroakustische Untersuchungen in Form von Tief- und Flachseismik sowie die Sedimentoberflächenanalyse mit Seitensichtsonar ermöglichten großräumige Betrachtungen des Sedimentationsraumes Bodensee (MÜLLER & GEES 1968, SCHOOP & WEGENER 1984, SCHRÖDER & NIESSEN 1987, SCHRÖDER 1992). Aufgrund seismischer Informationen wurden 1988 seeweit 50 bis zu 10 m lange Kolbenlotkerne aus dem Bodensee entnommen. Sie dienten der Analyse früher Umweltsignale während der letzten Nacheiszeit (GIOVANOLI 1991, NIESSEN und STURM 1991, WESSELS und GIOVANO-LI 1991, WESSELS 1995).

In den letzten 100 Jahren der fortschreitenden Industriealisierung erreichten den Bodensee eine Vielzahl von flüssigen, gasförmigen und festen Stoffen nahezu unbemerkt über den Luftund Wasserweg. Nichtmineralische Abfallstoffe in Ufersanden (MÜLLER 1964), Schwermetalle (BANAT et al. 1972, KRESS 1992 und WESSELS 1995) und Schadstoffe (MÜLLER 1977, ROSSKNECHT 1984) wurden zu alltäglichen Bestandteilen der Bodensee-Ablagerungen.

Eine besondere Zeitmarke des Atomzeitalters stellen die Radionuklideinträge aus Atomwaffentests und dem Reaktorunfall von Tschernobyl dar. Die Verteilung des anthropogen eingetragenen Cäsiums ermöglichte sowohl eine Sedimentdatierung als auch eine Rekonstruktion von Eintrags- und Verteilungsmechanismen (LINDNER et al. 1991, KAMINS-KI 1991, BEHRSCHMIDT 1992, KAMINSKI et al. 1993, KLENK 1993, SCHULZ 1993, RICHTER 1993, BOSL 1994, ECKERLE 1994).

Die Sedimente des Bodensees sind ein Archiv der See- und Umweltentwicklungen. Sie dokumentieren langfristige natürliche Veränderungen ebenso wie die einschneidenden menschlichen Eingriffe der letzten Jahrzehnte. Sie sind aber auch ein nicht zu vernachlässigender Bestandteil des limnischen Ökosystems. Sowohl im Flach- wie auch im Tiefwasser wurde der Seeboden als Lebensraum vielfältiger Organismengesellschaften beschrieben (MICOLETZKY 1922, LUNDBECK 1936, ZAHNER 1964, REISS 1968, RIXEN 1968, SOECKNICK 1970, SCHWANK 1976, FRENZEL 19979, 1980 und 1983, SAUTER 1993 und 1997).

Physikalisch-chemische Untersuchungen der Sediment-Wasser-Grenzschicht halfen frühdiagenetische Stoffaustausch-Prozesse aufzudecken (FREVERT 1981, OSTENDORP und FRE-VERT 1979) und zeigen die Sedimente als ein System von Fließgleichgewichten, die auf äußere Impulse zum Teil sehr empfindlich dynamisch reagieren. Hierdurch ergibt sich gerade im Gewässerschutz eine neue Bedeutung der Sedimentuntersuchung als Langzeit-Monitoring, die von der IGKB aufgegriffen wurde.

2.2 Seebodenuntersuchungen der IGKB

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) hat gemäß ihrem Ziel eines ganzheitlichen Gewässerschutzes auch den Seebodenzustand und seine Bedeutung für das Ökosystem Bodensee zu berücksichtigen. Wegen der Funktionszusammenhänge zwischen Sediment und Freiwasser (z.B. Ausfällung, Sedimentation, Rücklösung) stellen fundierte Kenntnisse über den Zustand und die Entwicklungstendenzen des Seebodens neben den Ergebnissen der Freiwasseruntersuchung eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Belastung eines Sees dar. Sie sind ein wertvolles Arbeitsmittel sowohl für die Erfassung von Belastungsschwerpunkten als auch für die Feststellung der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen oder anderer Eingriffe im Seebereich.

Der Seeboden war deshalb wiederholt Gegenstand von Untersuchungen der IGKB. Bereits kurz nach der Gründung der IGKB wurde von 1961 bis 1963 die "Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees" untersucht (Bericht Nr. 2, 1964), und zwar der Wasserkörper und der Seeboden der Uferzone, teilweise bis in Wassertiefen über 100 m. Mittels physikalischchemischer Untersuchungen der über die Zuflüsse zugeführten Nährstoffe wurde diese Belastungsquelle erfaßt und über Oligochaeten als Indikatororganismen ihre belastende Wirkung auf den Seeboden beschrieben.

Im Bericht Nr. 9 (1971) "Bodensee-Sedimente" sind die Ergebnisse einer Untersuchung aus den Jahren 1963 bis 1966 zusammengefaßt. Es ging um die Bedeutung der Sedimente für den Chemismus des Freiwassers und dessen Belastung mit eutrophierenden Stoffen, insbesondere mit Phosphorverbindungen. Dabei wurde darauf hingewiesen, daß in den Sedimenten des Bodensees möglicherweise dann Phosphat in des überstehende Wasser freigesetzt wird, wenn die Bodenwasserschicht in einen reduzierten Zustand gerät. Es ließ sich jedoch noch nichts Genaues über das Ausmaß der Phosphatfreisetzung unter anaeroben Bedingungen im Bodensee aussagen. \checkmark

Im Bericht Nr. 25 (1981) wurden Daten "Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978" vorgelegt. Schwerpunkt dieser Untersuchung war die flächendeckende Beschreibung der Belastung des Seebodens anhand einiger physikalischchemischer Parameter und vor allem der Oligochaeten als Indikatororganismen. Es wurde davon ausgegangen, daß der Höhepunkt der Belastung des Seebodens mit organischen Substanzen erfaßt wurde, die Belastung aber infolge der Akkumulation noch länger andauern wird.

Der Bericht Nr. 31 (1984) beschäftigte sich mit dem Thema "Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten". Für diese Bestandsaufnahme der Belastung des Bodensees mit Schadstoffen wurden wegen ihrer Bedeutung als Schadstoffspeicher über Jahrzehnte hinweg und wegen ihrem Anreicherungsvermögen für die meisten der untersuchten Schadstoffe die Seesedimente ausgewählt. Die Schadstoffbelastung wurde als mittel bis mäßig eingestuft. Akute toxische Wirkungen von Einzelsubstanzen ließen sich aus diesen Ergebnissen nicht ableiten. Chronisch toxische Auswirkungen und Störungen natürlicher biologischer Abläufe wurden aber auch bei den in in den Bodenseesedimenten aufgefundenen Belastungsgraden nicht ausgeschlossen.

"Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978)" waren Schwerpunkt des Berichts Nr. 38 (1988). Denn die Oligochaeten geben Hinweise auf die Belastung des Seebodens zum einen durch ihre Individuendichte, zum andern aber auch durch die Artenzusammensetzung der Population. Dazu war auch die Identifikation auch der schwer bestimmbaren unreifen Oligochaeten auf Artniveau unerläßlich. Die miteinander verbundenen Informationen konnten in einer Indexzahl für den Belastungszustand zusammengefaßt werden. Weiteres wesentliches Ergebnis dieses Berichts war auch die festgestellte signifikante Korrelation zwischen den Jahresfrachten an partikulärem organischem Kohlenstoff von zehn relevanten Bodenseezuflüssen und und der jeweils maximalen Oligochaetenabundanz in den entsprechenden Mündungsgebieten. Daraus wurde deutlich, daß in erster Linie die Zufuhr an organischem Kohlenstoff und nicht dessen Gesamtgehalt im Sediment für die Abundanz der Oligochaeten von Bedeutung ist.

Die Überwachungsuntersuchungen zur Beobachtung der Seebodenentwicklung wurden in unterschiedlichem Umfang fortgesetzt. Anfang der 80er Jahre wurden an ausgewählten Profilen vierteljährliche Probenahmen durchgeführt, um Aussagen über allfällige saisonale Unterschiede in der Besiedlungsdichte der Oligochaeten machen zu können. Es ließen sich jedoch keine signifikanten Gesetzmäßigkeiten herausarbeiten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsphase wurden in Kurzform im Jahresbericht der IGKB Nr. 10, Limnologischer Zustand des Bodensees, 1982/83 publiziert. Von 1985 bis 1987 wurden jährliche Untersuchungen an denselben Profilen fortgesetzt und jeweils der Belastungsindex und zum Zwecke der Kontinuität der Ergebnisse auch der Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie die Korngrößen (Silt-Ton-Anteil) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsphase wurden in Kurzform im Jahresbericht der IGKB Nr. 16, Limnologischer Zustand des Bodensees, 1988/89 publiziert. Zur Kontinuität der Ergebnisdarstellung wurden Zwischenresultate der im vorliegenden Bericht vorgestellten Untersuchungen im Jahresbericht der IGKB Nr. 21, Limnologischer Zustand des Bodensees 1993/94 in Kurzform aufgenommen.

Im Bericht Nr. 43 (1992) über "Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee" wurde eine regionale hydroakustische Erfassung (Sidescan-Kartierung) von Sedimentoberflächen-Strukturen im Bereich der Vorstreckung des Alpenrheins vorgestellt. Mit der Verlagerung der Rheinmündung war ein auffälliger Wechsel in der Sedimentation verbunden. Der Seeboden im Einflußbereich des Neuen Rheins ist wenig strukturiert und die Ablagerungen nach 1900 weisen keinerlei Anzeichen für die früher regelmäßig wiederkehrenden grundberührenden Trübeströme (Turbidite) auf. Die gröberen Feststoffe verbleiben im Deltabereich der Neuen Rheinmündung und werden nicht mehr in größere Tiefen verfrachtet.

2.3 Derzeitiges Seeboden-Untersuchungsprogramm der IGKB

Anzahl und Themen der Berichte belegen den hohen Stellenwert von Seebodenuntersuchungen für die IGKB. Bis 1988 lag dabei der Schwerpunkt der Arbeiten vorwiegend in der Untersuchung benthischer Organismen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand und einiger traditioneller Sedimentparameter. 1991 fand im Bildungszentrum Schloß Hofen in Lochau bei Bregenz ein von der IGKB veranstaltetes Seeboden-Seminar zur Standortbestimmung statt. Hier wurde eine Neuorientierung der Seebodenuntersuchungen unter stärkerer Einbeziehung abiotischer Parameter, aber auch der mikrobiellen Stoffwechselvorgänge an der Sedimentoberfläche, vorgeschlagen. Schwergewichtig sollte auch die Frage der potentiellen Rücklösung verschiedener Phosphorfraktionen aus dem Sediment behandelt werden, um eine weitere Datenbasis für das Phosphor-Modell zu erhalten.

Folgende Komponenten wurden in das Routineuntersuchungsprogramm aufgenommen:

Sedimentstrukturen	Zum besseren Verständnis der Vorgänge am Seegrund ist die Kennt-			
	nis sowohl der Sedimentoberfläche als auch Struktur der Sediment-			
	kerne eine wichtige Interpretationshilfe.			
Datierungen	Die altersmäßige Zuordnung der einzelner Sedimentschichten ist			
	Voraussetzung für die Korrelation aller Untersuchungsparameter in			
n en	den Sedimentkernen.			
Wassergehalt	Die Wassergehaltsbestimmung diente u.a. der Ermittlung der gemein-			
	samen Bezugsgröße Trockengewicht.			
Korngrößen	Korngrößenbestimmungen lassen Rückschlüsse auf die Ablagerungs-			
and a second	dynamik zu.			
Mineralogie	Aus der Mineralogie läßt sich die Sedimentherkunft rekonstruieren.			
Anorg. Kohlenstoff	Die Bestimmung des anorganischen Kohlenstoff-Gehaltes dient der			
	Eichung mineralogischer Parameter.			
Organ. Kohlenstoff	Organischer Kohlenstoff zeigt die zeitliche Entwicklung der seeinter-			
	nen Produktion und der allochthonen Zufuhr.			
Schwefel	Der Schwefelgehalt ist ein weiteres Maß für organische Stoffeinträge.			
Pigmente	Die Bestimmung pflanzlicher Pigmente gibt Aufschlüsse über zeitli-			
	che Veränderungen von Menge und Zusammensetzung der pflanzli-			
	chen Biomasse, vor allem des Phytoplanktons, im See.			
Gesamtphosphor	Gesamtphosphor wird als Bezugsgröße für die Phosphorfraktionie-			
	rung bestimmt.			
Phosphorfraktionen	Die Phosphorfraktionen erlauben Abschätzungen des Potentials der			
	Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment und Freisetzung ins			
	überstehende Freiwasser.			
Redox- und Sauer-	Der Verlauf der vertikalen Änderungen der Redox- und Sauerstoff-			
stoff-Mikroprofile	werte erlaubt Rückschlüsse über sedimentinterne Lösungs- und Fäl-			
	lungsprozesse.			
Oligochaeten	Die Bestandsdichten und Artenzusammensetzung der Oligochaeten			
	spiegeln die Auswirkungen der Zufuhr organischer Stoffe wider.			

Die Analysen wurden bei allen jährlichen Beprobungen durchgeführt, Datierung, Korngrößen, Pigmente und Redoxmessungen jedoch nur in einem Meßjahr erfaßt.

3 Bewertung der Literaturstudie "Great Lakes"

Beim Seeboden-Seminar 1991 wurde auch angeregt, durch eine Literaturstudie abzuklären, inwieweit bereits existierende Konzepte zur Sedimentuntersuchung von anderen Seen auf die Gewässerüberwachung am Bodensee übertragbar sind. Im Auftrag der IGKB führte Dipl. Geogr. W. Spitzer eine umfangreiche Literaturstudie durch. Als Vergleich wurden die an den Great Lakes durchgeführten Arbeiten herangezogen.

Die Great Lakes, im Grenzgebiet zwischen den Vereinigten Staaten von Amerika und Kanada gelegen, sind wie der Bodensee wohl wegen ihrer Internationalität sehr gut untersuchte Objekte. Nicht zuletzt darf auch erwartet werden, dass dort alles was an Methoden erfolgversprechend sein kann, auch eingesetzt und beschrieben wird.

Insgesamt gesehen nehmen die zum Kompartiment Seeboden veröffentlichten Arbeiten einen ansehnlichen Raum ein (ca. 750 Literaturzitate). Nachfolgend eine Aufstellung der Schwerpunktthemen:

- Arbeiten zu den unterschiedlichen geochemischen Verhältnissen und zur unterschiedlichen anthropogenen Belastung der einzelnen Seen sowie deren hydrographische Verhältnisse.
- Für einzelne Seebereiche wurden Langzeittrends in der Korrelation von Benthosbesiedlung und chemischer Belastung erstellt.
- Es wurden paläolimnologisch-stratigraphische Untersuchungen durchgeführt; dabei wurden insbesondere n\u00e4hrstoffliche, bioz\u00f6notische und - \u00fcber bisherige Arbeiten am Bodensee hinausgehend - auch toxikologische Ans\u00e4tze verfolgt. Die stratigrafischen Untersuchungen behandelten Lang- und Kurzzeitaspekte. Insbesondere wurden Trophie\u00e4nderungen im Zusammenhang mit der Siedlungst\u00e4tikeit aber auch mit Klimaver\u00e4nderungen untersucht. Auch der Eintrag ausgesuchter Schadstofe wurde mit dieser Methode verfolgt.
- Untersuchungen zur Remobilisierung von Phosphor beschränkten sich auf einzelne besonders belastete Buchten.
- Toxikologische Erhebungen fallen stärker ins Gewicht als am Bodensee. Dabei wurde meist Sediment in abgegrenzten Testsystemen mit ausgewählten Testorganismen (Benthostiere, Plankton, Leuchtbakterien) eingesetzt. Arbeiten zu einem allfälligen Indikationspotential bestimmter Arten für definierte Schadstoffe sind jedoch nicht vertreten. Naturgemäß beschränkte sich diese Arbeitsrichtung auf besonders belastete Areale.
- Untersuchungen zur Benthosfauna konzentrierten sich hauptsächlich (wie am Bodensee) auf die Oligochaetengruppe der Tubificiden; deren Artenzusammensetzung und Bestandsdichten dienten auch dort zur Ermittlung von Belastungsstufen. Daneben wurden in kleinerem Umfang auch die Chironomidenbestände zur Seebodenbewertung herangezogen.
- Wie am Bodensee, so wurde auch an den Great Lakes einerseits eine statistisch gut abgesicherte Abhängigkeit der Bestandsdichten der Tubificiden von der Zufuhr sedimentierender Stoffe gefunden - und auch dort ist andererseits diese Abhängigkeit vom Gehalt an oganischer Substanz nur wenig ausgeprägt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Literaturrecherche keine für den Bodensee relevante, nutzbare Untersuchungsmethode zusätzlich erbrachte. Das am Bodensee genutzte Methodenrepertoire deckt also hinsichtlich der Situation im Gewässer und der heutigen Analysenmöglichkeiten alle international gängigen Parameter ab.

Ein Auszug der wichtig erscheinenden Arbeiten aus den Bereichen Sedimentologie und Chemie sowie Biologie und Benthos ist im Literaturverzeichnis eingearbeitet.

4 Probenentnahme und Untersuchungsparameter

Die Probenpositionen auf einer Profillinie (Transekt) zwischen Fischbach und Uttwil wurden in Anlehnung an frühere Seebodenuntersuchungen (Profile 31 und 115 im IGKB Bericht Nr. 38, 1988) und an die Lage der IGKB Freiwasser-Untersuchungsstelle (F) im Bodensee-Obersee ausgewählt. Für die Festlegung der Beprobungsstellen wurde die 1990 von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) herausge-"Internationale Bodensee-Tiefenvergeben messungskarte" im Maßstab 1:50000 verwendet. Probenahmestellen können mit Hilfe des GPS jeweils exakt angefahren werden (siehe Arbeitsmanual).

Probenentnahmestellen



Abb. 1: Lage der Probenentnahmestellen

Die Sedimententnahmen erfolgen jeweils nach der winterlichen Vollzirkulation des Sees vor Einsetzen der Planktonentwicklung (25. März 1992, 16. März 1993 und 16. März 1994).

Es wurden je Probenort 5 Oberflächenproben für biologische Untersuchungen und 2 Sedimentkerne für sedimentologisch-chemische Analysen und Datierung entnommen. Für die Oberflächenproben wurde ein Backengreifer sowie eine Gravitationslot benutzt.

Folgende Parameter wurden untersucht (Methodenbeschreibung vgl. Arbeitsmanual im Anhang dieses Berichts):

	and the second	
	Sedimentstrukturen (qualitativ)	organischer Kohlenstoffgehalt (% Trockensubstanz)
	Datierungen (Bq/kg)	Schwefelgehalt (% Trockensubstanz)
÷	Wassergehalt (% Gesamtprobe)	Pigmente (µg/g Trockensubstanz)
	Korngrößenanalyse (µm)	Gesamt-Phosphor-Gehalte (µg/g Trok- kensubstanz)
	Calcit (% Trockensubstanz)	Verteilung der Phosphor-Fraktionen (µg/g Trockensubstanz)
•4	Dolomit (% Trockensubstanz)	Sauerstoffmikroprofile (mg/l)
	Quarz (% Trockensubstanz)	Redoxpotentialmikroprofile (mV eH)
	anorganischer Kohlenstoffgehalt (% Trockensubstanz)	Oligochaeten (Ind./m ² und Arten)

Die einzelnen Untersuchungsergebnisse liegen im Institut für Seenforschung in Langenargen vor.

5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Sedimentstrukturen

5.1.1 Akustische und optische Begutachtung der Probenentnahmestellen

Die Entnahmestellen der Sedimentproben des Profils Fischbach-Uttwil (siehe Manual) wurden mittels Sidescan Sonar und Searover-Unterwasserkamera hinsichtlich ihrer Beschaffen-



Abb. 2: Potentielle Probenentnahmesituationen bei gewölbter Sedimentoberfläche



Abb. 3: Sedimentoberfläche bei Station 3 (Seemitte, Wassertiefe 250 m). Auf dem ca. 2 m breiten Bildausschnitt sind deutliche Vertiefungen erkennbar

heit untersucht. Die Sonaraufnahmen brachten keinerlei Hinweise auf groß-Inhomogenitäten räumige oder Störungen, wie Rinnensysteme, Krater oder Abbruchzonen. Das Beprobungsareal liegt in einer morphologisch ruhigen Zone und ist daher für überwachende Sedimentanalytik geeignet. Die Aufnahmen der Unterwasserkamera Searover zeigten kleinräumige Strukturen im cm- bis dm-Bereich. An allen Probenentnahmestellen ließ sich ein Muster aus kleinen Vertiefungen und Erhebungen feststellen. Diese "hügelige" Sedimentoberfläche ist eine mögliche Ursache für geringfügige Abweichungen und Unschärfen der Meßergebnisse des Untersuinnerhalb chungszeitraums, z.B. dann, wenn bei der Beprobung die schräge Flanke einer Vertiefung erfasst wurde (Abb. 2 und 3). Nach der Auftrennung des Sedimentkerns lassen sich dann oftmals primäre Schichtungsphänomene nur schwer von Anschnitteffekten trennen. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Ergebnisse der 3-jährigen Meßphase zu betrachten.

5.1.2 Vergleich der Sedimentstrukturen

Sedimentkern 3 (Seemitte -250 m)

Alle an einem Standort innerhalb der drei Probenjahre 1992, 1993 und 1994 entnommenen Kerne sind strukturell gut vergleichbar. Die Verschiebung einzelner Horizonte liegt im cm-Bereich und ist durch Schwankungen bei Probenentnahme und Probenpräparation erklärbar.



Abb. 4: Die obersten 35 cm des Sedimentkerns 3 aus Seemitte (Wassertiefe 250 m)

Lediglich im Bereich des Kerns 3 (Seemitte) betragen die Schwankungen zwischen den Jahren 1992/93 und 1994 mehr als 6 cm (Abb. 4). Dieses Phänomen wurde bereits früher an dieser Stelle bei wiederholten Beprobungen festgestellt. Ob es sich hierbei um primäre Störungen im Sedimentinventar oder aber Artefakte im Zuge der Probenentnahme handelt, läßt sich noch nicht klären. In den wenigen Fällen mit größerer Abweichung wurde die Probenentnahme wiederholt bzw. das Material des Ersatzkerns verwendet.

Die Kerne des Nordbereichs (1 und 2) zeigen gut geschichtete Sedimente, die ab 22 bzw. 20 cm nach oben zunehmend dunklere Lagen aufweisen (Abb. 5). In ca. 8 bis 10 cm Kerntiefe liegt die dunkelste Lage, die in Kern 2 mächtiger erscheint als in Kern 1. Die größte dunkle Lage befindet sich in Kern 3 (Seemitte), der bis auf die oben erwähnten Besonderheiten eine ähnliche Struktur wie die nördlichen Kerne aufweist.

Bei 26 cm (bzw. 1994: 20 cm) liegt an der Basis des Kern 3 eine über 40 cm mächtige sandige Lage, die auf die Trübestrom-

sedimentation des Alten Rhein im Jahr 1890 zurückzuführen ist. Sie ist ein charakteristisches Kennzeichen dieser Ereignisse im tiefen Seebecken, die bis zur Rheinmündungsverlegung im Jahre 1900 das Sedimentationsgeschehen entscheidend geprägt hat.

Die südlichen Kerne 4 und 5 zeigen insgesamt verwaschenere Schichtungsstrukturen. Die dunkleren Lagen im oberen Kernteil sind geringmächtiger (< 10 cm) und zeigen kaum Strukturierung. Die markante Hochwasserlage von 1987 fehlt.

Das unterschiedliche Mineralinventar der einzelnen Kerne läßt sich mit Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen gut dokumentieren (Abb. 6).



Abb. 5: Strukturinventar der oberen 35 cm der Sedimentkerne. Die hier dargestellten Kerne entstammen der Probenentnahmeaktion 1994

Fischbach

Uttwil

١



Abb. 6: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Oberflächenproben der 5 Probenpunkte: Die Kerne 1 und 2 zeigen gut erkennbare detritische Silkatkörner (Quarz/Feldspat); in Kern 3 und 4 sind im See gebildete Calcite der biogenen Entkalkung sichtbar und die Probe von Station 5 zeigt überwiegend organische Partikel.

5.2 Datierungen

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der γ -Messung der Nuklide Beryllium (⁷Be), Cäsium (¹³⁴Cs^{, 137}Cs) und Blei (²¹⁰Pb) in den obersten Sedimentschichten der fünf Probenahmestationen dargestellt. Es handelt sich um Messungen an **Oberflächenproben** (0 -1 cm) aus dem Jahr 1992.

Station	Tiefe	⁷ Be '	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	²¹⁰ Pb
	[cm]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
1 (-50m)	0-0,5	429	203	288	190
Nord	0,5-1	0	312	435	137
2 (-100m)	0-0,5	0	208	262	116
	0,5-1	0	403	610	191
3 (-250m)	0-0,5	0	0	189	189
	0,5-1	0	0	244	196
4 (-100m)	0-0,5	0	0	268	141
	0,5-1	0	498	493	152
5 (-50m)	0-0,5	349	602	918	194
Süd	0,5-1	0	578	906	160

Das kurzlebige, aus der Atmosphäre stammende Isotop ⁷Be ließ sich nur in den obersten 0,5 cm der Stationen 1 und 5 nachweisen. Hieraus läßt sich ableiten, daß die Erhaltung der Kerne dieser Stationen bei der Entnahme nicht gestört wurde und daß kein Material verloren gegangen ist. In den obersten Sedimentproben der übrigen Stationen konnte 'Be nicht festgestellt werden. Ebenso konnte 'Be in den Proben 0,5 -1 cm in keiner der untersuchten Probenahme Stationen nachgewiesen werden.

Tab. 1: Vergleichsmessungen der obersten Sedimentschichten im Transekt Fischbach - Uttwil

Das ausschliesslich von der Reaktor-Katastrophe von Tschernobyl stammende

Isotop ¹³⁴Cs wurde in 4 Probenstellen des Transekts festgestellt. Das ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs - Isotopenverhältnis von 1,6 weist eindeutig auf Eintrag durch den *fall out* von Tschernobyl hin. In den Sedimenten der Station Seemitte konnten keine ¹³⁴Cs-Aktivitäten festgestellt werden. Auffallend sind die grossen Aktivitätsunterschiede sowohl von ¹³⁴Cs als auch von¹³⁷Cs in der Station 5 zu den übrigen Stationen des Transekts. An dieser Station wurden Aktivitäten festgestellt, die bis um das Dreifache über den der anderen Stationen lagen. Außerdem wurden in den Proben 0 - 0,5 cm und 0,5 - 1 cm dieser Station nahezu gleich hohe Aktivitäten gemessen; die anderen Stationen zeigen dagegen deutlich kleinere Aktivitäten in den Proben 0 -0,5 cm im Vergleich zu 0,5 - 1 cm. Aussergewöhnlich an der Station Seemitte sind neben dem Fehlen von ¹³⁴Cs die durchschnittlich kleinen ¹³⁷Cs-Aktivitäten von <250 Bq/kg.

Die Überschussaktivitäten von ²¹⁰Pb, das wie ⁷Be nur aus der Atmosphäre eingetragen wird, lassen keine grossen Unterschiede zwischen der Station 5 und den übrigen Stationen erkennen. Es ist aber auffallend, daß die kleinsten ²¹⁰Pb -Aktivitäten in den Kernen der beiden Stationen 2 und 4 (100 m Süd und 100 m Nord) auftreten.

An Sedimenttiefenprofilen der Stationen 1, 3 und 5 erfolgte zusätzlich zur Aktivitätsbestimmung der Oberflächenproben die Bestimmung der ¹³⁷Cäsium Aktivitäten. Aus den Tiefenlagen des Tschernobyl-Maximums (Marker für das Jahr 1986) und des Maximums des Kernwaffentest Cäsiums (Marker für das Jahr 1963) lassen sich die Sedimentationsraten abschätzen. Für die Stationen 1 (50 m Nord) und 3 (250 m Seemitte) liegen Tschernobyl-Cäsium bei 2-3 cm und Kernwaffentest-Cäsium bei 11-12 cm. Hieraus ergibt sich eine Sedimentationsrate von 3 bis 4 mm pro Jahr. Für die Station 5 (50 m Süd) liegen Tschernobyl-Cäsium bei 0-1 cm und Kernwaffentest-Cäsium bei 3-4 cm. Hieraus ergibt sich eine Sedimentationsrate von rund 1 mm pro Jahr. Die hieraus resultierenden Zeitmarken sind in den folgenden Abbildungen jeweils eingezeichnet.

Die Aktivitäten der natürlichen, aus der Atmosphäre stammenden Nuklide ⁷Be und ²¹⁰Pb weisen zwischen den Stationen von Norden nach Süden keine bedeutenden Unterschiede auf.

Die Ergebnisse der ¹³⁷Cs-Aktivitätsbestimmungen an drei Stationen im Transekt Fischbach-Uttwil ergaben für alle Kerne eine Datierungsgrundlage, die eine verläßliche zeitliche Zuordnung der oberen Sedimentschichten ermöglichen. Ihre Aussageschärfe ist vor dem Hintergrund des großen vertikalen Probenabstandes von 1 cm zu sehen. Die Messungen zeigen jedoch deutlich ein Nord-Süd-Gefälle der Sedimentakkumulation, das den Einfluß des Alpenrheins auf das Sedimentationsgeschehen im Bodensee-Obersee unterstreicht.

5.3 Sedimentprofile

Die Messungen der Sedimentinhaltsstoffe zeigen eine insgesamt gute Vergleichbarkeit über die gesamte Meßdauer und werden daher im folgenden als Mittelwerte über die 3 Probenjahre angegeben. Die beobachteten Schwankungen können sowohl auf Meß- oder Probenentnahmeeffekte als auch auf kleinräumige regionale Inhomogenitäten zurückgeführt werden. Korngrößen-, Pigment- und Cäsiumbestimmungen wurden wegen des hohen Untersuchungsaufwandes bzw. als Pilotuntersuchungen nur in einem Meßjahr durchgeführt.





Abb. 7: Darstellung der Vergleichbarkeit der Meßparameter Schwefel und Kohlenstoff (% des Trockengewichets) für die 3 Meßjahre 1992, 1993 und 1994 am Beispiel der Probenstellen 1, 3 und 4 (Parameter- und Stationenauswahl erfolgten willkürlich)

Generell läßt sich sagen, daß für alle untersuchten Parameter die größten Veränderungen im Bereich der oberen 20 cm der Sedimentkerne auftreten. Bei der Station Seemitte treten zusätzlich bei einigen Meßgrößen auch starke Gradienten zur basalen sandigen Trübestromablagerungen (Turbiditschicht) auf. Diese Sandlage tritt ausschließlich in den Sedimenten von Seemitte auf, die vor der Rheinverlagerung deponiert wurden. Alle jüngeren Sedimente weisen keine Trübestromablagerungen auf (vgl. IGKB-Bericht Nr. 43, 1992).

Alle Kerne zeigen in ihren oberen 20 cm grundsätzlich ähnliche Sedimentationsbedingungen, so daß der beobachtete Gradient der chemisch-physikalischen Parameter primäre Änderungen des Seezustandes sowie diagenetische Veränderungen im Sediment anzeigt.

5.3.1 Wassergehalt

Der Verlauf der durchschnittlichen Wassergehalte zeigt generell eine diagenetisch bedingte Wasserabnahme der untersuchten Sedimentkerne von oben nach unten.

Die durchschnittlichen Wassergehalte schwanken bei allen Kernen zwischen 40 und 55 % im unteren Kernbereich. Sie nehmen bei den nördlichen Kernen 1 und 2 sowie dem zentralen Kern 3 nach oben hin kontinuierlich zu (Werte um 70 %). Die südlichen Kerne 4 und 5 zeigen in den unteren Abschnitten nahezu konstante Werte um 55 % und nehmen erst ab 12 cm Kerntiefe nach oben hin auf Werte um 70 % zu. In diesem Unterschied dokumentiert sich die geringere Sedimentationsrate im südlichen Obersee sowie die damit verbundenene geringere Mächtigkeit stark wasserhaltiger organischer Substanz (vgl. Abschnitt organischer Kohlenstoff). Die Kerne 4 und 5 dokumentieren zudem einen längeren Zeitraum als ihre Pendants aus dem zentralen und nördlichen Seeteil. Entsprechend länger war die Zeit der Sedimententwässerung der Südkerne.

Ihrem Kurvenverlauf zufolge bilden die Wassergehalte in den untersuchten Sedimentabschnitten auch die primären Sedimentationsbedingungen und damit den Eintrag stark wasserhaltiger organischer Substanz ab.



Abb. 8: Vergleich der Wassergehalte in den obersten 35 cm der 5 Kerne (Mittelwerte der drei Proben)

5.3.2 Korngrößenanalyse

Die mittleren Korngrößen (mean-Werte) der Kerne liegen im Bereich zwischen 5 μ m und 20 μ m (Fein- und Mittelsilt). Die Korngrößenverteilungen der untersuchten Kerne zeigen damit insgesamt die typischen Merkmale einer feinkörnigen pelagisch dominierten Sedimentation wie sie auch bei früheren IGKB-Untersuchungen (IGKB-Bericht 25, 1981) beobachtet wurde. Die jetzt durchgeführten Feinkornanalysen ermöglichen eine weitere Aufgliederung der Ton-Silt-Fraktion, die bei Siebanalysen nicht erreichbar war. Unterhalb von 10 cm Sedimenttiefe liegen die beobachteten Korngrößenmittelwerte um 5 μ m und zeigen einen ausgeglichenen Verlauf ohne auffällige Schwankungen. Oberhalb von 10 cm Sedimenttiefe steigen in allen Kernen die mean-Werte an und zeigen lokal stärkere Schwankungen. Die insgesamt größten mean-Werte um 20 μ m treten bei den Kernen 3, 4 und 5 auf. Bis auf die Kerne 2 und 4 nimmt der mean-Wert in den oberen 3 - 5 cm zur Sedimentoberfläche wieder ab und nähert sich den Werten der basalen Sedimente.



Abb. 9: Mean-Werte der Korngrößen in den obersten 35 cm der 5 Kerne (Messjahr 1993)

Ohne die Aussagekraft der Korngrößenzusammensetzungen überzubewerten, läßt sich doch hier ein Trend zur Kornvergröberung beobachten, der parallel zur Seeneutrophierung verläuft. Ein größerer Anteil organischer Partikel und Aggregate, sowie eine ebenfalls verstärkte biogene Entkalkung führt insgesamt zu einer leichten Korngrößenerhöhung. Während die Kerne 1 und 2 des Nordbereichs aufgrund der höheren allochthonen Sedimentation diesen Trend nur moderat widerspiegeln, wirkt sich diese Korngrößenverschiebung im autochthon beeinflussten Süden (Kerne 4 und 5) entsprechend stärker aus.

5.3.3 Mineralogie

Die mineralischen Hauptbestandteile der Bodensee Sedimente sind Karbonate (Calcit und Dolomit) und Silikate (Quarz, Feldspäte und Tonminerale). Diese Bestandteile sind auch in

allen Sedimentproben qualitativ wiederzufinden. Eine absolute Mengenbestimmung der Mineralkomponenten ist für die Karbonate quantitativ und für den Quarzanteil halbquantitativ möglich. Die Tonminerale lassen sich wegen analytischer Schwierigkeiten nicht quantitativ erfassen. Im folgenden werden die Minerale Calcit, Dolomit und Quarz hinsichtlich ihrer Aussagemöglichkeiten für die Sedimententwicklung im Bodensee diskutiert.

Die Calcitgehalte (Abb. 10) der untersuchten Bodensee-Sedimente schwanken zwischen 20 % und 60 %. Generell lassen sich zwei Trends beobachten:

- Eine z. T. starke Zunahme der Calcit-Gehalte in den oberen Sedimentschichten. Die basalen Abschnitte der untersuchten Kerne zeigen teilweise eine leichte Erhöhung der Calcitgehalte. Die Turbiditschicht in Kern 3 zeigt ebenfalls höhere Calcitwerte als die überlagernden Sedimente.
- Eine Zunahme der Calcitgehalte von Nord nach Süd. Während die Kerne 1 bis 3 Calcitwerte bis 40 % zeigen liegen die Werte der Kerne 4 und 5 im oberen Abschnitt mit 50 % bzw. 60 % deutlich höher.



Abb. 10: Calcitgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

Calcit wird im Bodensee sowohl allochthon über die Zuflüsse eingebracht als auch durch Photosyntheseprozesse benthischer und planktischer Wasserpflanzen im See selbst gebildet. Eutrophierungsbedingt stärkere Algenmengen bewirken dementsprechend eine höhere Calcitproduktion.

Die Calcitgehalte der untersuchten Sedimentkerne belegen diese Entwicklung des Sees eindrücklich und zeigen auch den stärker autochthon geprägten Charakter des Südbereichs sowohl während als auch vor der Eutrophierungsphase. Im Gegensatz zum Calcit wird das Karbonatmineral **Dolomit**(Abb. 11) ausschließlich über die Zuflüsse in den See eingetragen (MÜLLER 1971). Dolomit ist damit ein Tracermineral für allochthone Sedimentation.

Die Dolomitgehalte der untersuchten Sedimente zeigen innerhalb der einzelnen Kerne relativ wenig Schwankungen und liegen zwischen 2 % und 5 %. Die basale Turbiditlage in Kern 3 weist mit über 9 % Dolomit die höchsten Werte auf und dokumentiert den allochthonen Ursprung turbiditischer Sedimente des Altenrheins aus der Zeit vor der Mündungsverlagerung des Rheins im Jahre 1900. Insgesamt zeigen die Kerne des Nord- und Zentralbereichs etwas höhere Dolomitgehalte als der Süden und belegen damit einen stärker allochthon beeinflussten Sedimentationsraum



Abb. 11: Dolomitgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

Wie Dolomit wird das Silikatmineral **Quarz** (Abb. 12) ausschließlich über die Zuflüsse in den See eingetragen. Quarz ist damit ebenfalls ein Tracermineral für allochthone Sedimentation.

Die Quarzgehalte der untersuchten Sedimente schwanken zwischen 10 % und 20 % (halbquantitative Werte). Sie zeigen zur Sedimentoberfläche hin in allen Kernen einen leicht rückläufigen Trend. Ein Nord-Süd-Gefälle ist nur schwach ausgeprägt. Insgesamt deutet der Quarzrückgang in den oberen Kernbereichen auf eine relative Abschwächung der allochthonen Sedimentkomponenten hin. Dies bedeutet jedoch nicht einen Rückgang des Eintrags allochthoner Feststoffe, sondern den absoluten Anstieg der autochthonen Bestandteile organischer Kohlenstoff und Calcit.



Abb. 12: Quarzgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne



, Abb. 13: Anorganische Kohlenstoffgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

5.3.4 Anorganischer Kohlenstoffgehalt

Anorganische Kohlenstoff (C_{anorg}) in Bodensee-Sedimenten stammt ausschließlich aus den Karbonaten Calcit und Dolomit. Wie bereits erwähnt, wird Dolomit allochthon angeliefert und Calcit sowohl allochthon als auch autochthon gebildet. Der Gehalt an anorganischem Kohlenstoff bildet aufgrund der mengenmäßigen Dominanz von Calcit im Bodensee-Sediment im wesentlichen die Trends der Calcitverteilung ab.

Die unteren Kernabschnitte zeigen C_{anorg} -Gehalte zwischen 3,5 und 4,5 %. Ab 17 cm steigen die Gehalte der Kerne 4 und 5 (Südhälfte) kontinuierlich auf Werte zwischen 6 und 7 % an der Oberfläche an. Hierin dokumentiert sich eindrücklich die starke autochthone Sedimentbildung im südlichen Bodensee-Obersee.

Bedingt durch verstärktes Algenwachstum seit der Eutrophierung nimmt auch die seeinterne Calcitfällung zu (Verschiebung des Kohlensäure-Bikarbonat-Karbonat Gleichgewichts durch photosynthetischen CO_2 -bzw. Bikarbonat-Entzug). Dieser Trend ist auch bei den Kernen 1, 2 und 3 in den oberen 10 cm angedeutet, wird aber durch den starken allochthonen Einfluß des Rheins überprägt.

Die auffälligen Rückgänge der Werte in den oberen 2 bzw 2,5 cm bei den Kernen 2 und 3 sind sehr wahrscheinlich durch die Hochwasserlage von 1987 bedingt.

5.3.5 Organischer Kohlenstoffgehalt

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) ist bei allen Kernen ähnlich: er nimmt im Kern von unten nach oben zu. Bei Kern 1 ist eine Zunahme von weniger als 1 % auf 2 % zu beobachten. Kern 2 zeigt einen ähnlichen Verlauf, der Anstieg setzt jedoch etwas später ein.



Abb. 14: Organische Kohlenstoffgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

Im oberen Abschnitt ist eine leichte Abnahme sowie ein scharfer Einschnitt zu beobachten, der auf das Hochwasser 1987 zurückzuführen ist. Dieser Einschnitt ist auch bei Kern 3 deutlich zu sehen. Die Turbiditschicht in 23 cm Tiefe zeigt Werte um 1 %, die überlagernden Schichten zeigen einen kontinuierlichen Anstieg auf fast 3 %, der dann zur Oberfläche hin wieder leicht zurückgeht. Die oberen Schichten von Kern 3 weisen etwas höhere C_{org} -Gehalte auf als die entsprechenden Lagen der nördlichen Kerne 1 und 2. Dieser Effekt verstärkt sich noch bei den Kernen 4 und 5, wobei hier der C_{org} -Anstieg erst in den oberen 10 bis 15 cm einsetzt. Der Verlauf der C_{org} -Gehalte weist Parallelen auf zum Verlauf der Wassergehalte. Entsprechend ähnlich ist die Interpretation. Gleichwohl dürfen bei der Betrachtung der organischen Anteile zwei Aspekte nicht außer Betracht gelassen werden:

- Die organische Substanz der Sedimente wird aus verschiedenen Quellen geliefert. Neben der seeinternen autochthonen Produktion spielt auch der flußbürtige allochthone Anteil eine nicht zu vernachlässigende Rolle.
- Die organische Substanz im Sediment unterliegt diagenetischen Abbauprozessen, die lokal unterschiedlich Einfluß auf den Verlauf der C_{org}-Gehalte nehmen können.

Ungeachtet dieser Tatbestände spiegeln die C_{org} -Gehalte insgesamt Lage und Umfang der dunklen Schichten wider und weisen somit auf die jüngste Eutrophierungsgeschichte des Sees hin.

5.3.6 Schwefelgehalt

Die Schwefelgehalte in vielen Seesedimenten bestehen überwiegend aus organischen Schwefelverbindungen, die bis zu 80 % des Gesamtschwefels ausmachen können (vgl. Untersuchungen von LOSHER und KELTS, 1989, am Zürichsee und Genfer See). Entsprechend eng ist die Verknüpfung zwischen Schwefel und organischem Kohlenstoffgehalt.

Uttwil





Abb. 15: Gesamtschwefelgehalte (% des Trockengewichtes) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

So zeigen die Schwefelgehalte in ihrem Anstiegsverhalten starke Parallelen zu den C_{org} -Werten. Die nördlichen Kerne und der zentrale Kern weisen einen stetigen Anstieg von sehr kleinen Werten um 0,1 % im basalen Teil auf bis zu 0,8 % im oberen Teil auf. Kern 3 zeigt die insgesamt höchsten Gehalte. Ursache der hohen Schwefelgehalte in den Sedimentschichten zwischen 10 und 5 cm sind die eutrophierungsbedingt ansteigenden autochthonen organischen Anteile. Inwieweit Veränderungen im luftbürtigen Schwefeleintrag dem seeinternen Schwefelkreislauf überlagert sind, läßt sich aus den Gesamtschwefelanalysen nicht ableiten.

Im Gegensatz zum Verhalten der Corg-Gehalte zeigen alle Kerne zur Oberfläche hin einen Rückgang der Schwefelgehalte bis nahezu auf das Ausgangsniveau in den tieferen Sedimentschichten. Wie bei Phosphor (siehe dort) sind mit großer Wahrscheinlichkeit diagenetische Prozesse im Sediment für die beobachteten vertikalen Verteilungsbilder zu berücksichtigen. In diesem Falle können die Verteilungsbilder also nicht ohne weiteres als Abbild zeitlicher Änderungen der Sinkstoffgehalte gedeutet werden.

5.3.7 Pigmente

Unter den organischen Sinkstoffen stellen die autochthon wachsenden Populationen des Phytoplanktons den weitaus überwiegenden Anteil. Da diese als photosynthetische Organismen charakteristische Pigmente aufweisen, lassen sich aus Menge und Zusammensetzung der Pigmente auch Aufschlüsse über zeitliche Änderungen von Menge und Zusammensetzung der Phytoplanktonbiomasse im See erhalten, wie schon ZÜLLIG (1956) anhand von chromatographischen Untersuchungen von Voralpenseen (einschließlich des Bodensees) zeigte. Durch die heute weiterentwickelte Analysentechnik mit Einsatz der Hochdruckflüssgkeitschromatographie (HPLC) lassen sich nicht nur die verschiedenen Carotinoidpigmente, sondern auch die Chlorophylle und ihre Abbauprodukte quantitativ erfassen. Es würde allerdings den Rahmen dieses Berichts sprengen, alle dabei bestimmten Einzelpigmente detailliert zu besprechen. Im Hinblick auf das Ziel einer Rekonstruktion vergangener Seezustände aus den Kernen

Fischbach



Abb. 16: Pigmentverteilung ($\mu g/g TS$) in den obersten 35 cm der 5 Kerne

beschränkt sich die Darstellung deshalb auf die vertikale Verteilung der Summe der Pigmente (Carotinoid- und Chlorophyllpigmente samt Abbauprodukten). Sie vermittelt somit ein Bild der zeitlichen Entwicklung der Algenbiomasse im See.

Wie Abb. 16 zeigt, schwanken die Pigmentgehalte der untersuchten Kernproben zwischen wenigen $\mu g/g$ TS und 150 $\mu g/g$ TS. Dabei kann für alle Kerne eine Zunahme der Gehalte zur Oberfläche hin festgestellt werden. Auch wenn die Abbaugeschwindigkeit für diese Pigmente noch unbekannt ist, so kann diese Zunahme überwiegend als das Abbild zunehmender Eutrophierung gedeutet werden. Hingegen ergeben diese Verteilungsbilder keinen gesicherten Hinweis auf eine in den letzten Jahren erfolgte Verminderung der Algenproduktion im See. Vergleicht man weiterhin die Pigmentgehalte der jüngeren Kernabschnitte, so ist eine Zunahme der Konzentrationen von Nord nach Süd festzustellen, die mit der größeren Verdünnung durch allochthone Sinkstoffe in den Nordbereichen erklärt werden kann. Aufällig ist darüber hinaus der deutlich erhöhte Pigment-Gehalt an der tiefsten Stelle (Kern 3). Diese Konzentrationserhöhung kann als Hinweis auf Fokusierung der planktonbürtigen Sinkstoffe zu den tiefen Seebereichen hin gedeutet werden.

5.4 Oberflächenproben

Für die Betrachtung des Seebodens als Reaktionsort von Sediment-Wasser-Interaktionen und Lebensraum wurde der Untersuchungsschwerpunkt auf oberflächennahe Sedimentschichten gelegt. Für das Ziel einer aktuellen Abschätzung des Rücklösungspotentials wurden nicht nur Bestimmungen der Gesamt-Phosphorgehalte der oberen Sedimentschichten (0 - 4 cm), sondern auch deren biologisch-chemisch mobilisierbaren Anteile mit Hilfe einer Fraktionierungsmethode nach PSENNER et al. (1985) durchgeführt. Unterstützend dazu wurden Mikroprofile der Redoxwerte und Sauerstoffgehalte der Sediment-Wasser-Grenzschicht erhoben. Zur Beschreibung der Auswirkungen der Zufuhr organischer Substanzen zum Seeboden wurden die Oligochaeten als Indikatororganismen untersucht. Sie dienen damit auch als Bindeglied zu den bisherigen Seebodenuntersuchungen der IGKB.

5.4.1 Gesamt-Phosphor-Gehalte

Im Hinblick auf die Gesamtgehalte von Phosphor ist sicher der augenfälligste Befund, daß auch in diesem Fall ausgeprägte Nord-Süd-Unterschiede vorgefunden wurden (Abb. 17). In den Stationen 1 bis 3 wurden insgesamt höhere Phosphor-Gehalte pro Gramm Trockensediment gemessen als in den südlichen Stationen 4 und 5. Die Abbildung zeigt auch, daß diese Unterschiede unabhängig von der Schwankungsbreite der Einzelstationen in allen drei Jahren deutlich wurde. Dieser Nord-Süd-Unterschied würde unter Berücksichtigung der von Nord nach Süd abnehmenden Sedimentationsraten (siehe Kerndatierungen) noch ausgeprägter, weil danach - wenn man eine Möglichkeit postsedimentärer Phosphor-Rücklösung ausschließt - im Norden pro Jahr mindestens doppelt so viel Phosphor sedimentiert würde wie im Süden. Zur Erklärung des beobachteten Nord-Süd-Gefälles der Gesamt-Phosphor-Gehalte kann man zunächst unterschiedliche Phosphor-Gehalte der jeweils absedimentierenden Sinkstoffe annehmen. Dabei liegt es natürlich nahe, die beobachteten Unterschiede auch in diesem Fall im Zusammenhang mit zunehmenden Anteilen allochthoner Sedimentation bei den Stationen von Süd nach Nord zu sehen. Danach sollten gewichtsbezogen die Phosphor-Gehalte der Flußschwebstoffe höher sein als die der autochthon enstehenden Sinkstoffe (Algen, Calzit). Das ist aber keineswegs generell der Fall. Vielmehr zeigen die autochthonen Schwebstoffe in Seemitte stets einen bedeutend höheren spezifischen Phosphor-Gehalt (> 0,3 %) als allochthone Flußschwebstoffe (in der Regel < 0,1 %; MÜLLER und TIETZ 1966, WAGNER und BÜH-RER 1989, GÜDE und GRIES, im Druck). Das Muster der gefundenen horizontalen Verteilung des Phosphor-Gehalts der Sedimente kann demnach also keineswegs allein als Abbild der Phosphor-Gehalte der Sinkstoffe gedeutet werden.



Abb. 17: Die Verteilung der Phosphor-Gehalte in den oberen 4 cm der 5 Kerne in den Untersuchungsjahren 1992 - 1994

5.4.2 Verteilung der Phosphor-Fraktionen

Die Abschätzung des Potentials für die Rücklösung von sedimentiertem Phosphor aus dem Seeboden beschäftigte schon während des Anstiegs und dem Höhepunkt der Eutrophierung die Wissenschaftler am Bodensee. (MÜLLER und TIETZ 1966, MÜLLER 1967, FREVERT 1981). Damals wurde aus den vorgefundenen Verteilungsbildern und experimentellen Befunden gefolgert, daß - im Einklang mit der Lehrmeinung - eine Rücklösung sedimentgebundenen Phosphors solange als vernachlässigbar gelten könne, solange oxische Bedingungen an der Sediment-Wasser-Grenzschicht herrschten. In den letzen Jahren haben sich jedoch verstärkt Hinweise für eine Rücklösung auch unter oxischen Bedingungen ergeben (HUPFER 1995). Eine gute Vorhersagemöglichkeit für das Rücklösungspotential ergibt sich aus der Verteilung unterschiedlicher Phosphor-Bindungsformen in den Sedimenten.

Aus diesem Grunde wurde auch der biologisch-chemisch mobilisierbare Anteil des sedimentgebundenen Phosphors mit Hilfe einer Frakionierungsmethode nach PSENNER et al. (1985) bestimmt. Diese einfache Fraktionierungsmethode erlaubt zwar keine strenge Zuordnung zu einzelnen chemischen Verbindungen, sie gibt jedoch gute Hinweise auf den potentiell mobilisierbaren Anteil des Phosphors (HUPFER 1995). Dabei werden insgesamt fünf Haupt-Fraktionen unterschieden, denen jeweils unterschiedliche Mobilisierbarkeit zugeschrieben wird: H₂O-Fraktion

BD-Fraktion

NaOH_{kalt}-Fraktion

HCl-Fraktion

Die durch HCl lösliche Phosphor-Fraktion, durch die Calcit-gebundener Phosphor, Apatit-Phosphor und andere Phosphatminerale wie z.B Vivianit gelöst wird. Diese Fraktion wird als kaum verfügbar angesehen.

Die wasserlösliche, locker gebundene und demnach leicht mobilisier-

Die reduktiv lösliche Phosphor-Fraktion, die mit Eisen-III verbunden

ist und freigesetzt wird, wenn das Eisen-III mit Hilfe einer Bicarbonat-dithionit-Lösung zu Eisen-II reduziert wird. Sie wird deshalb unter reduktiven Bedingungen als potentiell verfügbar angenommen.

Enthält einerseits Al-, Tonmineral- und Huminstoff-gebundenen Phosphor und andererseits auch in Mikroorganismen gespeicherte organische Phosphatverbindungen wie z.B. Polyphosphat. Unter diesen Verbindungen werden vor allem die in Mikrorganismen gespeicherten Phosphatverbindungen als mobilisierbar angenommen, die im nichtreaktiven Anteil (NRP) des Extrakts enthalten sind. Die übrigen im reaktiven Anteil enthaltenen Phosphor-Verbindungen dieser Frak-

NaOH_{heiß}

Die durch heiße NaOH extrahierbare Phosphor-Fraktion enthält relativ resistente, vorwiegend organisch gebundene Phosphor-Verbindungen, die ebenfalls als kaum mobilisierbar angesehen werden.

Anteil der Phosphor-Fraktionen in der Gesamtprobe der obersten 4 cm

Die als potentiell ganz oder teilweise mobilisierbar geltenden H_2O -, BD- und NaOH_{kalt}-Fraktionen machen ungefähr die Hälfte des Gesamt-Phosphor-Gehaltes aus. Dabei fallen auch hier für die einzelnen Fraktionen Nord-Süd-Unterschiede auf: Die südlichen Stationen wiesen vor allem deutlich weniger Anteile an der BD-Fraktion auf. Ebenfalls niedriger waren die Werte für den mineralisch gebundenen Phosphor-Anteil (HCl-Fraktion), während sich für die NaOH_{kalt}-Fraktion nur geringe Nord-Süd-Unterschiede abzeichneten. Höhere Werte als im Norden lieferten die (mengenmäßig jedoch untergeordneten) H_2O -Fraktionen, während die NaOH_{heiß}-Fraktionen in der Seemitte-Station 3 deutlich geringere Anteile als in den ufernäheren Stationen 1, 2, 4 und 5 aufwies (Abb. 18).

Auch diese Ergebnisse können zunächst im Einklang mit den übrigen sedimentologischen Befunden (siehe v.a. org. C-Gehalte, Ca/Mg-Verhältnisse) gesehen werden, wonach von Süd nach Nord mit zunehmenden Anteilen allochthoner Schwebstoffe zu rechnen ist. So kann v.a. der Unterschied bei der nicht mobilisierbaren mineralischen HCl-Fraktion damit erklärt werden, daß im Norden vermehrt mineralgebundener Phosphor (HCl-Fraktion) aus Flußschwebstoffen herangeführt wird und absedimentiert.

Andererseits muß zur Interpretation solcher Verteilungsbilder aber auch die Möglichkeit bedacht werden, daß diagenetische Prozesse unter Einbeziehung abiotischer und biotischer Fällungs- und Lösungsreaktionen ablaufen. Diese betreffen nicht zuletzt auch Phosphor-Verbindungen, bei denen v.a. im Zusammenhang mit Redox-Reaktionen Fällungs- und Lösungsprozesse stattfinden. Somit muß also auch mit einer postsedimentären Mobilität von Phosphor-Verbindungen gerechnet werden, die sich vor allem auf die als besonders mobilisierbar angesehene BD-Fraktion auswirken sollte. In diesem Sinn könnte das Defizit bei der BD-

tion gelten dagegen als eher nicht verfügbar.

bare Phosphor-Fraktion

Fraktion auf der Südseite auch als Resultat erhöhter Rücklösung in diesem Bereich angesehen werden.



Abb. 18: Verteilung unterschiedlicher Phosphor-Fraktionen in den oberen 4 cm der fünf Kerne aus dem Jahr 1994

Daß Rücklösung im Bodensee tatsächlich erfolgt, wird durch die alljährlich festzustellende Anreicherung des Tiefenwassers mit Phosphor (ROSSKNECHT, in Vorbereitung; siehe auch Grüne IGKB-Berichte) nahegelegt. Auch Berechnungen des diffusiven Austrags von Phosphor aus Sedimenten anhand von Porenwasserkonzentrationen und direkte Messungen der Phosphor-Freisetzungen aus Sedimentkernen (SROCZYNSKI 1995) geben klare Hinweise auf die Rücklösung von Phosphor. Beispiele von anderen präalpinen Seen belegen, daß auch unter oxischen Bedingungen an der Sediment-Wasser-Grenzschicht der reduktiv mobilisierbare Phosphor durch Rücklösung allmählich wieder in das Wasser zurückgelangt (HUPFER et al. 1995, WEHRLI & WUEST 1995).

Vertikale Verteilung der Phosphor-Fraktionen

Die vertikal in 1-cm-Schnitte aufgelösten Verteilungsbilder der einzelnen Stationen (Abb. 19 bis 24) zeigen, daß sowohl für die BD-Fraktion (Abb. 21) als auch für die Wasserfraktion (Abb. 20) stets ein abnehmender Gradient von oben nach unten festzustellen war, wobei dieser Gradient an den Südstellen besonders ausgeprägt war. Dagegen wiesen die anderen Fraktionen gering ausgeprägte oder sehr unregelmäßige Vertikalmuster auf. Allenfalls für die NaOH_{kalt}-fraktion (Abb. 22) konnte bei Station 3 und 4 ein Abfall von oben nach unten verzeichnet werden. Dagegen waren für die HCl-Fraktion (Abb. 23) an allen Stationen vertikale Gradienten kaum erkennbar (mit Ausnahme von Station 5). Unregelmäßige Vertikalverteilungsmuster ergaben sich auch für die NaOH_{heiß}-Fraktion (Abb. 24).



Abb. 19: Vertikale Verteilung der Gesamt-Phosphorgehaltes an den fünf Probestellen (1994)



Abb. 20: Vertikale Phosphor-Verteilung der Wasser-Fraktion an den fünf Probestellen (1994)



Abb. 21: Vertikale Phosphor-Verteilung der BD-Fraktion an den fünf Probestellen (1994)



Abb. 22: Vertikale Phosphor-Verteilung der $NaOH_{kalt}$ -Fraktion an den fünf Probestellen (1994)



Abb. 23: Vertikale Phosphor-Verteilung der HCl-Fraktion an den fünf Probestellen (1994)



Abb 24: Vertikale Phosphor-Verteilung der Na $OH_{hei\beta}$ -Fraktion an den fünf Probestellen (1994)

- 31 -

Da die hier beprobten 4 cm je nach Station einen Zeitraum von 12 bis über 20 Jahren umfassen dürften, wird hier wesentlich der Zeitraum vom Maximum der Eutrophierung bis zum gegenwärtig erreichten Phosphor-ärmeren Zustand abgedeckt. Demnach könnte man erwarten, daß entsprechend diesen geänderten Phosphor-Zufuhren der Phosphor-Gehalt von oben nach unten zunimmt. Da aufgrund der aus den Datierungen angenommenen geringeren Gesamtsedimentationsraten der Südstationen 4 und 5 an diesen Probestellen die hier untersuchten oberen 4 cm einen längeren Zeitraum umfassen, sollte dieser Effekt dort auch am ausgeprägtesten sein. Wie die Abbildungen zeigen, ist aber genau das Gegenteil der Fall: Der oberste Zentimeter wies an allen Probestellen den höchsten Phosphor-Gehalt auf, wobei das wieder besonders an den Südstellen deutlich wurde. Auch an der vertikalen Verteilung erweist sich also, daß das Bild vom Sediment als "Archiv" im Falle des Phosphors nicht ohne weiteres anwendbar ist.

Diese Befunde wurden auch durch neuere Kernproben von G. MÜLLER (pers. Mitteilung 1996) bestätigt. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Kenntnisstandes (HUPFER 1995) sprechen also die hier beobachteten Vertikalverteilungsbilder dafür, daß die in der BD-Fraktion gebundenen Phosphor-Verbindungen unter den in tieferen Sedimentschichten vorherrschenden reduktiven Bedingungen zunächst in Lösung gehen. Damit wird dort zunächst ein Anstieg der Porenwasserkonzentration erfolgen. Aus dem so entstehenden Gradienten wird in jedem Fall ein diffusiver Phosphor-Flux in die überstehenden Sediment-Schichten (z.T. auch in die darunter liegenden Schichten) und schließlich auch in das Wasser erzeugt werden. Soweit die obersten Sedimentschichten oxidiert sind, wird der gelöste Phosphor aber zumindest teilweise wieder an dort ausgefällt vorliegende Eisen(III)-Verbindungen sorptiv gebunden. Für den Phosphor-Austrag vom Sediment in das überstehende Wasser ist also letztlich der Gradient der Porenwasserkonzentration an der Sediment-Wasser-Grenzschicht ausschlaggebend (SUNDBY et al. 1992).

In jedem Fall muß also unter Berücksichtigung dieser Prozesse angenommen werden, daß ein großer Teil des in der BD-Fraktion enthaltenen Phosphors letztendlich wieder in das Wasser zurückgelangt, wenn auch ein ebenso beträchtlicher Teil permanent im Sediment gebunden wird. Dies ist die Ursache für den in der Regel uniformen Verlauf der Phosphor-Gehalte in den unteren Sedimentschichten.

Entsprechend diesen Befunden und grundsätzlichen Überlegungen könnte auch der beobachtete viel stärker ausgeprägte Gradient bei der BD-Fraktion im Süden als Hinweis auf eine dort tatsächlich intensiver ablaufende, durch erhöhte Eisenreduktion bedingte Rücklösung von Phosphor gesehen werden. Dafür sprächen ja auch die dort erhöhten Anteile organischer Substanz und damit erhöhte Wahrscheinlichkeit negativer Redoxwerte. Es muß hier allerdings auch mitberücksichtigt werden, daß aufgrund der unterschiedlichen Sedimentationsraten die beobachteten Gradienten im Süden eine längere Zeitstrecke umfassen als im Norden und deshalb dort bei sonst gleichen Bedingungen auf jeden Fall die Rücklösung in den obersten 4 cm weiter fortgeschritten sein sollte als im Norden.

5.4.3 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential

Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, daß die Redox- und Sauerstoffverhältnisse an der Sediment-Wasser-Grenzschicht entscheidend das Rücklösungsverhalten von Phosphor beeinflussen. Daher sollten für die Bewertung dieser Frage mit Mikroelektroden (nach REVSBECH 1986) gemessene Redox- und Sauerstoffprofile unterstützende Interpretationsgrundlagen liefern. Hierzu wurden im Jahr 1996 im Auftrag der IGKB solche Messungen an der tiefsten Stelle (Station 3) durchgeführt.



Abb. 25: Redox- und Sauerstoffprofile von Sedimentkernen der Station 3 (1996)

Wie die bislang ausgewerteten Beispiele zeigen (Abb. 25), wurden an der Sediment-Wasser-Grenzschicht durchwegs oxidative Bedingungen und ein Redoxpotential > + 200 mV angetroffen. Ein ausgeprägter Sprung zu negativen Redoxwerten tritt immer innerhalb des obersten Zentimeters auf. In diesem Bereich nimmt auch der Sauerstoffgehalt (jedoch gleichförmiger und weniger sprunghaft) bis auf Null ab. Nach diesen Befunden ist eine Rücklösung des reduktiv mobilisierbaren Phosphors unterhalb des obersten Zentimeters zu erwarten. Während die vertikale Verteilung der BD-Fraktion (Abb. 21) der Südprofile dieser Erwartung weitgehend entspricht, erscheint diese auf den ersten Blick im Widerspruch zu den Vertikalverteilungen an den nördlicher gelegenen Stellen (die grundsätzlich ähnliche Redoxprofile wie die Südstellen aufweisen, WEYHMÜLLER 1996). Diese weisen nämlich noch bedeutende Anteile der BD-Fraktion unterhalb des ersten Zentimeters auf. Es ist aber bekannt, daß die Rücklösung des reduktiv gebundenen Phosphors unter reduzierenden Bedingungen nicht schlagartig erfolgt, sondern sich über Monate bis Jahre hinzieht (CANFIELD 1989, SUNDBY et al. 1992). Die in den Kernen 1 bis 3 gefundene Verteilung umfaßt eine wesentlich kürzere Zeitspanne als im Süden, weshalb die Phosphor-Rücklösung im Norden weniger weit fortgeschritten ist.

5.4.4 Oligochaeten

Die Erfassung der Populationsdichte von Schlammröhrenwürmern (Oligochaeten) wurde schon sehr früh zur Bewertung des Seebodenzustandes herangezogen (vgl. Kapitel 2.2). Es lag deshalb nahe, diese Untersuchungen - vor allem zum Vergleich mit früheren Daten und damit zur Erfassung allfälliger Trends - auch in das neue Seebodenüberwachungsprogramm einzubeziehen. Die Probenahmestellen entsprechen den Profilen 31 und 115 der früheren Untersuchungen (IGKB-Berichte 25, 1981, und 38, 1988). Dieses Transekt erfaßt somit keine

- 32 -
Stellen mit zuflußbedingt hohen Oligochaetendichten wie sie etwa in den Mündungsbereichen der größeren Zuflüsse vorkommen. Ebenso findet der Litoralbereich keine Berücksichtigung.

Wie die Tab. 2 zeigt, weisen auch die **Populationsdichten** der Oligochaeten starke Nord-Süd-Unterschiede auf. Diese stehen im Einklang mit den Befunden früherer Jahre. Die höheren Individuenzahlen/m² im Norden können ebenfalls als das Resultat erhöhter Sedimentationsraten (und damit Nahrungszufuhr) interpretiert werden (PROBST 1987, WITTHÖFT 1996). Die mittleren Populationsdichten sind mit 1.000 - 3.000 Individuen/m² (Maximalwert: 5.000) im Nordbereich und deutlich unter 1.000 im Südbereich insgesamt gering. Sie entsprechen den im zentralen Seeteil auch bei früheren Untersuchungen gefundenen Werten und können nicht mit den vor allem in den Mündungsbereichen der größeren Zuflüsse festgestellten Werten von über 300.000 Individuen/m² verglichen werden.





In der Artzusammensetzung treten beträchtliche Unterschiede zwischen den Probenstellen im Norden und im Süden auf. Insgesamt wurden acht Tubifizidenarten der Gattungen Limnodrilus (L.), Potamothrix (P.) und Tubifex (T.) festgestellt. Die relative Häufigkeit der einzelnen Arten an den fünf Probestellen ist als gewichtete mittlere Abundanz der Jahre 1992 -1994 in Abb. 26 dargestellt. Die größte Artenzahl wird im Nordbereich und im Profundal festgestellt (8 Arten in 50 m, 5 Arten in 100 m und 6 Arten in 250 m), im Südbereich sind es nur 2 Arten in 100 m und 1 Art in 50 m.T. tubifex kommt an allen 5 Probestellen dominant vor. Als weitere wesentliche Arten finden sich in Probe 1 (50 m Nord) noch L. hoffmeisteri und P. heuscheri, in Probe 2 (100 m Nord) L. profundicola, P. bedoti und P. heuscheri. Im Bereich der größten Tiefe (Probe 3) übertreffen P. bedoti und P. heuscheri sogar die Populationsdichte von T. tubifex. In der Probe 4 (100 m Süd) kommt neben T. tubifex mit P. hammoniensis eine weitere Art mit einem Drittel der Individuendichte/m² vor, in Probe 5 (50 m Süd) tritt nur T. tubifex auf.

Berechnet man nach PROBST (1987) aus Artzusammensetzung und Populationsdichten den **Belastungsindex I**_{PA}, so bewegen sich die Werte im Schwankungsbereich der bisherigen Untersuchungen seit 1972 (vgl. Tab. 2). Die durchschnittliche Belastung ist an allen Probenstellen als "mittel" einzustufen, wobei die Indexwerte von Nord nach Süd von 8,5 auf 1,0 abnehmen. Der höchste Einzelwert wird bei Probe 1 im Jahr 1994 mit 14,5 ("stark belastet") ermittelt, die niedrigsten Werte mit 0,6 ("gering belastet") bei Probe 4 (1994) und Probe 5 (1993 und 1994).

Probe Nr.	-				2						i.		. 4				5			
Tiefe (m)	50	Nord			100	Nord			250	. 1			100	Süd			50	Süd		
Jahr	1992	1993	1994	Mittel	1992	1993	1994	Mittel	1992	1993	1994	Mittel	1992	1993	1994	Mittel	1992	1993	994 N	Aittel
Abundanz (Ind. /m²)	2.000	1.700	5.000	2.900	1.200	006	800	967	1.400	200	200	. 198	300	600	50	367	600	8 8	8	8
Anteil in %																				
S. heringianus													-							Ι
IndGruppe 1	0'0	0,0	0'0	0'0	0'0	0'0	0,0	0,0	0'0	0'0	0'0		0'0	0'0	0'0	0'0	. 0'0	0'0	0	0
L. profundicola		5,9		1,1	36,4	22,2	15,4	26,2		40,0	42,4	19,1								[
P. moldaviensis -		5,9	9,7	6,7									9			-				
IndGruppe 2	0'0	11,8	9,7	7,8	36,4	22,2	15,4	26,2	0'0	40,0	42,4	19,1	0'0	0'0	0'0	0'0	0,0	0'0	0	0,
L. claparedeanus	5,6			1,3		N.						÷				4				
L. hoffmeisteri	55,6	11,7	17,7	25,3		11;1	10,3	6,3	9,1	Ψ.		4,9								1
P. bedoti			16,1	9,2	45,4		12,8	22,3	9,1			4,9								
P. hammoniensis			3,2	1,8	9,1	11,1	10,3	10,0	9,1	20,0		8,8		33,3		18,3				
P. heuscheri			19,4	11,1					63,6	· ·	39,4	44,8								
T. tubifex	38,8	76,5	33, 9	43,5	9,1	55,6	51,2	35,2	9,1	40,0	18,2	17,5	100,0	66,7	100,0	81,7	100,0	100,0	00'0	0,00
IndGruppe 3	100,0	88,2	90,3	92,2	63,6	77,8	84,6	73,8	100,0	60,0	57,6	80,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0'00	0,00
IPA .	6,0	4,9	14,5	8,5	3,2	2,5	2,3	2,7	4,2	1,3	1,8	2,4	0,9	1,8	0,6	L.	1,8	0,6	9	0
Belastungsstufe	mittel	mittel	hoch	mittel	mittel.	mittel	mittel	mittel	gering	mittel	mittel	gering	Jering r	nittel						

Tab. 2: Ergebnisse der Oligochaetenuntersuchungen 1992-94 am Transekt Fischbach-Uttwil

6 Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Die herausragende seeinterne Veränderung des Bodensee-Zustandes in diesem Jahrhundert erfolgte durch die Eutrophierung. Diese Entwicklung ist im Sediment dokumentiert und in den untersuchten Sedimentkerne sichtbar. Die Hauptphase der Eutrophierung von 1950 bis 1980 ist sowohl durch eine Veränderung der chemischen Sedimentparameter (Anstieg von organischem Kohlenstoff, Schwefel und Pigmenten) als auch durch eine Änderung der Mineralanteile (höherer Anteil an autochthon gebildetem Calcit) und eine Korngrößenvergröberung dokumentiert. Unabhängig von dieser Untersuchung durchgeführte Analysen der Verteilung von Diatomeenschalen in Bodenseesedimenten ergaben Hinweise auf frühe Anzeichen der Eutrophierung schon nach dem Ersten Weltkrieg (NEUKIRCH 1993, MOHAUPT 1994). Demgegenüber gibt es für eine im Zusammenhang mit der erfolgreichen Reduktion der Phosphor-Zufuhr erwartete Reoligotrophierung noch wenig verläßliche Hinweise aus den Verteilungsbildern der Sedimentkerne. Dies läßt sich u.a. möglicherweise damit erklären, daß im See selbst die Reaktion der der biologischen Stoffumsätze auf die Nährstoffreduktion nur sehr verzögert erfolgte (TILZER et al. 1991), so daß sie sich im Sediment naturgemäß erst allmählich niederschlagen wird.

Im Vergleich mit den früheren Untersuchungen der IGKB geben die Oligochaetenuntersuchungen keinen Hinweis für grundlegende Änderungen des Seezustandes im Verlauf der Reoligotrophierungsphase: weder die Bestandsdichten noch die Artzusammensetzung ändern sich gegenüber den Voruntersuchungen. Das ist aber insoweit nicht verwunderlich, als mit dem Belastungsindex I_{PA} vor allem die Zufuhr allochthoner organischer Sinkstoffe bewertet wird, während sich wenig Zusammenhänge mit dem autochthonen Produktionsgeschehen ergeben (PROBST 1987, IGKB-Bericht Nr. 38, 1988). T. tubifex gilt allgemein als Leitart für starke organische Belastungen des Sediments. Die niedrigen Werte des Belastungsindex I_{PA} vor allem im Südbereich stehen dazu scheinbar im Widerspruch. Es ist jedoch bekannt, daß T. tubifex oft auch in unbelasteten Sedimenten auftritt, allerdings in sehr niedriger Besiedlungsdichte (WAGNER 1975). Dies scheint auch beim untersuchten Transekt der Fall zu sein. In diesem Zusammenhang muß auch bedacht werden, daß die Nahrungsversorgung der Oligochaeten zu einem großen Teil auch aus tieferen Sedimentschichten erfolgt, so daß schon von daher eine unmittelbare Reaktion dieser Organismen auf jüngste Änderungen der organischen Belastung nicht zu erwarten ist.

Die mineralogisch-chemischen Parameter der Kernuntersuchungen belegen die Dominanz zuflußbürtiger (allochthoner) Anteile im nördlichen und zentralen Obersee und einen stärker seebürtigen (autochthonen) Einfluß im Süden. Sie bestätigen damit die großräumigen Untersuchungen von Oberflächenproben in den letzten 20 Jahren (MÜLLER 1966, IGKB Bericht Nr. 9, 1971). Aufgrund dieser unterschiedlichen Sedimentgenesen spiegeln die Vertikalprofile der Sedimente des südlichen Obersee seeinterne Entwicklungen klarer wider.

Die in den letzten Jahren erfolgte deutliche Abnahme der Phosphor-Konzentrationen im Seewassser spiegelt sich in den Sedimentgehalten nicht wider. Vielmehr wird der höchste Phosphor-Gehalt ausnahmslos in der obersten Sedimentschicht angetroffen. Dieses Verteilungsbild kann nur durch diagenetische Änderungen in den Sedimenten erklärt werden, wobei das Maximum an der Sediment-Wasser-Grenzschicht durch dort stattfindende Ablagerung Phosphor-haltiger Sinkstoffe bei gleichzeitiger Ausfällung von diffundierendem rückgelösten Phosphor aus tieferliegenden anaeroben Schichten zustande kommt (HUPFER et al. 1995, WEHRLI & WUEST 1995). Im Hinblick auf die Ausgangsfragestellung nach dem moblisierbaren Phosphor-Anteil in den Sedimenten und den Folgen anaerober Bedingungen im Tiefenwasser lassen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse nur überschlägige Angaben zu. Rein rechnerisch würde sich - unter der vollkommen unrealistischen Annahme einer sofortigen vollständigen Rücklösung der BD-Fraktion unter anaeroben Bedingungen aus den oberen 4 cm der Sedimente unterhalb der 100 m-Isobathe - ein Eintrag von über 8.000 Tonnen Phosphor ergeben. Dies läge um mehr als eine Größenordnung höher als die derzeitigen externen Jahreszufuhren (< 500 Tonnen gelöster P/Jahr). Daß diese Annahme nicht zutreffen kann, ergibt sich vor ällem aus zwei Gesichtpunkten: Erstens ist die anaerobe Rücklösung ein langsamer, sich über Jahre hinziehender Prozess (CANFIELD 1989, SUNDBY et al. 1992). Zweitens wird sich auch unter anaeroben Bedingungen im Tiefenwasserbereich der Phosphor-Austrag ins Wasser verlangsamen, da ja mit der Zeit an der Sediment-Wasser-Grenzschicht ein Konzentrationsausgleich zwischen Porenwasser und überstehendem Wasser stattfindet und damit die Austragsrate unter der Voraussetzung eines geringen Wasseraustausches über Grund verringert wird (TESSENOW 1972).

Entscheidend für die vorliegende Betrachtung ist zunächst auch, daß unabhängig von den jeweils herrschenden Sauerstoffverhältnissen am Seegrund ein großer Teil der reduktiv gebundene BD-Fraktion durch Rücklösung in das Wasser zurückgelangen wird. Das immer noch weit verbreitete Bild der Funktion von Sedimenten als vollkommener Phosphor-Falle unter oxidativen Bedingungen ist also so sicher nicht gültig. Dennoch ist offensichtlich, daß bei Sauerstofffreiheit über Grund die Phosphor-Rücklösung zumindest kurzfristig stark ansteigen wird, da dann ja der Gradient der Porenwasserkonzentration direkt an der Sediment-Wasser-Grenzschicht liegt. Entsprechende Untersuchungen wurden ja schon von FREVERT (1981) durchgeführt. Nach seinen Ergebnissen würde die anfängliche Freisetzungsrate $> 10 \text{ mg/m}^2/\text{d}$ betragen und damit auf jeden Fall mindestens 5 mal höher sein als die jetzige Freisetzungsrate unter aeroben Bedingungen (1 - 2 mg/m²/d, SROCZYNSKI 1996). Damit würde sich eine interne Phosphor-Belastung ergeben, die mindestens 600 Tonnen beträgt und somit zumindest in der selben Größenordnung liegt wie die derzeitige externe Belastung über die Zuflüsse. Mit der daraus resultierenden unvermeidlichen schlagartigen Erhöhung der Gesamt-Phosphor-Gehalte (Anstieg um mindestens 12 µg/l) würden somit die Sanierungsbemühungen am Bodensee einen deutlichen Rückschlag erfahren. In diesem Zusammenhang sollte auch auf die am Fallbeispiel des Genfer Sees gewonnenen Erfahrungen verwiesen werden, der ja in der Vergangenheit schon mehrfach sauerstofffreie Phasen im Tiefenwasserbereich erfahren hat. Dabei kam es zu bedeutsamen Anstiegen der Phosphor-Konzentration im Tiefenwasser, deren Auswirkungen für die Gesamt-Phosphor-Konzentration des Sees (bei dort insgesamt höheren Werten als am Bodensee) zwar nicht zu dramatischen Anstiegen führte, jedoch möglicherweise den dort verzögerter ablaufenden Rückgang der Phosphor-Konzentrationen mitbeeinflußt hat. In jedem Fall muß aber betont werden, daß die vorliegenden Abschätzungen zwangsläufig noch sehr ungenau sind. Genauere und damit sicherere Vorhersagen hierzu können letztendlich nur auf der Grundlage modellmäßiger Berechnungen von Diffusions- und Wasseraustauschprozessen über Grund durchgeführt werden. Diese setzen wiederum entsprechende bis jetzt noch nicht ausreichend vorliegende Datengrundlagen über Porenwasser-, Redox- und Sauerstoffgradienten sowie über die grundnahe Wassererneuerung voraus.

Lassen somit die bisher vorliegenden Ergebnisse sicher noch keine abschließende Beurteilung über die Bedeutung des sedimentgebundenen Phosphors für den Stoffhaushalt des Bodensees zu, so können doch unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Kenntnisstandes über das Verhalten von Phosphor-Verbindungen im Sediment (HUPFER 1995) folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Die profundalen Sedimente des Bodensees weisen in den oberen 4 cm Phosphor-Gehalte im Bereich von 700 - 1.200 μg P/g TS auf. Nach den chemischen Fraktionierungsmethoden muß davon etwa die Hälfte als mobilisierbar angesehen werden. Dieser mobilisierbare Anteil gelangt tatsächlich auch zum größten Teil durch Rücklösung wieder ins Wasser. Bei Sauerstofffreiheit über Grund wird die Zone der Rücklösung von Phosphor-Verbindungen unmittelbar in die Sediment-Wassser-Grenzschicht verlagert, was zu einem vorübergehenden starken Anstieg des diffusiven Phosphor-Austrags ins Wasser führen wird. Obwohl die vorliegenden Ergebnisse nur eine sehr überschlägige Vorhersage der damit verbundenen Konzentrationserhöhung des Seewassers erlauben, kann als sicher angenommen werden, daß die damit bedingte zusätzliche interne Belastung höher ausfallen wird als die derzeitigen externen Frachten über die Zuflüsse.

2. Auch die Phosphor-Gehalte der Sedimente zeigen deutliche Nord-Süd-Unterschiede, die ebenfalls als das Resultat unterschiedlicher Anteile allochthoner und autochthoner Sinkstoffe gesehen werden. Insgesamt ist der Phosphor-Gehalt in den nördlichen Probestellen höher als in den südlichen. In den stärker allochthon bestimmten Nord-Probestellen werden auch höhere Gehalte von reduktiv mobilisierbarem eisengebundenem Phosphor (BD-Fraktion) und von nicht mobiliserbarem mineralisch gebundenem Phosphor gefunden. Die Ergebnisse werden aufgrund der unterschiedlichen Sedimentationsraten vor allem als Resultat zeitlich weiter fortgeschrittener Phosphor-Rücklösung und Freisetzung im Süden gedeutet.

7 Schlußfolgerung für die künftige Arbeit

Die Überwachgungsuntersuchungen am Bodensee dienen der Feststellung von Veränderungen des Seezustandes. Der Seeboden reagiert langsam auf die Veränderungen im See und speichert im Sediment Informationen über einen längeren Zeitraum. Die Sedimente sind daher für die Beschreibung langfristiger Entwicklungen gut geeignet und ihre Untersuchung eine brauchbare Methode für Monitoring-Aufgaben.

Mit dem Routineprogramm für die Seebodenuntersuchungen in den Jahren 1992 - 1994 wurden neue Wege beschritten. Es konnten durchwegs gute Erfahrungen gemacht werden. Generell bestätigen die drei Untersuchungen eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Mit dem Transekt und den beprobten Wassertiefen werden die für eine Beurteilung des Seebodenzustands notwendigen Bereiche erfaßt. Die ausgewählten Untersuchungsparameter sind zur Beschreibung des Seebodenzustandes und der Veränderungen geeignet. In den Sedimentkernen werden primär Änderungen des Seezustandes sowie diagenetische Veränderungen im Sediment angezeigt. Die Untersuchung der oberflächennahen Sedimentschichten erlaubt eine Beschreibung des Seebodens als Reaktionsort von Sediment-Wasser-Interaktionen sowie die Abschätzung des Phosphor-Rücklösungspotentials. Die Oligochaeten sind ein Indikator für die Zufuhr organischer Substanzen zum Seeboden und stellen zudem ein Bindeglied zu den bisherigen Untersuchungen der IGKB dar.

Daraus ergeben sich für die Weiterführung der Seebodenuntersuchungen nachstehende Schlußfolgerungen:

- ⇒ Das Routineprogramm für die Seebodenuntersuchungen soll in der bisherigen Form an den fünf Probenahmestellen am Transekt Fischbach Uttwil fortgeführt werden.
- ⇒ Der dreijährige Untersuchungszyklus ist zur Feststellung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ausreichend. Wegen der langsamen Reaktion des Seebodens auf Veränderungen im See sind ebensolange Untersuchungspausen möglich.

- ⇒ Die Untersuchungen sollen die in diesem Bericht beschrieben Parameter mit Ausnahme der Altersdatierung, der Pigmente, des Sauerstoffgehaltes und des Redoxpotentials umfassen.
- ⇒ Schwerpunktuntersuchungen sind bei Bedarf gesondert vorzubereiten und umzusetzen (z.B. Schadstoffbelastung, flächendeckende Aufnahmen).
- ⇒ Über die Überwachungstätigkeit hinaus ist eine verbesserte Abschätzung des rückgelösten und rücklösbaren Phosphor von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung des Seezustandes. Vor allem seine strömungsbedingte Verfrachtung und Rückführung in das Freiwasser verdienen besondere Aufmerksamkeit.

8 Glossar

Akkumulation	Anreicherung
Allochthon	Von aussen in den See eingetragen
Autochthon	Im See gebildet
Bioturbation	Durch Bodenbewohner verursachte Durchwühlung des Sediments
Diagenese	Chemisch-physikalische Veränderungen in einem Sediment. Je nach
	Zeitdauer wird eine Frühdiagenese (z. B. Austausch mobiler Phasen im
	wasserhaltigen Weichsediment) und eine Spätdiagenese (z. B. Entwässe-
	rung und Gesteinsbildung) unterschieden
Diffusion	Langsame Stoffbewegung aufgrund von Konzentrationsgradienten
Eutrophierung	Zunahme von Nährstoffen und Produktion in einem Gewässer
Litoral	Flachwasserzone
Oligochaeten	Im Sediment lebende Wurmarten, die artspezifisch auf Nährstoffangebo-
	te reagieren.
Oligotrophierung	Verarmung an Nährstoffen in einem Gewässer
Pelagial	Freiwasserzone
Profundal	Tiefer Seebereich mit Seeboden
See-Sediment	Ablagerungen in einem Stillgewässer, die aus mineralischen und organi-
	schen Bestandteilen bestehen.
Turbiditschicht	Zumeist grobkörnige Ablagerung einer Unterwasser-Schlammlawine
	에서 가장 가장 그는 것이 집에 있는 것이 같아. 아이들 것이 같아요. 아이들 것이 가장 가장 가장 하는 것이 같아.

9 Literatur

- BANAT, K., FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1972): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. Umschau 72: 192-193
- BEHRSCHMIDT, J. (1992): Verteilungsmuster von Radionukliden in Sedimenten des Bodensees. - Diplom-Arbeit FH Ravensburg-Weingarten, unveröffentlicht, 120 S
- BOSL, A. (1994): Chemische und mineralogische Charakterisierung von Sedimentkernen aus dem Bodensee. Diplom-Arbeit FH Ravensburg-Weingarten, unveröffentlicht, 151 S
- CANFIELD, D. E. (1989): Reactive iron in marine sediments. Geochem. Cosmochem. Acta 53: 619-632
- ECKERLE, M. (1994): Untersuchung der Bildung und Umlagerung von Sedimenten im Bodensee mit Radiocäsium-Tracern aus dem Tschernobyl- und Kernwaffentest-Fallout. -Diplom-Arbeit FH Ravensburg-Weingarten, unveröffentlicht, 151 S

- FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1974): Schwermetallanreicherungen in datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee und aus dem Tegernsee. - TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt. 21: 145-163
- FÖRSTNER, U., MÜLLER, G. & REINECK, H.E. (1968): Sedimente und Sedimentgefüge des Rheindeltas im Bodensee. N. Jb. Miner. Abh. 109(1/2): 33-62
- FRENZEL, P. (1979): Zönosen des litoralen Mikrozoobenthos im Bodensee.- Schweiz. Z. Hydrol. 41: 383-394
- FRENZEL, P. (1980): Zönosen benthischer Copepoda im Bodensee.- Verh. Ges. Ökol. (Mainz) 8: 291-294
- FRENZEL, P. (1983): Die litoralen Tubificiden des Bodensees. Mit besonderer Berücksichtigung von Potamothrix moldaviensis. - Arch. Hydrobiol. 97: 262-280
- FREVERT, T (1981): Dissolved oxygen dependent phosphorus release from profundal sediments of Lake Constance (Obersee). - Hydrobiologia 74: 17-28
- GIOVANOLI, F. (1991): Korrelation der Lithologischen Einheiten im Bodensee-Untersee mittels Reversibler Magnetischer Suszeptibilität. - Ber. Röm.-German. Komm. 71: 264-271
- GÜDE, H. and GRIES, T.: Phosphorus fluxes in Lake Constance. Arch. Hydrobiol. Adv. Limnol. (im Druck)
- HUPFER, M. (1995): Bindungsformen und Mobilität des Phosphors in Gewässersedimenten. -In: Handbuch der Angewandten Limnologie (Hrsg. C. STEINBERG, H. BERNHARDT, H. KLAPPER), Verlag Ecomed, Landsberg, Abschnitt IV-3.2: 1-22
- HUPFER, M., GÄCHTER, R., GIOVANOLI, R. (1995): Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenisis. - Aquatic Sciences 57/4: 305-324
- IGKB (1964): Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees. Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 2: 1-76
- IGKB (1971): Bodensee-Sedimente. Ihre Bedeutung für den Chemismus des Freiwassers und dessen Belastungen mit eutrophierenden Stoffen insbesondere mit Phosphorverbindungen.
 Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 9: 1-38
- IGKB (1981): Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978. Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 25: 1-289
- IGKB (1984): Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 31: 1-45
- IGKB (1985): Limnologischer Zustand des Bodensees, Jahresbericht 1982/83 Freiwasser, Seeboden. - Jber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol. Zust. Bodensee 10
- IGKB (1988): Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978). - Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 38: 1-69
- IGKB (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflußjahr 1985/86. - Ber. Int. Gewässreschutzkomm. Bodensee 40: 1-
- IGKB (1990): Limnologischer Zustand des Bodensees, Jahresbericht 1988/89 Freiwasser, Seeboden. - Jber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol. Zust. Bodensee 16

- IGKB (1992): Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee Sidescan-Untersuchungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Vorstreckung des Alpenrheins. - Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 43: 1-48
- IGKB (1993): Dynamische Simulation des Bodensee-Obersees und tolerierbare Phosphor-Fracht. - Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 44: 1-53
- KAMINSKI, S. (1991): Radiocäsium aus dem Tschernobyl-Fallout im Bodensee. GWF Wasser-Abwasser 132: 671-674
- KAMINSKI, S., KLENK, TH., LINDNER, G., RICHTER, TH., SCHRÖDER, G., SCHULZ,
 M. (1993): Die Bedeutung verschiedener Eintragsprozesse für die Verteilung von Cäsium-Radionukliden im Sediment des Bodensees. - In: Umweltradioaktivität, Radioökologie,
 Strahlenschutz (M. WINTER, A. WICKE, eds.). Verlag TÜV Rheinland, Köln: 622-627
- KLENK, T. (1993): Horizontale und vertikale Verteilung von Cäsium Radionukliden in Sedimenten des Bodensee-Obersees. - Diplom-Arbeit FH Ravensburg-Weingarten, unveröffentlicht, 131 S
- KRAPF, P. (1901): Die Geschichte des Rheins zwischen Bodensee und Ragaz. Schr. Ver. Gesch. Bodensee 30: 119-222
- KRESS, S. (1992): Sedimente und Schwermetalle im sublakustrinen Rinnensystem des Bodensees. - Dissertation Universität Köln, 78 S
- LENHARD, A. (1991): Wie stabil sind Phytoplanktoncarotinoide während der Sedimentation und im Sediment? - In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie - Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1991: 111-115
- LENHARD, A. (1994): HPLC-Pigmentanalytik zur Rekonstruktion von Phytoplanktonentwicklungen im Bodensee. - Dissertation Universität Konstanz, 191 S
- LENJER, R. (1990): Differenzierung biogener und mineralischer Kieselsäure im Sediment des Bodensees. Diplom-Arbeit Universität Konstanz, unveröffentlicht, 61 S
- LINDNER, G., GREINER I., GROM, R., HAIN, K., IBLER, M., KAMINSKI, S., KLEINER, J., PFEIFFER, W., ROBBINS, J., SEEWALD, O., WILHELM, CH., WUNDERER, M. (1991): Entfernungs- und Akkumulationsprozesse von Cäsium-Radionukliden in Seen des Voralpengebietes. - In: Strahlenschutz für Mensch und Umwelt (H. JACOBS, H. BONKA, eds.), Verlag TÜV Rheinland, Köln: 271-276
- LOSHER, A.J. and KELTS, K.R. (1989): Organic sulphur fixation in freshwater lake sediments and the implication for C/S ratios. - Terra Nova 1: 253-261
- LUNDBECK, J. (1936): Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen. -Arch. Hydrobiol. /Suppl. 10: 207-358
- MICOLETZKY, H. (1922): Zur Nematodenfauna des Bodensees. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 10: 491-512
- MOHAUPT, K. (1994): Rezente und subrezente Diatomeen im Sediment des Bodensee-Obersees als Abbild der Nährstoffbelastung. - Diplom-Arbeit Universität Konstanz, unveröffentlicht, 94 S
- MÜLLER, G. (1964): Nicht-mineralische Abfallstoffe in den Ufersanden des Bodensees. -Umschau 4: 117-119
- MÜLLER, G. (1966): Die Sedimentbildung im Bodensee. Naturwissenschaften, 53: 237-247

- MÜLLER, G. (1967): Beziehungen zwischen Wasserkörper, Bodensediment und Organismen im Bodensee. Naturwiss. 54: 454-466
- MÜLLER, G. (1971): Sediments of Lake Constance. In Sedimentology of parts of Central Europe. VIII. Int. Sediment. Congress 1971: 237-252
- MÜLLER, G. (1977): Schadstoff-Untersuchungen an datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee - III. Historische Entwicklung von N- und P-Verbindungen - Beziehung zur Entwicklung von Schwermetallen und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. - Z. Naturforsch. 32c: 920-925
- MÜLLER, G. und GEES, R. A. (1968): Erste Reflexionsseismische Untersuchungen des Bodensee-Untergrundes. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. (1968): 364-369
- MÜLLER, G. und TIETZ, G. (1966): Der Phosphor-Gehalt der Bodensee-Sedimente, seine Beziehung zur Herkunft des Sediment-Materials sowie zum Wasserkörper des Bodensees. - N. Jb. Miner. Abh. 105: 41-62
- NEUKIRCH, S. (1993): Phototrophe Pigmete und Mineralphasen in Seesedimenten ein Zugang zu "frühen" Umweltsignalen am Bodensee. - Heidelberger Geowiss. Abh. 64: 155 S
- NIESSEN, F. und STURM, M. (1991): Lithologische Gliederung und Genese der spät- und postglazialen Sedimente der Bodensees-Untersees. Ber. Röm.-German. Komm. 1: 248-258
- NIPKOW, F. (1920): Vorläufige Mitteilung über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee. Z. Hydrol. 1: 100-122
- OSTENDORP, W. und FREVERT, T. (1979): Untersuchungen zur Manganfreisetzung und zum Mangangehalt der Sedimentoberschicht im Bodensee. Arch. Hydrobiol. /Suppl. 55: 255-277
- PROBST, L. (1987): Sublitoral and profundal Oligochaeta fauna of Lake Constance (Bodensee-Obersee). Hydrobiologia 155: 277-282
- PROBST, L., WAGNER, B. und MEIER, A. (1988): Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren f
 ür die Belastung des Bodensees (1972-1978). - Ber. Int. Gew
 ässerschutzkomm. Bodensee 38: 1-69
- PSENNER, R., PUCSKO, R., SAGER, M. (1984): Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten - Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen. - Arch. Hydrobiol/Suppl. 70,1: 111-155
- REISS, F. (1968): Ökologische und systematische Untersuchungen an Chironomiden des Bodensees. Ein Beitrag zur lakustrischen Chironomidenfauna des nördlichen Alpenvorlandes.
 - Arch. Hydrobiol. 64: 176-323
- REVSBECH, N. P. (1986): Oxygen production and consumption in sediments determined at high spatial resolution by computer simulation of oxygen microelectrode data. Limnol. Oceanogr. 31: 293-304
- RICHTER, T. (1993): Feinaufgelöste Tiefenverteilungen von Cäsium-Radionukliden in Bodensee-Sedimenten. - Diplom-Arbeit FH Ravensburg-Weingarten, unveröffentlicht, 71 S
- RIXEN, J. U. (1968): Beitrag zur Kenntnis der Turbellarienfauna des Bodenseegebietes. -Arch. Hydrobiol. 64: 335-365
- ROSSKNECHT, H. (1984): Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 31: 1-45

SALIS, A. v. (1884): Die Tiefenvermessung des Bodensees. - Schweizer Bauzeitung, 127 S

- SAUTER, G. (1993): Ökologische Untersuchungen an Tubificiden (Annelida) im Litoral des Bodensees als Grundlage zur Beurteilung des biologischen Zustandes eines Seebodens. -Diplomarbeit Universität Würzburg, 97 S
- SAUTER; G. (1997): Feld-und Laboruntersuchungen zur Taxonomie und Autökologie von 17mitteleuropäischen Tubificidenarten. Dissertation Universität Marburg, 122 S
- SCHOOP, R. W. und WEGENER, H. (1984): Einige Ergebnisse der seismischen Untersuchungen aus dem Bodensee. - Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geo1. u. Ing. 50 (118): 55-61
- SCHÖTTLE, M. (1969): Die Sedimente des Gnadensees. Ein Beitrag zur Sedimentbildung im Bodensee. - Arch. Hydrobiol. /Suppl. 35 (3), 117 S
- SCHRÖDER, H. G. und NIESSEN, F. (1988): Strukturelle Sedimentologie des Bodensees -Ergebnisse einer flächendeckenden 3.5 kHz - Sedimentechographie. - LFU-Bericht, Eigendruck, Langenargen 1988,136 S
- SCHRÖDER, H. G. (1992): Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee Sidescan-Untersuchungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Vorstreckung des Alpenrheins. Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee 43: 1-48
- SCHULZ, M. (1993): Kartierung und Analyse von Hochwasserablagerungen im Bodensee-Obersee. - Diplomarbeit Universität Göttingen, unveröffentlicht, 76 S
- SCHWANK, P. (1976): Quantitative Untersuchung an litoralen Turbellarien des Bodensees.-Jh. Ges. Naturk. Württemberg 131: 163-181
- SROCZYNSKI, G. (1996): Phosphorfreisetzung aus Bodenseesedimenten. Diplomarbeit Universität Konstanz, 104 S
- SOECKNICK, K. F. (1970): Contributions a l'étude de la flore bactérienne dans les sédiments du Lac de Constance. Dissertation Universität Straßburg, Nr. 858, 1-124
- STEUDEL, A. (1870): Ueber die erratischen Erscheinungen in der Bodenseegegend. Schr. d. Ver. f. Gesch. d. Bodensees 2: 115-142
- STEUDEL, A. (1874): Welche wahrscheinliche Ausdehnung hatte der Bodensee in der vorgeschichtlichen Zeit? Wann ungefähr gestalteten sich seine Ufer? - Schr. d. Ver. f. Gesch. d. Bodensees 5: 72-91.
- SUNDBY, B., GOBEIL, C., SILVERBERG, N. and MUCCI, A. (1992): The phosphorus cycle in coastal marine sediments. Limnol. Oceanogr. 37: 1129-1145
- TESSENOW, U. (1972): Lösungs-, Diffusions- und Sorptionsprozesse in der Oberschicht von Seesedimenten: I. Ein Langzeitexperiment unter aeroben und anaeroben Bedingungen im Fließgleichgewicht. - Arch. Hydrobiol. /Suppl 38: 353-398
- TILZER, M. M., GAEDKE, U., SCHWEIZER, A., BEESE, B., WIESER, T. (1991): Interannual variability of phytoplankton productivity and related parameters in Lake Constance: No response to decreased nutrient loading? - J. Plankton Res. 13: 755-777
- VUYNOVICH, D. und MÜLLER, G. (1986): Geochemische Untersuchungen der Oberflächensedimente der Bregenzer Bucht (Bodensee). - Geologica Bavarica 90: 113-134
- WAGNER, B. (1975): Populationsdynamik der Oligochaeten im Vorderen Finstertaler See (2237 m, Kühtai, Tirol).- Dissertation Univiverstität Innsbruck, 102 S

- WAGNER, G. (1967): Petrographische, mineralogische und chemische Untersuchungen an Sedimenten in den Deltabereichen von Schussen und Argen. - Schweiz. Z. Hydrologie 30(1): 75-137
- WAGNER, G. (1972): Stratifikation der Sedimente und Sedimentationsrate im Bodensee. -Verh. Internat. Verein. Limnol. 18: 475-481
- WAGNER, G. und BÜHRER, H. (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflußjahr 1985/86. Ber. Int. Gewässreschutzkomm. Bodensee 40: 1-
- WEHRLI und WUEST (1995): Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. -EAWAG-Bericht Nr. 9
- WESSELS, M. (1992): Das paläomagnetische Signal in Sedimenten der Friedrichshafener Bucht (Bodensee-Obersee). - In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie - Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1992: 367-371
- WESSELS, M. (1995): Bodensee-Sedimente als Abbild von Umweltveränderungen im Spätund Postglazial. - Dissertation Universität Göttingen, 109 S
- WESSELS, M. und GIOVANOLI, F. (1991): Die holozäne Calcitproduktion im Bodensee. -In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie - Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1991: 106-110
- WEYHMÜLLER, M. (1996): Sauerstoff- und Redoxverhältnisse im Profundalsediment des Bodensees. - Untersuchung im Auftrag der IGKB, unveröff. Ergebnisbericht
- WITTHÖFT, A. (1996): Tubificiden im Bodensee Einfluß der Sedimentation auf die Populationsdynamik. - Diplom-Arbeit Universität Köln, 112 S
- ZAHNER, R. (1964): Beziehungen zwischen dem Auftreten von Tubificiden und der Zufuhr organischer Stoffe im Bodensee. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 49: 417-454.
- ZÜLLIG, H. (1956): Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers. Schweiz. Z. Hydrol. 18: 7-145

Literaturzusammenfassung aus der "Great Lakes Studie"

Biologie und Benthos

Baker, J.E.; Dawson, R.; Sawangwong, P. : "Plant pigment stratigraphy in Lake Ontario: Tracking the deepwater flux of algal carbon to the sediment record.", in: THE 34th CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR GREAT LAKES RESEARCH, JUNE 2-6, 1991. PROGRAM AND ABSTRACTS. ANN ARBOR, MI USA IAGLR UNIV. MICHIGAN 1991. p. 62, Chesapeake Biol. Lab., CEES, Univ. Maryland, Solomons, MD 20688, USA, 1991, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Ontario.

Barton, D.R.: "Benthic fauna from Great Lakes Institute cruises on Lake Huron and Georgian Bay, 1963 and 1964.", in: CAN. TECH. REP. FISH. AQUAT. SCI. 1986. no. 1487, 71 pp , Barton Biological Consulting, 68 William St. West, Waterloo, Ont. N2L 1J7, Canada, 1986, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Huron.

Barton, D.R.: "Benthic fauna from Great Lakes Institute cruises on Lake Erie - 1963, 1964, 1965.", in: CAN. TECH. REP. FISH. AQUAT. SCI. 1988. no. 1635, 66 pp , Department Fisheries & Oceans, Burlington, Ont. (Canada), 1988, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Erie.

Boyce, F.M.; Hamblin, P.F.; Robertson, D.G.; Chiocchio, F. : "Evaluation of sediment traps in Lake St. Clair, Lake Ontario, and Hamilton Harbour.", in: J. GREAT LAKES RES. 1990. vol. 16, no. 3, pp. 366-379, Lakes Res. Branch, Natl. Wat. Res. Inst., Environment Canada, Burlington, Ont. L7R 4A6, Canada, 1990, ISSN/ISBN-Nummer: ISSN 0380-1330.

behandeltes Gewässer: Lake Ontario, Detroit & St.Clair - Gewässer.

Cochran, P.A.; Watermolen, D.J.; Haen, G.L.: "Horsehair worms (phylum Nematomorpha) in Lake Michigan.", in: J. GREAT LAKES RES. 1990. vol. 16, no. 3, pp. 485-487, Div. Nat. Sci., St. Norbert Coll., De Pere, WI 54115, USA, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0380-1330. behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

Colman, S.M.; Jones, G.A.; Forester, R.M.; Foster, D.S.: *"Holocene paleoclimatic evidence and sedimentation rates from a core in southwestern Lake Michigan."*, in: J. PALEOLIMNOL. 1990. vol. 4, no. 3, pp. 269-284, U.S. Geol. Surv., Woods Hole, MA 02543, USA, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

Conley, D.J.; Schelske, C.L.: "Processes controlling the benthic regeneration and sedimentary accumulation of biogenic silica in Lake Michigan.", in: ARCH. HYDROBIOL. 1989. vol. 116, no. 1, pp. 23-43, Horn Point Environ. Lab., Univ. Maryland, P.O. Box 775, Cambridge, MD 21613, USA, 1989, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0003-9136.

behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

Dermott, R.: "Overview of the bottom fauna in Lake Ontario.", in: THE 34th CONFERENCE OF THE IN-TERNATIONAL ASSOCIATION FOR GREAT LAKES RESEARCH, JUNE 2-6, 1991. PROGRAM AND ABSTRACTS. ANN ARBOR, MI USA IAGLR UNIV. MICHIGAN 1991. p. 60, Fish. and Oceans, Canada Cent. Inland Waters, Burlington, Ont., Canada, 1991, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Ontario.

Keilty, T.J.; Landrum, P.F.: "Population-specific toxicity responses by the freshwater oligochaete, Stylodrilus heringianus, in natural Lake Michigan sediments.", in: ENVIRON. TOXICOL. HEM. 1990. vol. 9, no. 9, pp. 1147-1154, NOAA, Ann Arbor, MI 48105, USA, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

Keilty, T.J.; White, D.S.; Landrum, P.F.: "Short-term lethality and sediment avoidance assays with endrincontaminated sediment and two oligochaetes from Lake Michigan.", in: ARCH. ENVIRON. CONTAM, TOXI-COL. 1988. vol. 17, no. 1, pp. 95-101, Great Lakes Res. Div., 1061 N. University Build., Univ. Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA, 1988, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Michigan. Klump, J.V.; Krezoski, J.R.; Smith, M.E.; Kaster, J.L. : "Dual tracer studies of the assimilation of an organic contaminant from sediments by deposit feeding oligochaetes.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1987. vol. 44, no. 9, pp. 1574-1583, Cent. Great Lakes Stud., Univ. Wisconsin, Milwaukee, WI 53201, USA, 1987, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0706-652X.

behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

McCall, P.L.; Soster, F.M. : "Benthos response to disturbance in western Lake Erie: Regional faunal surveys.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1990. vol. 47, no. 10, pp. 1996-2009, Dep. Geol. Sci., Case Western Reserve Univ., Cleveland, OH 44106, USA, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0706-652X. behandeltes Gewässer: Lake Erie.

Reynoldson, **T.B.**: "Evidence on the former state and recovery of the benthos of Lake Erie.", in: THE 34th CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR GREAT LAKES RESEARCH, JUNE 2-6, 1991. PROGRAM AND ABSTRACTS. ANN ARBOR, MI USA IAGLR UNIV. MICHIGAN 1991. p. 122, NWRI, CCIW 867 Lakeshore Rd., Burlington, ON L7R 4A6, Canada, 1991, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben.

behandeltes Gewässer: Lake Erie.

Robbins, J.A.; Keilty, T.; White, D.S.; Edgington, D.N. : "Relationships among tubificid abundances, sediment composition, and accumulation rates in Lake Erie.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1989. vol. 46, no. 2, pp. 223-231, NOAA, 2205 Commonwealth Blvd., Ann Arbor, MI 48104, USA, 1989, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0706-652X.

behandeltes Gewässer: Lake Erie.

Soster, F.M.; Harvey, D.T.; Troksa, M.R.; Grooms, T.: "The effect of tubificid oligochaetes on the uptake of zinc by Lake Erie sediments.", in: HYDROBIOLOGIA. 1992. vol. 248, no. 3, pp. 249-258, Dep. Geol. and Geogr., DePauw Univ., Greencastle, IN 46135, USA, 1992, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Erie.

Ullman, W.J.; Aller, R.C. : "Nutrient release rates from the sediments of Saginaw Bay, Lake Huron.", in: HYDROBIOLOGIA. 1989. vol. 171, no. 2, pp. 127-140, Coll. Mar. Stud., Univ. Delaware, Lewes, DE 19958, USA, 1989, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Huron.

Sedimentologie und Chemie

Bergstedt, R.A.: "Evaluation of line transect sampling based on remotely sensed data from underwater video.", in: TRANS. AM. FISH. SOC. 1990. vol. 119, no. 1, pp. 86-91, U.S. Fish and Wildl. Serv., Hammond Bay Biol. Stn., Millersburg, MI 49759, USA, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Huron.

Conley, D.J.; Quigley, M.A.; Schelske, C.L.: "Silica and phosphorus flux from sediments: Importance of internal recycling in Lake Michigan.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1988. vol. 45, no. 6, pp. 1030-1035, Dep. Fish. and Aquacult., 7922 NW 71st St., Univ. Florida, Gainesville, FL 32606, USA, 1988, ISSN/ISBN-Nummer: ISSN 0706-652X.

behandeltes Gewässer: Lake Michigan.

Dillon, P.J.; Evans, R.D.; Molot, L.A.: "Retention and resuspension of phosphorus, nitrogen, and iron in a central Ontario Lake.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1990. vol. 47, no. 7, pp. 1269-1274, Ontario Minist. Environ., Box 39, Dorset POA 1E0, Canada, 1990, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0706-652X. behandeltes Gewässer: "Kleinere" Gewässer.

Manning, P.G.: "Phosphate ion interactions at the sediment-water interface: Relationship to sediment adsorption capacities.", in: CAN. J. FISH. AQUAT. SCI. 1987. vol. 44, no. 12, pp. 2204-2211, Natl. Water Res. Inst., P.O. Box 5050, Burlington, Ont. L7R 4A6, Canada, 1987, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0706-652X. behandeltes Gewässer: Lake Ontario. Moeller, R.E.; Wetzel, R.G.: "Littoral vs profundal components of sediment accumulation: Contrasting roles as phosphorus sinks.", in: CONGRESS IN NEW ZEALAND 1987. PROCEEDINGS. Sladecek, V. ed. 1988. vol. 23, no. 1 pp. 386-393, Acad. Nat. Sci., 19th St. and the Parkway, Philadelphia, PA 19103, USA, 1988, ISSN/ISBN- Nummer: ISSN 0368-0770, ISBN 3-510-54029-8. behandeltes Gewässer: "Kleinere" Gewässer.

Nalewajko, C.; Ewing, C.; Mudroch, C. : "A comparison of the effects of sediments and standard elutriates on phosphorus kinetics in lakewater.", in: WATER AIR SOIL POLLUT. 1989. vol. 44, no. 1-2, pp. 119-134, Life Sci. Div., Scarborough Coll., Univ. Toronto, West Hill, Ont. M1C IA4, Canada, 1989, ISSN/ISBN- Nummer: - keine Angaben. behandeltes Gewässer: Lake Ontario.

Norton, S.A.; Bienert, R.W., Jr; Binford, M.W.; Kahl, J.S.: "Stratigraphy of total metals in PIRLA sediment cores.", in: J. PALEOLIMNOL. 1992. vol. 7, no. 3, pp. 191-214, Dep. Geol. Sci., Univ. Maine, Orono, ME 04469, USA, 1992, ISSN/ISBN-Nummer: - keine Angaben.

behandeltes Gewässer: "Kleinere" Gewässer.

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

INHALT

NAVIGATION (GPS)	II
SIDESCAN-SONAR	
UNTERWASSER KAMERASYSTEM SEAROVER	IV
PROBENENTNAHME	v
PROBENAUFBEREITUNG DER SEDIMENTKERNE	VI
DATIERUNG DER SEDIMENTKERNE	VII
KORNGRÖßENANALYSE DER FEINFRAKTION	VIII
MINERALANALYSE	IX
UNTERSUCHUNG DES KOHLENSTOFF- UND SCHWEFELGEHALTES	X
PIGMENTANALYTIK	XI
GESAMTPHOSPHORBESTIMMUNG	XII
PHOSPHORFRAKTIONIERUNG NACH PSENNER ET AL. 1984	XIII
MIKROELEKTRODENMESSUNGEN	XV
UNTERSUCHUNG DER OLIGOCHAETEN-LEBENSGEMEINSCHAFT (MIT BESTIMMUNGSBEHELF)	XVI

Stand: 24.10.96

Ш

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Navigation (GPS)

Das Global Positioning System (GPS) ist ein Satellitennavigationssystem, das aus ca. 20 Satelliten, mehreren Bodenkontrollsegmenten zur Betriebsüberwachung der Satelliten und einem GPS-Empfänger besteht.

Aus Laufzeitmessungen können zwei- oder dreidimensionale Positionen auf der Erdoberfläche bestimmt werden. Die mit Atomuhren ausgerüsteten Satelliten senden kodierte Signale über ihre Eigenzeit und ihre Bahndaten.

Aus Sendezeiten, Ausbreitungsbedingungen und den Empfangszeiten der Signale im Empfänger werden von diesem die Laufzeiten und damit die Abstände der Satelliten zum Empfänger bestimmt. Für die zivile Nutzung ist aus Sicherheitsgründen nur eine ca. 100 m hochpräzise Genauiokeit von zu erzielen. Der P-Code (precision/protected) ist nur militärischen Nutzern zugänglich. Jedoch können Unsicherheiten bei der Ortsbestimmung, wie geringe Auflösung, möaliche Ungenauigkeiten bei der Satellitenposition, geometrische Stellung der Satelliten zum Nutzer, Refraktionsfehler oder Ungenauigkeiten der Satellitenuhren mittels einer zweiten Meßstation mit-exakt-bekannter-Position minimiert-werden-

Beim Differential Global Positioning System (DGPS) bestimmt die Feststation einen Korrekturfaktor, der an den mobilen GPS-Empfänger weitergeleitet und bei der Positionierung berücksichtigt wird. Bei einer Positionskorrektur mit einer Erneuerungsfrequenz von einer Sekunde lassen sich so Abweichungen auf weniger als 10 m reduzieren.

Am Institut für Seenforschung wird seit 1991 ein DGPS-System der Fa. Trimble (Typ DL/RL 4000) betrieben. Die Feststation befindet sich auf dem Institutsgebäude in Langenargen, Untere Seestraße 81.



Schema der DGPS Anlage des ISF Langenargen

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Sidescan-Sonar

PRINZIP DER 100 / 500 KHZ SIDESCANECHOGRAPHIE



Schema einer Sidescan-Sonaranlage

Die Sidescan-Technik nutzt Schallwellen zur akustischen Abtastung der Seebodenoberfläche. Die reflektierten Echos ausgesandter Schallimpulse (Frequenz 100 und 500 kHz) ergeben ein charakteristisches Hörprofil des Seebodens, das digitalisiert über einen Drucker sichtbar gemacht wird.

Im Gegensatz zu optischen Beobachtungsverfahren, die durch geringe Sichtweiten limitiert sind, lassen sich mittels Sidescan große Flächen in kurzer Zeit darstellen.

Ein Seitensichtsonar ("Sidescan-Sonar") besteht aus einem ca. 10 bis 30 m über dem Seeboden zu schleppendem Sonarfisch, einem Schleppkabel mit motorisierter Winde sowie an Bord des Schleppschiffes befindlichen Steuer- und Registriergeräten. Die Sendeeinheit des geschleppten Sonarfisches sendet horizontal scharf gebündelt nach beiden Seiten Signale aus. Die vom Empfänger des Sonarfisches empfangenen Reflexe bilden die Bodenoberfläche detailgetreu ab. Die Reichweite der Sonarechos beträgt je nach Abstand über Seegrund bis zu 100 m beidseitig des Senders. In der Praxis liefert ein Fisch/Bodenabstand zwischen 10 und 15 m gute Ergebnisse.

Die schwarz-weißen Schreiberaufzeichnungen ergeben eine optische Darstellung der

akustischen Signale. Zu beiden Seiten des Fisches werden elektroakustische Signale vom "überschwommenen" Boden empfangen. Schmale vertikale Striche markieren jeweils einen bekannten, definierten Abstand parallel zur "Schwimmbahn" des Fisches. In definierten Zeitabständen erscheinen horizontale Markierungen, die eine Korrelation der Profile zum Navigations-System ermöglichen. Seit 1989 nutzt das Institut für Seenforschung ein aemeinsam mit dem Sonderforschungsbereich 248 der Konstanz beschafftes KLEIN Sidescan-Sonar- Sonars: Erkennbar ist eine zerfurchte System.



Universität Seebodenoberflächenbild des Sidescan-Sedimentoberfläche (Bildbreite: ca 15 m). Zugrichtung von links nach rechts.

IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Unterwasser Kamerasystem SeaRover

Das 👘 Unterwasserkamerasystem des Instituts für Seenforschung basiert auf einem 4-motorigen. ferngelenkten Kameraschlitten vom Typ Benthos "Sea-Rover" mit 300 m Schwimmkabel. Eine sehr lichtempfindliche Videokamera ist im Inneren des SeaRover-Gehäuses auf einem schwenkbaren Sockel hinter einer durchsichtigen Plexiglaskuppel untergebracht. Zwei seitlich am Kameraschlitten angebrachte Scheinwerfer beleuchten das Kameraumfeld. Die Sichtweite beträgt je nach Trübung 1 bis 5 m. Die Videobilder lassen sich über einen Monitor auf dem



Unterwasserkamerasystem Searover

Schiff verfolgen und auf entsprechende Recorder aufzeichnen. Zur besseren Orientierung besitzt die Unterwasserkamera ein 200 kHz-Sonarsystem der Fa. UDI mit 60 m Reichweite, mit dem sich weiter entfernt liegende Objekte auffinden und anfahren lassen. Ein ferngesteuerter, mechanischer Greifarm dient der Entnahme orientierter Proben oder dem kontrollierten Aussetzen von Meßgeräten.



Unterwasseraufnahme des SeaRover: Im oberen Bildabschnitt und seitlich werden Navigations- und Tiefendaten sowie Datum und Zeit eingeblendet. Im zentralen Bildteil sind kleinere Sedimentrippel am Seegrund erkennbar.

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Probenentnahme

Für die Festlegung der Beprobungsstellen wird die 1990 von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) herausgegebene "Internationale Bodensee-Tiefenvermessungskarte" im Maßstab 1:50.000 verwendet (Druck und Vertrieb: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg).

Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem mit dem Berührungsmeridian bei 9^o dient hierbei als Hauptkoordinatensystem.

Auf einer Profillinie zwischen Fischbach und Uttwil werden folgende Probenpositionen angefahren:



Station	Rechtswert	Hochwert	Wassertiefe
· 1	3530250	5280000	- 50 m
2	3529650	5278900	- 100 m
3	3528300	5276250	- 250 m
4	3526900	5273600	- 100 m
5	3526450	5272850	- 50 m

Die Probenpositionen wurden in Anlehnung an frühere Seebodenuntersuchungen (IGKB Bericht Nr. 38, 1988) und an die Lage der IGKB Freiwasser-Untersuchungsstelle (F) im Bodensee-Obersee ausgewählt. Ein Krupp-Atlas DESO 20 Schiffsecholot gewährleistet zuverlässige Informationen über die effektive Wassertiefe bei der Probenentnahme.

Die Sedimententnahmen erfolgen jeweils nach der winterlichen Vollzirkulation des Sees vor Einsetzen der Planktonentwicklung (25. März 1992, 16. März 1993 und 16. März 1994).

Es werden je Probenort 5 Oberflächenproben für biologische Untersuchungen und 2 Sedimentkerne für sedimentologisch-chemische Analysen und Datierung entnommen. Für die Oberflächenproben wird ein Backengreifer 300 der Firma Hydrowerkstätten, Kiel, benutzt. Zur Kernentnahme der bis 120 cm langen Sedimentkerne dient ein Meischner-Rumohr-Gravitationslot mit 6 cm Rohrdurchmesser. Die Rohre bestehen aus durchsichtigem Plexiglas und erlauben so eine Qualitätskontrolle noch vor Öffnung des Sedimentkerns. Unmittelbar nach der Kernentnahme wird ein neutraler Floristenschwamm zur Stabilisierung der obersten Sediemntschichten vorsichtig bis auf die Sedimentoberfläche abgesenkt. Abschließend werden die entnommenen Kernrohre und Probenbehälter orientiert beschriftet und bis zur Weiterverarbeitung im Labor kühl und dunkel aufbewahrt. Der Transport der Sedimentkerne erfolgt stehend ohne größere Erschütterungen.

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Probenaufbereitung der Sedimentkerne

Von den 3 entnommenen Kernen wird ein Sedimentkern für die Cäsium-Datierung zurückgestellt und ein Kern als Reservekern für Nachuntersuchungen in einem Kühlschrank bei +4°C dunkel gelagert.

Der dritte Sedimentkern wird mit einem Kolben aus dem Kernrohr ausgestoßen. Mittels zweier Edelstahlplatten (150 cm x 20 cm) wird der Kern längs halbiert. Die Platten werden auseinandergeklappt und vorsichtig von den Kernhälften abgezogen. Unmittelbar darauf werden die Kernhälften beschriftet und mit Maßstab fotografiert. Anschließend erfolgt eine sedimentologische Kernbeschreibung.

Für die sedimentologischen Analysen werden aus jeder Kernhälfte jeweils ca. 10 g Naßsediment entnommen. Der Probenabstand beträgt für die obersten 10 cm jeweils

1 cm lückenlos; darunter alle 5 cm je eine 1 cm dicke Schicht. Die feuchten Proben werden gewogen und nach erfolgter Trocknung aus einer Differenzgewichts-Bestimmung der Wassergehalt ermittelt.

Nach der Probenentnahme werden die Kernhälften luftdicht in Folie eingeschweißt und für allfällige Nachuntersuchungen ca. 1 Jahr in Reserve gehalten.

Die Proben der ersten Kernhälfte werden in verschließbare Plastikprobenbehälter (Maße: 4 x 2 x 2 cm) gegeben und kühl gelagert um Austrocknen zu vermeiden. Die Proben der zweiten Hälfte werden in den Probenbehältern gefriergetrocknet und anschließend mit einem elektrischen Achatmörser 10 Minuten gemahlen und homogenisiert.



Schema zur Sedimentkern-Aufbereitung:

- A) Ausstoßen des Kerns aus dem Kernrohr in 2 Halbschalen
- B) Teilen des Kerns mit Metallblechen
- C) Auseinanderklappen und Abziehen der Metallbleche
- D) Geöffneter Kern mit Strukturen

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Datierung der Sedimentkerne

Die Bearbeitung der Kerne erfolgte durch die Abteilung Umweltphysik der EAWAG. Von allen fünf Stationen der Probenserie 16.3.1996 wurden von den obersten Sedimentschichten je zwei Proben (0 - 0.5 cm, 0.5 -1.0 cm) und von den Stationen 1, 2 und 5 die obersten 20 cm in 1-cm-Intervallen kontinuierlich beprobt. Nach Schockgefrierung der Proben erfolgte in einem Gefriertrockner (LEYBOLD LYOVAC GT2) anschliessend die Gefriertrocknung der Proben. Nach Bestimmung des Trockengewichts wurde das Probenmaterial für die anschließende γ -Messung in MILAN-Röhrchen (100 ml, \emptyset 12 cm) umgefüllt.

γ-Messung der Isotope ⁷Be, ^{134, 137}Cs, ²¹⁰Pb

Die unterschiedliche Entstehung und die unterschiedlich langen Halbwertszeiten der vier instabilen Isotope erlauben es, diese Radionuklide zur Kontrolle einer vollständigen Probenahme, sowie zur Abschätzung von Sedimentationsraten zu verwenden.

Nuklid	Halbwertszeit	Entstehung	Ouelle
⁷ Be	52.3 Tage	natürlich	Atmosphäre
¹³⁴ Cs	2.0 Jahre	künstlich	Tschernobyl
¹³⁷ Cs	30.1 Jahre	künstlich	Tschernobyl, Bombentests, Atomkraftwerke
²¹⁰ Pb _{Überschuß}	22.3 Jahre	natürlich	Atmosphäre

Die Messung der Radionuklide erfolgte in geeichten Proberöhrchen in Ge(Li)-Bohrlochdetektoren mit Blei-Abschirmung. Die erhaltenen γ -Spektren wurden entsprechend den angegebenen Peaks ausgewertet. Ebenfalls dargestellt sind die für die einzelnen Nuklide massgebenden Berechnungszeitpunkte. Die Werte von ²¹⁰Pb sind als Überschußaktivität (*unsupported*) angegeben.

Nuklid	Auswertungspeak [keV]	Aktivität berechnet auf Probenahmetag
⁷ Be	477.0	16.3.93 —> Probenahmetag
¹³⁴ Cs	604.7; 795.5	1.5.86 —> Tschernobyl
¹³⁷ Cs	661.7	16.3.93 —> Probenahmetag
²¹⁰ Pb _{Überschuß}	46.5	16.3.93 —> Probenahmetag

IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Korngrößenanalyse der Feinfraktion

Die jüngeren Sedimente des zentralen Bodensees weisen Korngrößen unterhalb von 63 µm auf die Fraktion), (Ton/Silt sich nicht für die klassische Siebanalytik eignen. Aus diesem Grund werden Feinkornanalysen mittels Laseroptik durchgeführt. Hierzu wird ein Teil der Feuchtproben in Wasser sus-



Korngrößen-Histogramm eines Bodensee-Sediments

pendiert und über mehrere Stunden geschüttelt. Ein Teil der Suspension wird in eine 50%-Glycerinlösung gegeben, welche anschließend homogenisiert und ungefähr eine halbe Minute mit Ultraschall behandelt wird. Die Messung erfolgt mit dem GALAI CIS-1-System. Es besteht im wesentlichen aus einem PC, einer optischen Einheit (mit Laser, Videokamera und Meßzelle mit Rühreinheit) und einem Monitor zur visuellen Kontrolle der aufbereiteten Probe in der Meßzelle. Gemessen wird der Durchmesser der in den Lasermeßstrahl geratenen Körner, wobei die Probe ständig gerührt wird. Vom Programm CIS erfolgt automatisch die Umrechnung auf das Volumen der Einzelkörner und die Bestimmung der Korngrößenverteilung. Aus jeweils drei 180 Sekunden dauernden Einzelmessungen wird eine gemittelte Korngrößenverteilung einer Probe errechnet.



Schema der CIS Laserkorngrößenanalytik

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Mineralanalyse

Die gemahlenen, trockenen Proben werden mit einem Siemens-Röntgendiffraktometer D 500 auf ihren Mineralbestand hin untersucht.

Die von einer Cu-Anode als Strahlenquelle erzeugten Röntgenstrahlen treffen unter definierten Einfallwinkeln auf die homogenisierte Probenoberfläche und werden an den Kristallflächen der in der Probe befindlichen Minerale gebeugt. Anhand charakteristischer Beugungsreflexe lassen sich die einzelnen Minerale identifizieren und semiquantitativ bestimmen.

Übersichtsaufnahmen werden nach der Pulvermethode von Debye-Scherrer im Winkelbereich von 4^o bis 70^o gemessen und manuell ausgewertet.



Ausschnitt eines Röntgenbeugungsdiagramms von einem typischen Bodensee-Sediment mit den charakteristischen Kurven für Quarz, Calcit und Dolomit IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Untersuchung des Kohlenstoff- und Schwefelgehaltes

Zur Analyse des Gesamtkohlenstoff- und des Schwefelgehaltes wird ein Teil der gemahlenen trockenen Probe verbrannt und die Verbrennungsgase mit einem Infrarotdetektor analysiert. Die Probeneinwaage beträgt ca. 250 mg Trockengewicht. Für die Analyse des anorganischen Kohlenstoffs wird bis zu 500 mg der gemahlenen Probe mit 16 % iger Salzsäure aufgeschlossen. Bei der 2 Minuten dauernden Reaktion entsteht aus den Karbonaten Kohlendioxid, das über eine Chlorfalle direkt der IR-Zelle zugeführt und gemessen wird.

Aus der Differenz Gesamtkohlenstoff minus Karbonatkohlenstoff läßt sich der Gehalt an organischem Kohlenstoff berechnen.

Die Messung wird an einem LECO CS-125 Infrarotdetektor durchgeführt.



Schema der C/S - Analytik

a) Analyse von Gesamtkohlenstoff und Schwefel b) Analyse des anorganischen Kohlenstoffgehaltes

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Pigmentanalytik

- a) Extraktion: Ein Aliquot der gefriergetrockneten und gemörserten Proben (0,1 -0,5 g) wird in 1 ml 90 % Aceton als Extraktionslösung aufgenommen und 5 Minuten bei 55° C warm (zur Inaktivierung oxidierender Enzyme) extrahiert. Der Überstand wird dekantiert und das Sediment nochmals in 1 ml Extraktionslösung aufgenommen. Zum Aufschluß relativ fest gebundener Pigmente wird die Extraktionssuspension für fünf Minuten im Ultraschallwasserbad behandelt und danach wieder dekantiert. Die Prozedur wird solange wiederholt bis der Überstand farblos bleibt. Die erhaltenen Überstände werden vereinigt und nach Zugabe eines Ionenpaar-Reagenzes (IPR; 2 % Tetraethylammoniumacetat und 5% Ammoniumacetat) auf ein festgelegtes Endvolumen aufgefüllt. Zur Abtrennung verbleibender Trübstoffe werden die Extrake danach über 0,2 µm Membranfilter (Schleicher & Schüll, Spartan 30) filtriert und danach bis zur HPLC-Analyse im Gefrierschrank aufbewahrt.
- b) Auftrennung durch HPLC: Es wurde ein HPLC-System der Fa. Kontron eingesetzt mit einer Kombination von aufeinander folgenden Säulen (Trägermaterial Nucleosil C₁₈ Partikelgröße 5 µm, innere Porenweite 10 nm, Länge 250 mm, innerer Durchmesser 3 mm sowie der zweiten Säule mit dem Trägermaterial MZ-PAH C₁₈, innere Porenweite 10 nm, Länge 250 mm, innerer Durchmesser 3 mm) verwendet und die einzelnen Extrakte mit einer Gradientenelution bei 35° C. Eluent A besteht aus einem 50 : 50 Vol % Gemisch von Wasser und Acetonitril und Eluent B aus einem 60 : 40 Vol % Gemisch von Methanol und Aceton. Die aufgetrennten Einzelpigmente werden fluorometrisch und durch Diodenarray detektiert.
- c) Auswertung der Analysen: Die jeweils erhaltenen Peaks werden mit einem Softwareprogramm der Fa. Kontron durch Vergleich mit Referenzpigmenten identifiziert und danach quantitativ ausgewertet.

Die Detektion der Pigmente wird bei folgenden Einstellungen durchgeführt:

Dioden-Array-Detektor:	444nm	
Fluorometrischer Detektor:	Anregung	Emission
	0 - 25 min	409 nm - 670 nm
	23 - 33 min	465 nm - 656 nm
,	33 - 45 min	409 nm - 670 nm

SCHMID, H. und STICH, H.B.(1995): HPLC-analysis of algal pigments: comparison of columns, column properties and eluents. Journal of Applied Phycology 7: 487-494 IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Gesamtphosphorbestimung

Zur Analyse des Gesamtphosphor-Gehalts der Sedimentproben wird ein Aliquot der gemahlenen trockenen Proben durch einen oxidativen Naßaufschluß gelöst und der Gehalt des Extraktes mit Hilfe des Molybdat-Reagenzes nach Vogler photometrisch bestimmt.

Hierzu werden ca. 50 mg feingemahlenes Sedimentmaterial in einen Erlenmeyerkolben gegeben. Dann werden 25 ml HCl (0,5 mol) zugesetzt. Die Suspension wird dann zwei Minuten mit einem Ultraschall-Stab (Durchmesser 1 cm, Energie 100 W) beschallt. Von der erhaltenen Suspension werden danach 2 ml in ein autoklavierbares mit Schraubverschluß versehenenes Duran-Reaktionsgefäß gegeben. Dazu werden 20 ml aqua dest. und 1 ml Kaliumperoxodisulfat-Oxidationslösung gegeben. Die Reaktionsgefäße werden mit dem Schraubdeckel verschlossen und für zwei Stunden bei 1,2 bar(121° C) autoklaviert. Nach Abzentrifugieren der Trübstoffe jeweils 10 ml des Überstandes mit 1 ml Molybdat-Reagenz-Lösung und 0,5 ml Ascorbinsäurelösung versetzt und die Extinktion der Lösung in einer 5 cm-Küvette bei 790 nm im Photometer gemessen.

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Phosphorfraktionierung nach Psenner et al. 1984

Zusätzlich zur Gesamtbestimmung des sedimentgebundenen Phosphors werden unterschiedliche Phosphor-Fraktionen der Sedimente durch sukzessive Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln separat bestimmt. Die Sedimente müssen sofort nach Probenahme ohne vorangehende Trocknung aufgearbeitet werden, da sonst Verschiebungen innerhalb der P-Fraktionen möglich sind (besonders der redoxabhängigen Fraktionen). Die Fraktionierung ist im Ablaufschema dargestellt:

<u>H₂O Fraktion</u>: 1 g Feuchtsediment wird mit 25 ml aqua dest. in einem Erlenmeyerkolben versetzt und 30 Minuten mit einem Magnetrührer gerührt. Danach wird das Sediment bei 6000 UpM zentrifugiert. Der Überstand wird dekantiert und das Sediment nochmals mit weiteren 25 ml aqua dest. versetzt. Nach nochmaligem halbstündigem Rühren wird die Suspension erneut zentrifugiert. Die Überstände beider Zentrifugationen werden vereinigt auf 50 ml aufgefüllt und ihr Gehalt an Phosphat (Gesamt und ortho-Phosphat) nach Filtration durch 0,45 μ m Membranfilter photometrisch wie oben beschrieben bestimmt.

<u>BD-(Bicarbonat-Dithionit)-Fraktion</u>: Das nach der H₂O-Extraktion verbleibende Sediment wird mit 25 ml BD-Lösung (8 g Na-Dithionit + 3,7 g NaHCO₃ in 400 ml aqua dest.) versetzt . Danach wird die Suspension auf 40° C erwärmt und für 30 Minuten gerührt. Nach Zentrifugation (6000 UpM) und Wiederholung des Vorgangs mit der Zugabe weiterer 25 ml BD-Lösung werden die beiden Überstände wiederum vereinigt und auf 50 ml aufgefüllt. Nach Filtration durch Membranfilter werden 20 ml des Filtrates mit 4 ml EDTA-Lösung versetzt und eine Stunde belüftet. Danach wird die Lösung mit aqua dest. auf 200 ml aufgefüllt und deren Gesamt- und ortho-Phosphat-Gehalte bestimmt.

<u>NaOH_{kalt}-Fraktion</u>: Das nach der BD-Extraktion verbleibende Sediment wird mit 25 ml 1 m NaOH-Lösung versetzt und 16 Stunden gerührt. Danach erfolgt wiederum eine Zentrifugation und Wiederholung der Extraktion mit NaOH-Lösung. Die vereinigten Überstände werden wieder filtriert und auf 50 ml aufgefüllt. Zu 10 ml des Filtrates werden 4 ml EDTA-Lösung (0,025 m) gegeben. Zusätzlich werden 0,3 ml konzentrierte Schwefelsäure zugegeben. Danach wird die Lösung mit aqua dest. auf 200 ml aufgefüllt und deren Gesamt- und ortho-Phosphat-Gehalte bestimmt.

<u>HCI-Fraktion</u>: Das nach der NaOH_{kalt}-Extraktion verbleibende Sediment wird mit 25 ml HCI-Lösung (0,5 m) versetzt und 16 Stunden gerührt. Danach erfolgt wiederum eine Zentrifugation und Wiederholung der Extraktion mit HCI-Lösung. Die vereinigten Überstände werden wieder filtriert und auf 50 ml aufgefüllt. Zu 20 ml des Filtrates wird 2 ml NaOH (20 %) zugefügt. Danach wird die Lösung mit aqua dest. auf 200 ml aufgefüllt und deren Gesamt- und ortho-Phosphat-Gehalte bestimmt.

<u>NaOH_{heiß}-Fraktion:</u> Das nach der HCI-Extraktion verbleibende Sediment wird mit 25 ml 1 m NaOH-Lösung versetzt auf 85° C erhitzt und bei dieser Temperatur

IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

24 Stunden gerührt. Danach erfolgt wiederum eine Zentrifugation und Wiederholung der Extraktion mit NaOH-Lösung. Die vereinigten Überstände werden wieder filtriert und auf 50 ml aufgefüllt. Zu 10 ml des Filtrates werden 4 ml EDTA-Lösung (0,025 m) gegeben. Zusätzlich werden 0,3 ml konzentrierte Schwefelsäure zugegeben. Danach wird die Lösung mit aqua dest auf 200 ml aufgefüllt und deren Gesamt- und ortho-Phosphat-Gehalte bestimmt.



PSENNER, R., PUCSKO, R., SAGER, M. (1984): Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten - Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen. - Arch. Hydrobiol. /Suppl. 70,1: 111-155

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Mikroelektrodenmessungen

Zur Erfassung von Mikroprofilen der Redoxspannung und des Sauerstoffgehaltes wurden nach REVSBECH (1986) und SWEERTS und DE BEER (1989) hergestellte Mikroelektroden eingesetzt. Zur Messung wurden aus dem See entnommene Kerne bei in situ Temperaturen inkubiert. Die Elektodenmessung erfolgte über computer-gesteuerte Schrittmotoren, die mit einer vertikalen Auflösung von 20 µm schrittweise ins Sediment einstechen.

Die Messung der Eh-Profile (Redoxspannung) erfolgte mittels vergoldeter Platin-Elektroden mit einem Spitzendurchmesser von 30 µm gegen eine externe Ag/AgCl-Bezugselektrode. Die Messung der Sauerstoff-Profile erfolgte durch mit Cellullosenitrat-Membranen bespannte Mikroelektroden mit einem Spitzendurchmesser von 50 µm mit einer externen Referenz nach REVSBECH 1986.

REVSBECH, N. P. (1986): Oxygen production and consumption in sediments determined at high spatial resolution by computer simulation of oxygen microelectrode data. - Limnol. Oceanogr. 31: 293-304

SWEERT, J.P. and DE BEER, D. (1989): Microelectrode measurements of nitrate gradients in the littoral and profundal sediments of a mesotrophic lake (Lake Vechten, The Netherlands).- Appl. Environm. Microbiol. 55: 754 -757

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Untersuchung der Oligochaeten-Lebensgemeinschaft

a) Probenahme

Die Proben für die Erfassung der Benthos-Fauna werden mit einem Auerbach-Greifer entnommen, wobei je Probenstelle 5 Proben geholt und ausgewertet werden. Der Greifer entnimmt ein Volumen von 1 dm³, bzw eine Fläche von 1 dm². Die Proben werden in Aludosen mit Deckelverschluß gegeben und bis zur Ankunft im Labor kühl aufbewahrt. Bis zu Aussiebung (spätestens innerhalb der zwei folgenden Tage) werden die Proben mit Seewasser gewässert.

b) Sieben und Konservieren der Proben

Die Sedimentproben werden durch 0,5 mm Siebe ausgesiebt und die Oligochaeten und Chironomidenlarven gezählt. Die aus den Proben einer Station erhaltenen Oligochaeten werden zusammen in ein 20 ml Schnappdeckelglas gegeben und mit 70 % Alkolhol konserviert. Die Art-Bestimmung erfolgt nach dem Schlüssel von Steinlechner 1988.



Probenahme



Aussieben der Sedimentprobe



Auswertung am Mikroskop



Fixierung der Tiere

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

c) Art-Bestimmung der Oligochaeten

Die Bestimmung der Oligochaeten, vor allem der unreifen (immaturen) Tiere, auf Art-Niveau erfolgt nach einem von Steinlechner 1986 erarbeiteten "Bestimmungsbehelf für die Oligochaeten des Bodensees", der diesem Manual als Neuauflage 1997 anbefügt ist. Diese international anerkannte taxonomische Arbeit wurde auch publiziert (STEINLECHNER 1987). Die Bestimmung der geschlechtreifen Tiere erfolgt nach BRINKHURST (1971).

Zur Herstellung von Dauerpräparaten von nicht fixiertem Untersuchungsmaterial eignet sich Nelkenöl zur Aufhellung undurchsichtiger Körperstrukturen, für fixierte Tiere "Ammann's" Laktophenol (440 g Phenol, 400 ml Milchsäure, 400 ml Glycerin, 400 ml Wasser). Als Einbettungsmittel wird Euparal verwendet.

Übersicht über die Tubificiden-Arten im Bodensee

- auch immatur sicher an der Beborstung erkennbar

Haarborstentragende Arten

Spirosperma (Peloscolex) ferox Psammorictides barbatus Aulodrilus pluriseta Tubifex ignotus

Haarborstenlose Arten

Limnodrilus udekemianus [Stylodrilus heringianus (Lumbriculidae)]

- Charaktermerkmal nur bei maturen Tieren sichtbar, immatur schwieriger zu bestimmen

Haarborstentragende Arten

Haarborstenlose Arten

Tubifex tubifex Potamothrix hammoniensis Potamothrix heuscheri Potamothrix bedoti Ilyodrilus templetoni Potamothrix moldaviensis Limnodrilus profundicola Limnodrilus hoffmeisteri L. hoffmeisteri "parvus" Limnodrilus claparedeanus L. claparedeanus "variant"

d) Belastungsindex IPA

Der I_{PA} -Index wird nach PROBST (1987) aus der prozentualen Verteilung der Arten und ihren Abundanzen berechnet und zur Darstellung der lokalen Belastung mit organischen Sinkstoffen verwendet (IGKB-Bericht Nr. 38, 1988).

BRINKHURST, R. O. (1971): A guide for the identification of British aquatic oligochaeta.- Sci. Publ. Freshwat. Biol. Ass. 22: 1 - 55

PROBST, L. (1987): Sublitoral and profundal Oligochaeta fauna of Lake Constance (Bodensee-Obersee).-Hydrobiologia 155: 277 - 282

STEINLECHNER, R. (1987): Identification of immature tubificids (Oligochaeta) of Lake Constance and it's influence on the evaluation of species distribution.- Hydrobiologia 155: 57 - 63

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

BESTIMMUNGSBEHELF

für Oligochaeten des Bodensees

Oligochaetenbestimmungskurs Bregenz, im April 1986 (Neuauflage 1997) (Mag. R. Steinlechner, Innsbruck)

Übersicht über die Tubificiden-Arten im Bodensee

Haarborstentragende Arten

a) auch immatur sicher an der Beborstung erkennbar

Spirosperma (Peloscolex) ferox Psammorictides barbatus Aulodrilus pluriseta Tubifex ignotus

b) Charaktermerkmal nur bei maturen Tieren sichtbar, immatur schwieriger zu bestimmen

Tubifex tubifex Potamothrix hammoniensis Potamothrix heuscheri Potamothrix bedoti Ilyodrilus templetoni

Haarborstenlose Arten

a) auch immatur sicher an der Beborstung erkennbar

Limnodrilus udekemianus [Stylodrilus heringianus (Lumbriculidae)]

b) immatur schwieriger zu bestimmen

Potamothrix moldaviensis Limnodrilus profundicola Limnodrilus hoffmeisteri Limnodrilus hoffmeisteri "parvus" Limnodrilus claparedeanus Limnodrilus claparedeanus "variant"

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Vorbemerkungen

Diese Bestimmungshilfe ersetzt nicht die Verwendung der offiziellen Bestimmungsliteratur (z.B. Brinkhurst), soll aber das Einarbeiten in die Bestimmung erleichtern. Sie umfaßt ausschließlich die bisher im Bodensee von mir gefundenen 15 Tubificiden-Arten und 1 Lumbriculidenart.

Besonderes Augenmerk gilt der Gruppe der Arten, die als immatur nicht sicher bestimmbar gelten. Sie werden ausführlicher beschrieben, da das Bestimmen der unreifen Tiere eine möglichst genaue Kenntnis des Charakters einer Art voraussetzt. Zur Einübung empfiehlt es sich, auch die maturen Tiere immer zuerst anhand der Borsten- und anderen vegetativen Merkmale zu bestimmen und erst danach anhand des Charaktermerkmals im Clitellumbereich (Penisscheide oder Spermathekalborste) das Ergebnis zu bestätigen.



entrale Borstanbundel

Da einige Arten besonders leicht hinter dem Clitellum abreißen, oft also nur der Vorderkörper zur Bestimmung verfügbar ist, werden hier nur die Merkmale, die am Vorderkörper zu finden sind, berücksichtigt.

Für die Bestimmung der haarborstenlosen Arten ist die Unterscheidung der ventralen und dorsalen Borstenbündel wichtig. Dazu wird zuerst der Kopf des Tieres betrachtet - an der Lage der Mundöffnung kann leicht Rücken,- Bauch- oder Seitenlage das Tieres erkannt werden.

Für die Abfolge der Borsten eines Bündels wird nebenstehende Reihenfolge definiert.

Zur Methodik

Wird mit Lebendmaterial gearbeitet (Quetschpräparate), so ist es vorteilhaft, sich eine Sammlung von Dauerpräpraraten anzulegen, in der jede Art dokumentiert ist, um in Zweifelsfällen Vergleichsmaterial zur Verfügung zu haben.

Sehr gut eignet sich dazu das Einbettungsmittel "Euparal" (über steigende Alkoholreihe entwässern, dann in Nelkenöl zur Aufhellung, dann Euparal). Bei diesem Harzgemisch bleiben auch die nichtchitinigen inneren Strukturen sowie die Hautstrukturen gut erhalten.

Zur serienmäßigen Bestimmung von fixiertem Material eignet sich gut das Aufhellmittel "Ammanns Lactophenol".

XX

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Beschreibung der einzelnen Arten

Spirosperma (Peloscolex) ferox

Vorkommen:

dousale B

Uferbereich bis mittlere Tiefen, wird relativ groß, meist schon mit freiem Auge erkennbar.

Charaktermerkmal:

Haut dicht besetzt mit derben, dunklen, ringförmig angeordneten Papillen. Diese Papillen können auch gänzlich fehlen, dann zeigt die Haut eine quergeriefte, dicht gepunktete Struktur, dicke, säbelartige Haarborsten, die bei großen Tieren deutlich



Parissdiede

Justvale 3.

gesägt sein können; dorsale Gabelborsten am distalen Ende schmal keulenförmig, mit wenigen Zwischenzähnchen. Ventrale Gabelborsten schwach S-förmig gebogen, mit undeutlich ausgebildetem Nodulus, in den ersten Bündeln mit längerem Oberzahn. Bei maturen Tieren fehlen oft die Papillen im Clitellumbereich, dann sind Teile der inneren Strukturen erkennbar, wie die langen, geknäuelten Spermatophoren und die dicken, tonnenförmigen Penisscheiden, die denen von T. tubifex gleichen.

Psammoryctides barbatus



Vorkommen: Uferbereich, wird sehr groß.

Charaktermerkmal:

Dorsale Gabelborsten breit fächerförmig (palmat), nach dem 11. Segment wieder normale, pectinate Gabelborsten. Ventrale Gabelborsten auffällig groß und kräftig (besonders am Hinterkörper), in den ersten Bündeln mit langem, spitzen Oberzahn, dann zunehmend barock geschwungen. Mature Tiere mit langen dünnen Spermathekalborsten und dünnhäutigen zerknitterten Penisscheiden.

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994



dousales b. bundel

Aulodrilus pluriseta

Vorkommen:

Uferbereich bis mittlere Tiefen, bleibt klein. Wird im Bodensee praktisch nie geschlechtsreif, vermehrt sich durch Fragmentation, daher oft kurze, relativ dicke Tiere in unterschiedlichen Regenerationsphasen.

Charaktermerkmal:

Sehr kleine, feine Gabelborsten, in den dorsalen Bündeln mit nur doppelt so langen dünnen Haarborsten, meist zehn oder mehr pro Bündel, kiemenförmig angeordnet.

Tubifex ignotus

Vorkommen: Uferbereich; auffälliger

Habitus:

extrem langer, dünner Wurm.

Charaktermerkmal:

Dorsal kurze, abgewinkeite, lyraförmige Gabelborsten mit nur wenigen Zwischenzähnchen, nur wenige, aber vor allem kurz nach dem Clitellum extrem lange Haarborsten. Die ventralen Gabelborsten, 1-2 pro Bündel, bleiben in allen Segmenten auffallend kurz und klein. Penisscheiden der maturen Tiere ähnlich denen von T. tubifex.

Tubifex tubifex

Vorkommen: In allen Tiefen, wird relativ groß.

Charaktermerkmal:

Kurze, doppelt gelegte, serviettenringförmige Penisscheiden mit gekörnter Oberflächenstruktur. Lange, geknäuelte Vasa deferentia, birnenförmige Atrien, z.T. gut erkennbar.



dorsak Borsk

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Dorsale Gabelborsten kräftig, mehr oder weniger V-förmig gegabelt mit einer Reihe von gleichmäßig gebildeten Zwischenzähnchen; bei sehr großen Tiere sind Randzähne an den Enden oft schön abgerundet. Haarborsten gefiedert, diese Fiederung ist bei kleinen Tieren meist nicht erkennbar. Die ventralen Gabelborsten nehmen in den ersten drei aufeinanderfolgenden Bündeln deutlich an Länge und Dicke zu und bleiben groß im weiteren Verlauf. In den ersten Bündeln ist der Oberzahn meist etwas länger als der Unterzahn, verkürzt sich aber zunehmend und ist schließlich etwa gleich lang wie der Unterzahn. Die typische ventrale T. tubifex-Borste findet sich in den Bündeln kurz vor dem Clitellum. Ober- und Unterzahn sind kurz, an der Basis gleich dick, der Unterzahn ist nach außen geschwungen und endet spitz, der Oberzahn endet ebenfalls spitz. Der Nodulus erscheint deutlich ausgeprägt, da sich der Borstenschaft, von der Spitze her gesehen, direkt hinter der knieförmigen Verdickung des Nodulus wieder vedüngt. Die Anzahl der ventralen Borsten pro Bündel ist variabel, sehr kleine Tiere besitzen meist zwei, weiter hinten nur mehr 1 Borste pro Bündel, größere Tiere meist 4-5 oder auch mehr.

Habitus:

Eher schlanker Wurm, mit länglichem, gerundeten Prostomium; die Haut mit leichter Querriefung aus spindelförmigen Strukturen, bei sehr großen Tieren ähnlich wie bei P. hammoniensis.



dovsale bentvale

Borsten



Peuroscheide

-

Habitus

Potamothrix hammoniensis

Vorkommen: Uferbereich bis mittlere Tiefe, wird relativ groß und dick.

'Charaktermerkmal:
XXIII

IGKB - AG Seeboden

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Länglich-schmale kräftige Spermathekalborsten, einzeln oder zu zweit im Bündel, dann die zweite meist verkürzt, ohne Schaft. Die Spermathekalborsten können bei maturen Tieren, wahrscheinlich am Ende der Reproduktionsphase, gänzlich fehlen. Das Clitellum ist auffallend dick-drüsig, die langen unregelmäßig dicken Schläuche der Atrien sind z.T. gut erkennbar; die kegelförmigen, unverdickten Penes können in der Aufsicht ringförmige Strukturen zeigen die mit den Penisscheiden von T. tubifex verwechselt werden könnten. Dorsale Gabelborsten kräftig, die Randzähne kaum gegabelt, mit einer Reihe von meist unterschiedlich dicken Zwischenzähnchen. Die Borsten neigen im allgemeinen zu Unregelmäßigkeiten in der Bildung, ihre Enden sehen, besonders bei großen Tieren, oft aus wie zufällig aufgespleißt (Absplitterungen, Auffaserungen). Die Haarborsten sind glatt, bei großen Tieren aber manchmal etwas aufgefasert, was wie eine Fiederung aussieht. Die ventralen Gabelborsten zeigen eine vergleichbare Größenzunahme wie bei T. tubifex; der Oberzahn ist in allen Bündeln etwas länger als der Unter-zahn, relativ gerade, nicht sehr spitz und an seiner Basis schmäler als der rundliche Unterzahn. Auch bei den ventralen Borsten treten, bei größeren Tieren, nicht selten Unregelmäßigkeiten auf, wie z.B. vereinzelte Zwischenzähnchen. Der Nodulus ist erkennbar als abrupte Verbreiterung des Borstenschaftes (von der Spitze her gesehen).

Habitus:

Eher dicker Wurm, mit relativ kleinem Prostomium, das wie eine Lanzettspitze aus dem oft wulstigen ersten Segment hervorragt. Die Haut ist ringförmig dicht besetzt mit durchsichtigen ovalen, gepunkteten Strukturen, besonders deutlich zu sehen an den Ansatzstellen der ventralen Borstenbündel in den Segmenten nahe dem Clitellum.

Ľ 1 Sp. bousten ventuale dovsale Bousten

Habita

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Potamothrix heuscheri

Vorkommen: Mittlere bis größere Tiefen, bleibt klein

Charaktermerkmal:

Sehr schmale Spermathekalborste mit langem Schaft, der oft geknickt ist. Der längere Zahn ist an der Spitze vogelschnabelartig gebogen. Spermathekalborsten meist einzeln, nur seiten zu zweit im Bündel. Mature Tiere sehr häufig mit großen spindelförmigen Spermatophoren in den Spermatheken. Dorsale Gabelborsten ähnlich denen von P. hammoniensis, aber deutlich schmäler, die Zwischenzähnchen sind sehr fein und auffallend regelmäßig gebildet; glatte Haarborsten. Ventrale Gabelborsten schmal, "elegant" geformt; der Oberzahn ist in allen Bündeln deutlich länger als der Unterzahn und ein wenig schmäler, Borstenschaft im Prinzip gleich gebaut wie bei P. hammoniensis. Bei einander entsprechender Größe der immaturen Tiere sind die Borsten von P. heuscheri immer deutlich schmäler und zarter als die von P. hammoniensis.



Habitus:

gedrungener, relativ breiter Vorderkörper mit kurzem spitzen Prostomium. Die Haut zeigt die für alle Potamothrix-Arten charakteristische Hautstruktur; in dichten Ringen angeordnete längliche kleine Strukturen an der Hautoberfläche, deutlich feiner als bei P. hammoniensis.

Ilyodrilus templetoni

Vorkommen: Uferbereich, erreicht mittlere Größe

Charaktermerkmal:

Dünnhäutige, kegelförmige Penisscheide. Bei maturen Tieren fehlen die ventralen Borsten im 11. Segment; dieses Merkmal ist ein guter Hinweis auf I. templetoni, die ansonsten unauffälligen, durch die Präparation oft auch etwas verknitterten Penisscheiden werden dann meist leicht gefunden. Dorsale Gabelborsten mit etwas breiterem, leicht nach außen gebogenem Unterzahn und schmalerem, geraden Oberzahn; meistens ohne Zwischenzähnchen; relativ kräftige Haarborsten. Ventrale

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Gabelborsten in den ersten Segmenten ähnlich denen von P. heuscheri: mit langem Oberzahn (der Oberzahn ist manchmal aber nur knapp länger als der Unterzahn), in der Folge verkürzt sich der Oberzahn und ist in den letzten Segmenten vor dem Clitellum gleich lang wie der Unterzahn, ziemlich dünn und sehr spitz. Die Größe der ventralen Borsten nimmt in den ersten vier Bündeln zu, danach aber wieder ab, sodaß die Borsten im 10. Segment deutlich kürzer sind als die im 4. Segment.

Habitus:

Meist eher schlanker Wurm, mit länglich-spitzem Prostomium. Sehr junge Tiere sind manchmal schwer zu unterscheiden von gleich großen immaturen P. heuscheri und P. bedoti; die Form der dorsalen Gabelborsten, soweit sie gut beobachtbar ist, gibt hier oft den entscheidenden Hinweis.

Habitus Peurscheide ventrale 3. dovsale Bouchers

Potamothrix bedoti

Vorkommen: Uferbereich bis mittlere Tiefen, sehr kleiner Wurm.

Charaktermerkmal:

Genitalsegment meist vorvedagert im 8. oder 9. Segment, Spermathekalborsten spitzteelöffelförmig oder blattförmig. Häufig Unregelmäßigkeiten in der Anordnung der Spermathekalborsten (z.B. nur eine Spermathekalborste auf einer Seite und auf der anderen normale Gabelborsten, mehrere Sp.-Borsten im Bündel, auf einer oder auf beiden Seiten Sp.-Borsten in zwei aufeinanderfolgenden Segmenten). Dorsale Gabelborsten sehr schmal, tief eingeschnitten mit meist wenigen feinen Zwischenzähnchen; Haarborsten dünn, nicht sehr lang. Ventrale Gabelborsten (meist 4-5 pro Bündel) nehmen nur sehr wenig an Größe zu, Oberzahn kaum länger oder gleich lang wie der Unterzahn, aber deutlich dünner.

IGKB - AG Seeboden Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994



Habitus:

Leicht gedrungener Vorderkörper, bei sehr jungen Tieren aber auch ganz schlank, spitz zulaufendes Prostomium. Bei sehr jungen Tieren sind die arttypischen dorsalen Gabelborsten nur in den ernsten Bündeln erkennbar, die in den darauffolgenden Segmenten sind bereits ununterscheidbar den von dorsalen Gabelborsten bei I. templetoni.

Limnodrilus udekemianus

Vorkommen: Uferbereich, wird sehr groß, selten.

Charaktermerkmal:

Stark abgewinkelte Gabelborsten mit extrem langem, kräftigem Oberzahn, der auch nach starker Abnutzung immer noch deutlich länger und dicker ist als der kurze schmale Unterzahn. Mature Tiere mit kurzer Penisscheide, leicht konisch mit einfachem rundem Rand, oft mit großem, halbkreisförmigem Bogen vor der Öffnung.

Bouslenende

Pauisscheide

Habitus:

Sehr kräftiger Wurm, sekundäre Ringelung an den ersten Segmenten, kurzes, spitzkegelförmiges Prostomium.

XXVII

IGKB - AG Seeboden

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Stylodrilus heringianus (Lumbiculida)

Vorkommen: In allen Tiefen, wird groß und dick, selten.

Charaktermerkmal:

In allen Bündeln 2 Borsten, die nicht gegabelt sind oder nur einen ganz kleinen, sehr kurzen Oberzahn besitzen. Mature Tiere mit starren, nicht einziehbaren, nach hinten angewinkgiten Penes, die lang, schlank-kegelförwig sind und in eine feine Spitze auslaufen. Kurzes rundes Prostomium; sekundäre Ringelung erst ab dem vierten Segment.

Potamothrix moldaviensis

Vorkommen: Uferbereich, wird groß und dick, oft hinter dem Clitellum abgerissen.

Charaktermerkmal:

Kurze, kräftige, leicht gedrehte, spitz zulaufende Spermathekalborsten. Penes ohne chitinöse Scheiden, oft ausgestülpt, mit Penialborste an der Basis; die Penialborste ist eine einzelne Gabelborste mit sehr langem spitzen Oberzahn. Dorsale und ventrale Gabeiborsten sind praktisch gleich; lange, relativ schmale und gerade Borsten mit einem runden, nach außen gebogenen Unterzahn und einem etwa gleich langen, schwungvoll spitz zulaufenden Oberzahn. Bei großen Tieren bis zu 10 und mehr Borsten im Bündel, die sehr regelmäßig fächerförmig angeordnet sind und keine Formunterschiede von der ersten bis zur letzten Borste des Bündels aufweisen. Der Oberzahn ist immer spitz, auch bei sehr großen Tieren. Keine auffallenden Größen-unterschiede zwischen dorsalen und ventralen Borsten, kontinuierliche Größenzunahme der Borsten bis zum Clitellum.





Bovskenbündel

Sp. borsten



Habitus



Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Habitus:

Relativ breiter, gedrungener Vorderkörper mit langem, spitz zulaufendem Prostomium; keine sekundäre Ringelung an den ersten Segmenten, aber oft deutlich voneinander abgesetzte Segmente. Hautstruktur ähnlich wie bei P. hammoniensis.

Limnodrilus profundicola

Vorkommen: Mittlere bis große Tiefen, wird relativ groß.

Charaktermerkmal:

Penisscheide nicht sehr lang, gerade, Öffnung nicht abgewinkeit, mit einfachem, nach außen umgebogenem Rand. Dorsale und ventrale Gabelborsten sehr ähnlich, nur leichte Größenzunahme in den ersten Segmenten, dann wieder Größenabnahme. Die Borsten bleiben im Verhältnis zur Größe des Wurms kurz und schmal, mit meist gleich langem Ober- und Unterzahn, die wenig abgewinkelt sind gegen die Borstenachse. Die Borstenzähne sind bei jungen Tieren noch relativ spitz, bei älteren meist gleichmäßig abgerundet; in den einzelnen Bündeln nur wenig Formunterschiede zwischen den Borsten.



undvalle Bousten

Punsschnden

L.hoff. L.clap. L.prof.

Borsten vergleich

(Darmerweiterung) Habitus

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Habitus:

Relativ breiter Vorderkörper mit kurzem, breitem abgerundetem Prostomium (spitz bei P. moldaviensis Unterschied), sekundäre Ringelung an den ersten Segmenten. Bei entsprechender Aufhellung gut sichtbar ist die abrupte Erweiterung des Darms zwischen dem 4. und dem 5. borstentragenden Segment. Immatur oft sehr ähnlich wie P. moldaviensis; bei der Unterscheidung achten auf: Form der Borstenzähne in den Segmenten vor der Clitellumregion, sekundäre Ringelung, Form des Prostomiums. Von anderen immaturen Limnodrilus-Arten leicht zu unterscheiden durch das Merkmal am Darm (bei L. hoffmeisteri und L. claparedeanus findet sich die Darmerweiterung zwischen dem 3. und dem 4. borstentragenden Segment) und ebenfalls durch die Form der Borstenzähne in den hinteren Segmenten.

Limnodrilus hoffmeisteri

Vorkommen:

Vorwiegend Uferbereich und mittlere Tiefen, sehr variabel in der Größe.

Chaktermerkmal:

Mäßig bis ziemlich lange Penisscheiden, meist mit einer oder mehreren Biegungen im Schaft, trichter- oder trompetenförmig erweiterte Öffnung, die von der Borstenachse abgewinkeit angesetzt ist und von einer "Kapuze" überdeckt sein kann; oft seitliche Öffnung in der Mündung erkennbar. Die Form der Öffnung ist sehr variabel und im Mikroskop durch die unterschiedlichen Blickwinkel oft schwer einschätzbar. Die für die Bestimmung der immaturen entscheidenden Borstenmerkmale finden sich in den vordersten ventralen Bündeln und dort an den ersten 1-3 Borsten das Bündels, die gleichzeitig auch die jeweils jüngsten Borsten sind und daher am wenigsten abgenutzt. Oft läßt sich neben der ersten Borste noch eine ganz kurze, noch unter der Hautoberfläche steckende Borste (nur mit distalem Ende und Schaftansatz) finden, an der die entscheidenden Merkmale meist besonders gut zu beobachten sind.

Nach der Ausbildung der Borsten lassen sich im Bodensee zwei Varianten der Art unterscheiden.

a) L. hoffmeisteri (normale Form)

Deutlich ausgeprägte Größenzunahme der ventralen Borsten im Verlauf vom 1. bis zum 4. Bündel, danach wieder Größenabnahme, in den dorsalen Bündeln ist diese Größenzunahme merklich schwächer ausgeprägt. Die Gabelzähne sind etwa gleich dick, der Oberzahn gleich lang oder etwas länger als der Unterzahn und meist kräftig gebogen. Die Borstenmerkmale sind auch an den dorsalen Borsten erkennbar, aber weniger deutlich. Innerhalb eines Borstenbündels ist eine deutliche "Merkmalsverwischung" von der ersten bis zur letzten Borste erkennbar, z.T. bedingt durch eine wirkliche Veränderung der Form z.T. auch verursacht durch eine kontinuierliche Lage-

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

veränderung der Borsten, wodurch die Einschätzung der Längenverhältnisse wegen der unterschiedlichen Blickwinkel zusätzliche Schwierigkeiten erfährt. Die Länge des Oberzahns kann innerhalb der Borsten eines Bündels oder in aufeinanderfolgenden Bündeln noch etwas zunehmen, wodurch diese Borsten nicht mehr sicher von Claparedeanus-Borsten unterschieden werden können. Daher immer auf die jüngsten ventralen Borsten in den ersten Segmenten achten!

Habitus:

Eher schlanker Wurm, der matur sehr groß wird. Breites, rundliches Prostomium, sekundäre Ringelung an den ersten Segmenten. Darmerweiterung zwischen dem 3. und dem 4. borstentragenden Segment.



ventrale Borskubündel (IT-IV)

Petrisscheiden

b) L. hoffmeisteri "parvus" (die variante Form)

Weniger deutlich ausgeprägte Größenzunahme bei den ventralen Borsten; der Oberzahn ist deutlich dünner und kürzer als der Unterzahn, beide sind stark abgewinkelt von der Borstenachse.

veutvale Borstunbündel (II-IV)

Peursscheiden

Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Habitus:

Die "parvus"-Form ist die deutlich kleinere Variante der Art, entsprechend sind auch die Penisscheiden kleiner, weisen aber keine im Einzelfall erkennbaren Formunterschiede auf.

Die Immaturi beider Hoffmeisteri-Formen sind an den Borsten meist leicht zu unterscheiden, es gibt aber auch schwer einzuordnende Obergangsformen.

Limnodrilus claparedeanus

Vorkommen:

Uferbereich bis mittlere Tiefen, wird relativ groß.

Charaktermerkmal:

Extrem lange Penisscheiden, Öffnung etwas schräg angesetzt mit einem Rand, der im Umriß ein Dreieck bildet, dessen Spitze nach oben zeigt. Für die Bestimmung der immaturen Tiere gelten die gleichen methodischen Hinweise wie sie bei L. hoffmeisteri beschrieben werden. Deutliche Größenzunahme bei den ventralen Borsten in den ersten Bündeln, danach wieder Größenabnahme. Oberzahn deutlich länger als der Unterzahn und weniger gebogen als bei L. hoffmeisteri. Die Länge des Oberzahns nimmt innerhalb der Borsten eines Bündels meist ein wenig ab. In den Segmenten kurz vor dem Clitellum sind die Borsten der beiden Arten nicht mehr voneinander unterscheidbar.



ventrale Borskubündel (II-IV)



Arbeitsmanual zur Methodik der Sedimentuntersuchungen 1992-1994

Habitus:

Schlanker Wurm, Prostomium oft etwas länglicher und spitzer als bei L. hoffmeisteri. Sekundäre Ringelung an den ersten Segmenten, Darmerweiterung wie bei L. hoffmeisteri.

Ergänzung:

Im Bereich des Schweizer Ufers am Untersee wurde eine kleine Limnodrilus-Art in wenigen maturen Exemplaren gefunden, die immatur aufgrund der Borsten von L. claparedeanus nicht zu unterscheiden ist. Die maturen Tiere besitzen eine kurze Penisscheide mit einfacher, gerader Öffnung, deren Rand nach außen umgebogen und etwas gewellt sein kann. Wäre der Schaft von der üblichen Länge wie bei L. claparedeanus, könnte diese Penisscheide durchaus für eine etwas modifizierte Claparedeanus-Penisscheide gehalten werden. Aufgrund des Merkmals am Darm (Erweiterung wie bei L. claparedeanus) lassen sich die maturen Tiere auch sicher von L. profundicola unterscheiden, obwohl die Penisscheiden beider Arten recht ähnlich sind.

Die genaue Zugehörigkeit dieser kleinen Art ist noch nicht geklärt. Ich vermute, daß es sich um eine Variante von L. claparedeanus handelt und bezeichne sie vorerst als L. claparedeanus "variant".

bentrale Borsknbündel (II-II)

Penisscheiden

Veröffentlichungen der-

Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

- Ri üb Na	chtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom1. Junerarbeitete Fassung vom9. Masufassung vom27. Ma	i 1967 i 1972 i 1987
- Sc ko	hutz dem Bodensee, Jubiläumsschrift, 15 Jahre Internationale Gewässerschutz- mmission für den Bodensee	1974
- Sc fü	hutz dem Bodensee, Faltbatt, 25 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission den Bodensee	1984
- Li	nnologischer Zustand des Bodensees, Jahresberichte (Grüne Berichte) sei	t 1976
IGKE	-Berichte (Blaue Berichte)	
Nr. 1	Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees	1963
Nr. 2	Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees	1964
Nr. 3	Die Sauerstoffschichtung im tiefen Hypolimnion des Bodensee-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger Untersuchungsergebnisse aus früheren Jahren	1964
Nr. 4	Gewässerschutzvorschriften der Bodensee-Anliegerstaaten	1966
Nr. 5	Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963	1967
Nr. 6	Untersuchungen zur Feststellung der Ursache für die Verschmutzung des Bodensees	1967
Nr. 7	Stellungnahme der Sachverständigen zur Frage einer Bodensee-Ringleitung	1967
<u>Nr. 8</u>	Die Sauerstoffbilanz des Bodensee-Obersees	1967
Nr. 9	Bodensee-Sedimente	1971
Nr. 10	Bericht über den Bodensee	1971
Nr. 11	Die Berechnung von Frachten gelöster Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus Konzentrationsmessungen in Bodenseezuflüssen	1973
Nr. 12	Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees	1973
Nr. 13	Bau- und Investitionsprogramm - Stand der Abwasserbeseitigung	1973
Nr. 14	Regenentlastungsanlagen, Bemessung und Gestaltung	1973
Nr. 15	Strömungsverhältnisse im Bodensee-Untersee und der Wasseraustausch zwischen den einzelnen Seebecken	1974
Nr. 16	Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees	1975
Nr. 17	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72	1976
Nr. 18	Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963	1976
Nr. 19	Stand der technischen Möglichkeiten der Phosphorelimination aus kommunalen Abwässern	1977
Nr. 20	Die Entwicklung des Crustaceenplanktons im Bodensee, Obersee (1962-1974) und Rheinsee (1963-1973)	1977
Nr. 21	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963-1973), Teil 1 Untersee	1977
Nr. 22	Chemismus des Freiwassers des Bodensee-Obersees in den Jahren 1961 bis 1974	1979

·. · ·	• ••,		
	•		a dina Tanàna
Nr.	. 23	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1965-1975),	
÷	and	Teil 2 Obersee	1979
Nr.	. 24	Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees Planungszeitraum 1978-1985	1981
Nr.	. 25	Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978	1981
Nr.	. 26	Die submersen Makrophyten des Bodensees - 1978 im Vergleich mit 1967 -	1981
Nr.	. 27	Die Veränderungen der submersen Vegetation des Bodensees in ausgewählten Testflächen in den Jahren 1967 bis 1978	1981
Nr.	. 28	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen und organischem Kohlenstoff im Abflussjahr 1978/79	1982
Nr.	. 29	Limnologische Auswirkungen der Schiffahrt auf den Bodensee	1982
Nr.	. 30	Die Auswirkungen der Reinhaltemassnahmen auf die limnologische Entwicklung des Bodensees (Lagebericht)	1982
Nr.	. 31	Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten	1984
Nr.	. 32	Quantitative Mikroanalyse flüchtiger, organischer Verbindungen im Bodenseewasser	1985
Nr.	. 33	Bau- und Investitionsprogramm, Stand der Abwasserbeseitigung im Einzugsgebiet des Bodensee-Obersees und des Untersees, Planungszeitraum 1986-1995	1985
Nr.	. 34	Die Zukunft der Reinhaltung des Bodensees, Weitergehende und vorbeugende Massnahmen - Denkschrift -	1987
Nr.	. 35	Zur Bedeutung der Flachwasserzone des Bodensees	1987
Nr.	. 36	Die Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee nach dem Unfall Tschernobyl	1987
Nr	. 37	Die Entwicklung des Crustaceen-Planktons im Bodensee-Obersee (1972-1985) und Untersee - Gnadensee und Rheinsee - (1974-1985)	1987
Nr.	. 38	Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978)	1988
Nr	. 39	Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1961 bis 1986)	1989
Ňr	. 40	Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86	1989
Nr	. 41	Die Entwicklung der NTA- und EDTA-Konzentration im Bodensee und in einigen Bodensee-Zuflüssen von 1985 bis 1990	1991
Nr	. 42	Seenphysikalische und limnologische Dokumentation zur Vorstreckung des Alpenrheins in den Bodensee - eine Literaturstudie -	1993
Nr	. 43	Sedimentoberflächen im östlichen Bodensee-Obersee, Sidescan-Untersuchungen im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Vorstreckung des Alpenrheins	1993
Nr	. 44	Dynamische Simulation des Bodensee-Obersees und tolerierbare Phosphor-Fracht	1993
Nr	. 45	Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee	1996
Nr	. 46	Die submersen Makrophyten des Bodensees - 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967	1998
Nr	. 47	Zustand des Seebodens 1992-1994 Sedimentinventare - Phosphor - Oligochaeten	1998
· • ``	Service of the	그는 것 같은 것 같	1.144