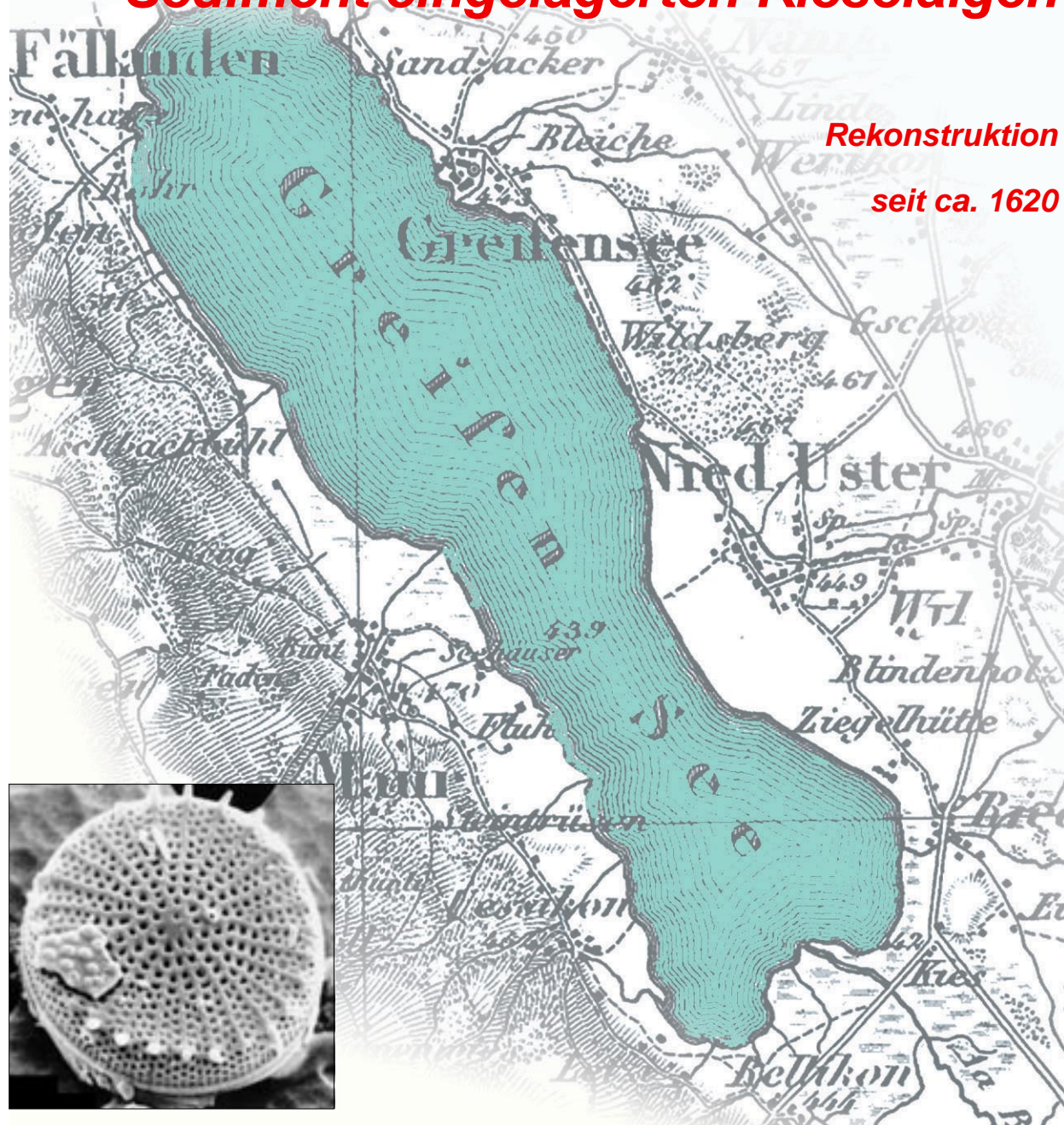


## Entwicklung des Gesamtphosphors im Greifensee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen



**AquaPlus**

Elber Hürlimann Niederberger

Bundesstrasse 6 · CH-6300 Zug  
Fon +41 41 729 30 00 · Fax +41 41 729 30 01  
admin@aquaplus.ch

Zug, 18. Mai 2004

# INHALTSVERZEICHNIS

## BERICHT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Auftragserteilung</b>	<b>5</b>
<b>3. Der Greifensee in der Literatur</b>	<b>6</b>
3.1 Literaturzusammenstellung	6
3.2 Gewässerökologische Entwicklung des Greifensees	8
<b>4. Grundlagen und verwendete Methoden</b>	<b>11</b>
4.1 Sedimentkern aus dem Greifensee (GR03-4) und Datierung Text von Dr. Michael Sturm / EAWAG	11
4.2 Kieselalgen	13
4.3 Trophiegradbestimmung aus chemischen Daten	16
<b>5. Resultate</b>	<b>17</b>
5.1 Kieselalgen-Stratigraphie	17
5.2 Taxazahl und Diversität	21
5.3 Rekonstruktion der Gesamtphosphorkonzentration	21
<b>6. Schlussfolgerungen</b>	<b>27</b>
<b>7. Verdankungen</b>	<b>30</b>
<b>8. Literaturverzeichnis Bericht</b> (alphabetische Liste)	<b>31</b>
<b>9. Literaturverzeichnis Greifensee</b> (chronologische Liste)	<b>33</b>
<b>ANHANG</b>	<b>38</b>
A Resultate der Schnellzählung und Auflistung der ausgezählten Proben	39
Relative Kieselalgenschalendichte pro 1-cm-Sedimentschicht	40
Kieselalgen-Zählresultate	41
Tab A1: Gesamtphosphor-Optima <sub>Wa</sub> und -Toleranzen	59
B Unterlagen zur Datierung des Sedimentkernes GR03-4	61
Abb. B1: Isotopenmessungen Greifensee-Sedimentkern GR03-4	64
C Wassergehalt des Sedimentkernes GR03-4	65
Abb. C1: Wassergehalt in Prozent im Greifensee-Sedimentkern GR03-4	68

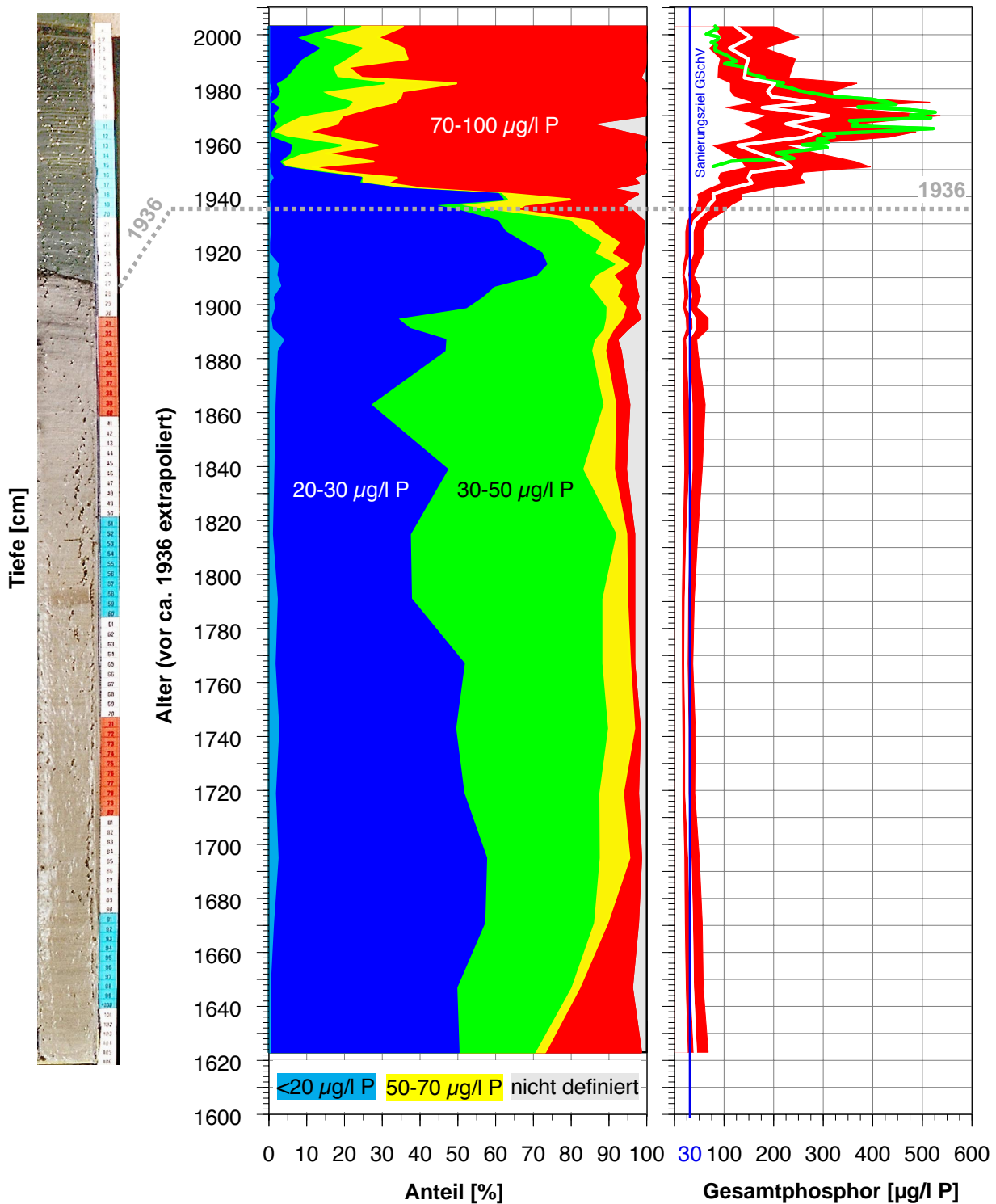
## ZUSAMMENFASSUNG

Die Rückführung der Seen in einen nährstoffärmeren Zustand ist als Zielsetzung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 formuliert. Ausgenommen von dieser Verpflichtung sind Seen, welche eine hohe biologische Produktion aufgrund besonderer natürlicher Verhältnisse aufweisen. Bei Seen wie dem Greifensee, welcher eine hohe biologische Produktion aufweist, muss abgeklärt werden, ob diese Produktion auf natürlichen Ursachen basiert oder ob sie durch menschliche Einflüsse verursacht worden ist. Durch die vorliegende Untersuchung der Zusammensetzung der Kieselalgenschalen im Sediment des Greifensees und der Datierung der Sedimentschichten konnte die Nährstoffentwicklung des Greifensees in den vergangenen rund 400 Jahren (seit ca. 1620) rekonstruiert werden. Der Greifensee wies hinsichtlich der Kieselalgen und der daraus abgeleiteten Algenproduktion, des Trophiegrades und des Gesamtphosphors während der Vollzirkulation im Frühjahr sowie der Sedimentbeschaffenheit seit 1620 folgende Zustände auf:

- 1620 bis 1910: - Dominanz von *Cyclotella cyclopuncta* und *C. comensis/pseudocomensis*, als Begleitarten traten *C. distinguenda*, *C. praetermissa*, *Aulacoseira ambigua*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* auf.  
- höchstens mittlere Algenproduktion und damit mesotropher Zustand,  
- Gesamtphosphorkonzentration um 20 µg/l P oder tiefer,  
- aerobe Sedimentschichten.
- 1910 bis 1970: - Wechsel in der Kieselalgen-Zusammensetzung, Abnahme der Biodiversität,  
- ab 1930-Jahre Dominanz von *Stephanodiscus parvus*, *Cyclotella*-Arten werden verdrängt,  
- in den 1930er-Jahre Invasion von *Tabellaria flocculosa*,  
- bis in die 1930er-Jahre eine mittlere bis hohe und anschliessend bis 1970 eine hohe bis sehr hohe Algenproduktion und damit eutropher bis hypereutropher Zustand,  
- Gesamtphosphorkonzentration von rund 20 µg/l P bis maximal 540 µg/l P,  
- ab 1936 anaerobe Sedimentschichten.
- 1970 bis 2003: - Dominanz von *Stephanodiscus parvus*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis*,  
- ab 1973-75 erneutes Aufkommen von *Cyclotella praetermissa* und *C. radiosa*  
- ab 1991-95 erneutes Aufkommen von *Cyclotella cyclopuncta*, *Stephanodiscus alpinus* und *Tabellaria flocculosa*,  
- ständig anaerobe Sedimentschichten,  
- deutliche Abnahme der Algenproduktion und der Gesamtphosphorkonzentration.

**Die Ergebnisse dieser Studie lassen den Schluss zu, dass es sich beim Greifensee erwartungsgemäss nicht um einen natürlicherweise produktiven See handelt. Es zeigte sich, dass:**

- nach 1910 eine deutliche Verschlechterung des ökologischen Zustandes eintrat,
- um 1970 der höchste Gesamtphosphorgehalt vorhanden war,
- die Gewässerschutzmassnahmen den Zustand des Greifensees nach 1970 erkennbar und nachhaltig verbesserten und
- der ökologische Zustand des Greifensees vor 1910 ein anzustrebendes Sanierungsziel darstellt.



### Sedimentkern GR03-4, Anteil der Trophieklassen und Entwicklung des Gesamtphosphors im Greifensee basierend auf den im Sediment eingelagerten Kieselalgen.

- Links: Sedimentkern GR03-4. Die Tiefenskala des Kerns entspricht nur ungefähr der nebenstehenden Zeitskala.
- Mitte: Die Trophieklassen beruhen auf den  $\text{Optima}_{\text{WAPL}}$  (siehe Anhang A).
- Rechts: Rote Fläche: Rekonstruktion der Gesamtphosphor-Konzentration während der Frühjahreszirkulation basierend auf dem Kalibrationsset nach Lotter et al. (1998). Mittelwert (weisse Kurve), unterer und oberer Fehler (obere und untere Flächenbegrenzung). Das Verfahren der Rekonstruktion ( $\text{WAPLS}$ ) lässt die artspezifischen  $\text{Optima}_{\text{WAPLS}}$ , Toleranzen und Häufigkeiten gewichtet einfließen. Daher darf aus der Verteilung der Trophieklassen und aus dem pro Trophieklasse angegebenen Phosphorbereich nicht auf die Gesamtphosphorkonzentration geschlossen werden. Grüne Linie: Gemessene mittlere Gesamtphosphorkonzentrationen während der Frühjahreszirkulation (Daten AWEL Zürich; EAWAG Dübendorf).

## 1. Einleitung

Die Rückführung der Seen in einen nährstoffärmeren Zustand ist als Zielsetzung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 formuliert. Ausgenommen von dieser Verpflichtung sind Seen, welche eine hohe biologische Produktion aufgrund besonderer natürlicher Verhältnisse aufweisen. Sanierungsbedarf ist dann gegeben, wenn ein See, in welchem heute eine hohe biologische Produktion vorherrscht, unter natürlichen Verhältnissen eine geringe oder mittlere biologische Produktion aufweisen würde. Bei Seen mit einer hohen biologischen Produktion muss also abgeklärt werden, ob diese Produktion auf natürlichen Ursachen basiert oder ob sie durch menschliche Einflüsse verursacht worden ist.

Die Nährstoffverhältnisse in einem See stehen in engem Zusammenhang mit der biologischen Produktion (v. a. Algenwachstum). Der Zustand eines Sees kann deshalb einerseits über die Konzentration der Nährstoffe im Seewasser, andererseits über die Menge und Zusammensetzung der im Wasser produzierten Biomasse charakterisiert werden. Da die Nährstoffkonzentrationen in den Schweizer Seen erst ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts regelmässig untersucht wurden, müssen zur Abklärung der weiter zurückliegenden Nährstoffverhältnisse paläolimnologische Methoden herangezogen werden. Die Paläolimnologie befasst sich unter anderem mit der Untersuchung von Überresten von Organismen in den Seesedimenten (z. B. Pollen, Überreste von pflanzlichen Farbstoffen, Kieselalgenschalen, Überreste von Zooplankton und Wasserpflanzen). Infolge der kontinuierlichen Ablagerung von Material (abgestorbenes Plankton, Kalkausscheidungen, in den See geschwemmte Trübstoffe, etc.) auf dem Seeboden, enthält der vertikale Aufbau der Sedimente Informationen über frühere Zustände eines Sees.

Für die Rekonstruktion früherer Nährstoffverhältnisse in Seen eignet sich die Untersuchung der im Sediment abgelagerten Schalen toter Kieselalgen. Die Schalen enthalten Silikate und bleiben in den Sedimenten über Jahrhunderte erhalten. Aus der Form der Schalen kann die entsprechende Kieselalgenart bestimmt und auf die zur Lebenszeit dieser Algen herrschenden Nährstoffverhältnisse geschlossen werden. Für die historische Zuordnung ist die zeitliche Datierung der Sedimentablagerung Voraussetzung.

Durch die Untersuchung der Kieselalgenschalen im Sediment des Greifensees und der Datierung der Sedimentschichten konnte die Nährstoffentwicklung des Greifensees in den vergangenen rund 400 Jahren (seit ca. 1620) rekonstruiert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als Referenz und zur Überprüfung der bereits früher festgelegten Sanierungsziele hinsichtlich des Trophiegrades insbesondere der Gesamtphosphorkonzentration sowie generell zur Charakterisierung des früheren ökologischen Zustandes.

## 2. Auftragserteilung

Der Auftrag 'Rekonstruktion der Trophiegeschichte und des Gesamtphosphors des Greifensees mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen' wurde am 14. April 2003 an die Firma AquaPlus in Zug erteilt. Als Auftraggeber zeichnet die Abteilung Gewässerschutz des AWEL Zürich (Amt für Abfall,



Wasser, Energie und Luft). Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit der EAWAG (Dr. Michael Sturm und Herr Alois Zwysig, Kernentnahme, -aufbereitung, -fotographie und Datierung), dem AWEL Zürich (Dr. Pius Niederhauser, Präparation der Kieselalgen, Literaturzusammenstellung) und Prof. André Lotter, University of Utrecht, Niederland (Berechnung der Gesamtphosphor-Rekonstruktion). Die Bestimmung und Zählung der Kieselalgen, die Literaturrecherche, die Rekonstruktion der trophischen Verhältnisse sowie die Berichterstattung erfolgte durch AquaPlus (Dr. Joachim Hürli-mann).

### 3. Der Greifensee in der Literatur

#### 3.1 Literaturzusammenstellung

Aufgrund der limnologischen Literaturzusammenstellung von Märki (1949), der Literatursammlung von AquaPlus sowie den Angaben und Dokumentationen des Auftraggebers gibt es über den Greifensee sehr viele limnologische Arbeiten. Im Buch über den Greifensee sind sehr umfangreich Informationen über den See selber und sein Einzugsgebiet aufbereitet (Mühlethaler et al. 1993). Einen für die vorliegende Arbeit wichtigen Überblick über frühe limnologische Veränderungen im Greifensee geben z. B. Guyer (1910), Märki (1944), Thomas (1976) und Mühlethaler et al. (1993). Sie beschreiben eindrücklich, wie sich der Zustand des Greifensees vom völlig unbelasteten See hin zum '*schmutzigsten See Europas*' entwickelt hat (siehe auch Kapitel 3.2). Ebenso für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind die Sedimentuntersuchungen und Äusserungen von Züllig (1982, 1988), Ambühl (1995) und Hausmann & Kienast (2000?). Sie haben ebenfalls Sedimentmaterial entnommen und die Entwicklung des Greifensees beschrieben. Der aktuelle Zustand des Greifensees wird seit längerem regelmässig vom AWEL Zürich publiziert (Kupper (1992, 1994, 1996, 1998) und Niederhauser et al. (2001) und auch im Internet zur Verfügung gestellt ([www.gewaesserschutz.zh.ch](http://www.gewaesserschutz.zh.ch)). Hinsichtlich der im Greifensee vorkommenden Kieselalgenarten können in Gujer (1910), Züllig (1982), AquaPlus (1997), Hausmann & Kienast (2000?) sowie Lotter (2001) Angaben und Beobachtungen entnommen werden. In Tabelle 1 sind publizierte Beobachtungen über das Vorkommen von planktischen Kieselalgenarten zusammengestellt. Sie lassen sich, soweit sich die damals benutzten Taxabezeichnungen in die heutigen übertragen lassen, weitgehend mit den im Sedimentkern GR03-4 gemachten Beobachtungen vergleichen. Im weiteren befindet sich im Kapitel 10 eine chronologische Literaturliste von Publikationen und Arbeiten zum Thema Greifensee.

**Tab. 1: Zusammenstellung von publizierten Beobachtungen über das Vorkommen von planktischen Kieselalgenarten.**

Jahr	Gujer (1910)	Zillig (1982)	Hausmann & Kienast (2000?)	Lotter (2001)	Sedimentkern GR03-4 (2003)
ca. 1908-1910	Phytoplankter gemäss Zusammenfassung S. 91 und Seiten 45 und 57: <i>Fragilaria</i> [ <i>F. crotonensis</i> und andere], <i>Asterionella</i> [ <i>A. gracillima</i> ], <i>Melosira</i> [ <i>M. crenulata</i> ], <i>Synechra</i> [ <i>S. delicatissima</i> , <i>S. acus</i> var. <i>angustis-cornita</i> , <i>Cyclotella</i> [ <i>C. kützingiana</i> , <i>C. cornita</i> , <i>C. schroeteri</i> , <i>C. bodanica</i> ]	gemischtes aber spärlich produziertes Plankton, <i>Diatoma elongatum</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> und <i>Asterionella formosa</i> .			<i>Cyclotella cyclopuncta</i> , <i>C. comensis</i> , <i>C. distinguenda</i> , <i>C. praetermissa</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i>
1915-1933		<i>Diatoma elongatum</i> , <i>Fragilaria capucina</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> und <i>Asterionella formosa</i> .	In Zone 1 dominierend: <i>Cyclotella comensis</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> . In Zone 1 mehr oder weniger stetig vorhanden oder abnehmend: <i>Cyclotella distinguenda</i> var. <i>unipunctata</i> (= <i>C. cyclopuncta</i> ), <i>Fragilaria ulna</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> und <i>Cyclotella distinguenda</i> .	Zone A und B: <i>Cyclotella cyclopuncta</i> , <i>C. comensis</i> , <i>C. distinguenda</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i>	<i>Cyclotella cyclopuncta</i> , <i>C. comensis</i> , <i>C. distinguenda</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i>
1925-1930			<i>Fragilaria nanana</i>		<i>Tabellaria flocculosa</i> (= früher <i>fenestrata</i> ) ist zu diesem Zeitpunkt sehr häufig (Peak)
1930er Jahre		Insbesondere <i>Tabellaria fenestrata</i> holte anfänglich zu einer Invasion aus, fiel aber in den vierziger Jahren mengenmässig wieder zurück	<i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> (= früher <i>T. fenestrata</i> ) ist zu diesem Zeitpunkt sehr häufig (Peak)
1933-1995		Die <i>Centricae</i> blieben ab etwa 1935 in ihrer Entfaltungsmenge stark eingeschränkt	In Zone 2 dominierend: <i>Stephanodiscus parvus</i> alternierend mit <i>Fragilaria crotonensis</i> . Aufkommen von <i>Aulacoseira ambigua</i>	<i>Stephanodiscus parvus</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i>	<i>Stephanodiscus parvus</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i>
1955-1960			<i>Cyclotella praetermissa</i>		<i>Aulacoseira ambigua</i> kommt vor, mehrere Peaks
1975-1985			<i>Cyclotella radiosa</i>	<i>Cyclotella radiosa</i>	<i>Cyclotella praetermissa</i> , <i>C. radiosa</i>
1996-2003					<i>Cyclotella praetermissa</i> , <i>C. radiosa</i> , <i>C. cyclopuncta</i> , <i>Stephanodiscus parvus</i> , <i>St. alpinus</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Asterionella formosa</i>

### 3.2 Gewässerökologische Entwicklung des Greifensees

Gemäss Thomas (1976) gehörte der Greifensee **vor circa 1910** aufgrund von fischereilichen Angaben, biologischen Untersuchungen und Seeschlammprofilerhebungen dem oligotrophen Seetypus an. Der See verfügte über einen guten Felchenbestand, an seinen Ufern blühten Seerosen, die biologische Produktion war noch gering und die für eutrophe Seen typischen Plankter waren noch nicht vorhanden.

Die **Verschlechterung des Zustandes** des Greifensees wurde in den Jahren 1915 und 1916 erstmals bemerkt, indem beobachtet wurde, dass der abwasserführende Aabach bis weit in den See hinaus ein Delta von fauligem Schlamm gebildet hatte. Das Sediment des Tiefenwassers bestand aber zu diesem Zeitpunkt noch aus heller, oxidiertem Seekreide (Fehlmann 1915, Silberschmidt 1916, Thomas 1976). Aber bereits 1917 stellte Minder (1918) fest, dass der Greifensee am 7. Oktober 1917 in 23 m Tiefe nur noch 3.4 mg/l Sauerstoff enthalten hatte. Thomas (1944) schrieb, dass ungefähr im Jahre 1917 sich erstmals dunkler, nicht restlos oxidiertem Schlamm abgelagerte und damit im Hypolimnion mindestens zeitweise ein erheblicher Sauerstoffmangel herrschte. Die Verschlechterung des Zustandes des Greifensees wurde somit eindeutig durch die Zuleitung von Abwasser (Gewerbe, Industrie und Haushalte) hervorgerufen. In der Folge traten sechs grosse Fischsterben auf (zuerst starben Forellen und Felchen, dann auch widerstandsfähigere Fischarten). Die weitere Verschlechterung erfolgte dann sprunghaft ungefähr im Jahre 1932, indem eine Invasion von *Tabellaria fenestrata* (= *T. flocculosa*) auftrat, ein grosses Fischsterben stattfand und sich erstmals echter, dunkler Faulschlamm abgelagerte. In den nachfolgenden 10 Jahren hatten weitere Fischsterben eine starke Reduktion des Felchenbestandes zur Folge. Mit der zunehmenden Belastung stieg auch die Gesamtposphorkonzentration an, welche ab dem Jahr 1951 gemessen wurde. Sie erreichte in den Jahren 1965 bis 1971 das Maximum (Abb. 1). In diesen Jahren erreichte der Sauerstoffgehalt im Oberflächenwasser während des Novembers und Dezembers infolge Mischung mit dem sauerstofflosen Tiefenwasser minimale Konzentrationen von weniger als 1 mg/l. Grössere Fischsterben sind aber wahrscheinlich infolge der kalten Wassertemperaturen ausgeblieben. Während 15 bis 20 Jahren enthielt aber der Greifensee anstatt Felchen fast nur noch Weissfische.

In den 1950er-Jahren wurde mit dem **Bau der Kläranlagen** begonnen. Sie dauerten im Einzugsgebiet des Greifensees bis in das Jahr 1971 (Inbetriebnahme der ARA Uster: 1956, Wetzikon: 1961, Egg-Oetwil: 1962, Maur: 1967, Hinwil: 1968, Mönchaltorf und Gossau: 1971). Gleichzeitig wurde ab dem Jahre 1967 bis 1977 die Phosphor-Elimination (3. Stufe) eingebaut und von 1981 bis 1986 die Kläranlagen um die Flockungsfiltration erweitert (Abb. 1). Dieser Bau und anschliessende Ausbau der Kläranlagen war dringend notwendig, weil die Anzahl Einwohner im Einzugsgebiet des Greifensees sich von 1940 bis heute mehr als verdreifachte (Abb. 2). Aufgrund der getroffenen Gewässerschutzmassnahmen verbesserte sich der Zustand des Greifensees kontinuierlich. Der heutige Zustand liegt aber immer noch im deutlich eutrophen Bereich.

Gemäss **Arealstatistik** der Jahre 1992/1997 wird rund die Hälfte des Greifensee-Einzugsgebietes (mit Einzugsgebiet Pfäffikersee) landwirtschaftlich intensiv genutzt (Abb. 2). Die andere Hälfte besteht zu je rund 20 % aus Siedlung und Wald und die verbleibenden 10 % sind Übriges (Gewässer, unproduktive Vegetation).



**Tab. 2: Für den Greifensee gewässerrelevante Ereignissen und Zustände.**

<b>Jahr</b>	<b>Ereignis</b>
ab ca. 1800	Entwässerung der Riedflächen durch die Landwirte (Mühlethaler et al. 1993).
ab ca. 1850	Beginn des Torfabbaus in vielen Mooregebieten des Glatt- und Kämpptales zur Brennstoffgewinnung (Mühlethaler et al. 1993).
1856-1859	Bau der Eisenbahnlinie Wallisellen-Rapperswil (Mühlethaler et al. 1993).
bis 1900	Entstehung einer im Glatttal und Greifenseegebiet dicht besiedelten, von Fabrikindustrie geprägten Kulturlandschaft infolge innert kurzer Zeit erfolgten Verbesserung und Erweiterung des Verkehrsnetzes (Mühlethaler et al. 1993).
vor 1910	Guter Felchenbestand, an den Ufern Seerosen, geringe Produktion, keine für eutrophe Seen typischen Plankter (Guyer 1910, Thomas 1976)
1915-16	Abwasserbelasteter Aabach bildete weit in den See hinaus ein Delta von fauligem Schlamm (Fehlmann 1915, Silberschmidt 1916). Das Hypolimnion war aber noch sauerstoffhaltig (Thomas 1976).
1918	Erste Ablagerung von dunklem, also nicht restlos oxydiertem Schlamm, so dass im Hypolimnium zumindest zeitweise ein Sauerstoffmangel vorhanden gewesen sein muss (Minder 1918, Thomas 1976).
1932	Invasion von <i>Tabellaria fenestrata</i> , ein grosses Fischsterben und unterhalb von 25 m Tiefe lagerte sich erstmals echter, dunkler Faulschlamm ab. Der See erreichte aufgrund der Einleitung von Abwasser den eutrophen Zustand (Thomas 1976).
1932-1972	Zunehmend schlechtere Sauerstoffverhältnisse. Im Hypolimnion während des Sommers sauerstofflos, im Dezember im Oberflächenwasser aufgrund der Herbstzirkulation (Mischung mit dem Tiefenwasser) ebenfalls sehr tiefe Sauerstoffwerte (Thomas 1976).
1941	Erlassen der kantonalen Greifenseeschutzverordnung (Mühlethaler 1993).
1956-1972	Bau der Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet des Greifensees (AWEL).
1951-1971	Starke Zunahme des Gesamtphosphors, von 78 auf 526 µg/l P (Daten AWEL).
1972	Das Wasser des Greifensees wies im November und Dezember weniger als 1 mg O <sub>2</sub> /l auf (Thomas 1976).
1968-1978	Reduktion des Phosphoreintrages von ca. 50-68 Tonnen auf rund 22 Tonnen (Mühlethaler et al 1993).
1940-2002	Zunahme der Bevölkerung im Einzugsgebiet des Greifensees (ohne Pfäffikersee) von rund 30'000 auf rund 100'000 Einwohner (eidg. Volkszählung, Statistisches Amt des Kantons Zürich).
1994	Erlassen der neuen kantonalen Greifenseeschutzverordnung (Baudirektion).
1999	Felchensterben im August.
2000-2003	Die Gesamtphosphorkonzentrationen während der Frühjahrszirkulation liegen bei 64-87 µg/l P (Daten AWEL).

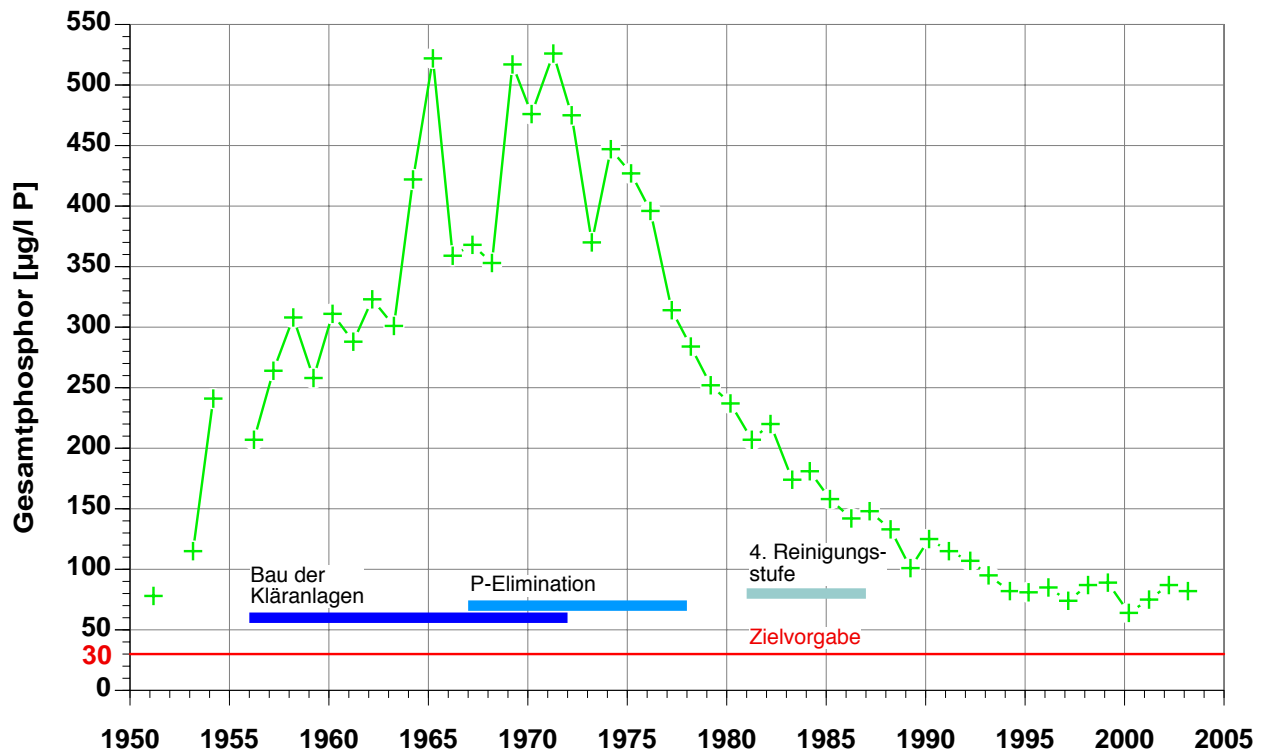


Abb. 1: Verlauf der mittleren volumengewichteten Gesamtphosphorkonzentration im Greifensee zur Zeit der Vollzirkulation im Frühling (erster Wert im März/April) von 1951 bis 2003 sowie Phasen der Erstellung und des Ausbaus (Phosphorelimination und 4. Reinigungsstufe) der Kläranlagen im Einzugsgebiet des Greifensees (ohne Pfäffikersee).

Angaben von Dr. Pius Niederhauser, Abteilung Gewässerschutz, AWEL Zürich.

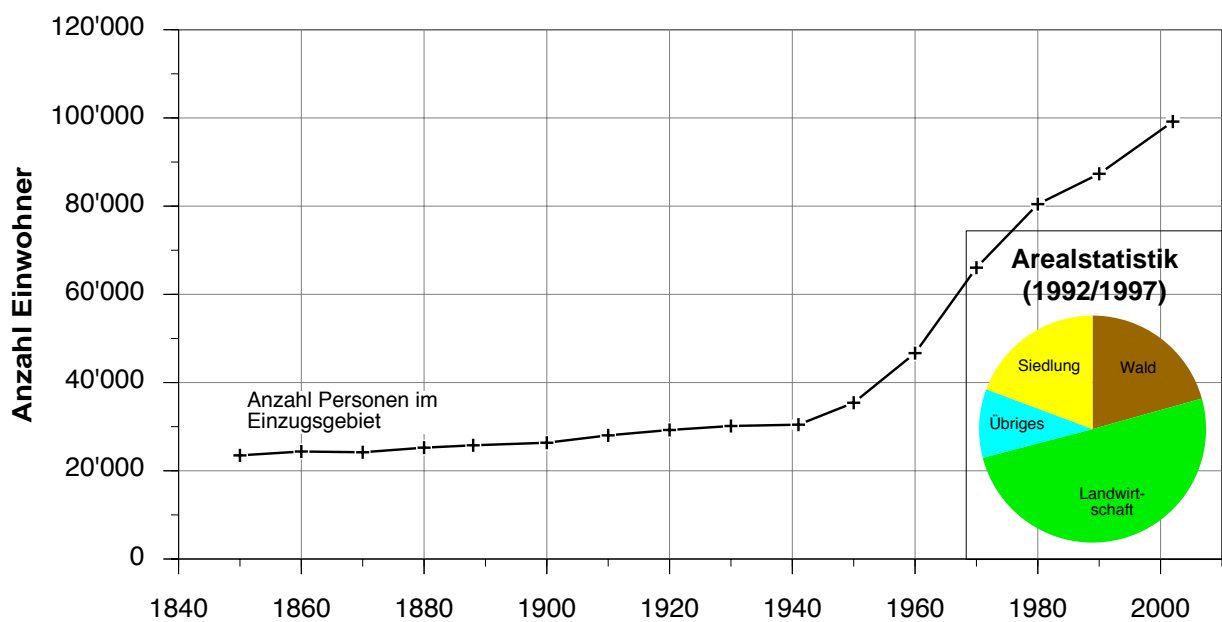


Abb. 2. Entwicklung der Einwohnerzahl seit 1850 (exkl. Pfäffikersee) und Anteile an Siedlung, Wald, Landwirtschaft und Übriges (Gewässer, unproduktive Vegetation, etc.) gemäss Arealstatistik 1992/1997 im Einzugsgebiet des Greifensees (inkl. Pfäffikersee).

Daten: Statistisches Amt des Kantons Zürich und Bundesamt für Statistik.

## 4. Grundlagen und verwendete Methoden

### 4.1 Sedimentkern aus dem Greifensee (GR03-4) und Datierung

Text von Dr. Michael Sturm / EAWAG

Am 25. April 2003 entnahm die EAWAG im Greifensee im zentralen Becken in 32 m Tiefe im Umfeld von ca. 30 m (Koordinaten: 693 640 / 245 070) mit dem Kurzkerngerät ("gravity corer") vier Sedimentkerne mit einem Durchmesser von 6.3 cm. Die beprobten Stationen wiesen folgende Kennwerte auf:

- Kern GR03-1: 32 m Tiefe, Kernlänge 101 cm
- Kern GR03-2: 32 m Tiefe, Kernlänge 113 cm
- Kern GR03-3: 32 m Tiefe, Kernlänge 108 cm --> Varvenzählung
- Kern GR03-4: 32 m Tiefe, Kernlänge 106 cm --> Datierung, Kieselalgen, Analysen

Die Kerne wurden im Sedimentlabor der EAWAG in Kastanienbaum der Länge nach aufgeschnitten, fotografiert und die Varven des Kernes GR03-3 bis in eine Sedimenttiefe von 18 cm gezählt (Abb. 3). Für die Datierung mittels Isotopen, für die Bestimmung des Wassergehaltes und für die Präparation der Kieselalgen wurde der Kern GR03-4 verwendet. Er wurde in Intervallen von 1 cm Mächtigkeit (Probe 1: 0-1 cm, Probe 2: 1-2 cm, etc.) beprobt. Die Proben wurden anschliessend vor und nach der Gefriertrocknung gewogen und daraus der Wassergehalt bestimmt (Anhang C).

Für die **Datierung mittels Isotopen** wurden die Proben mit einem GeLi Bohrloch-Detektor gemessen. Die Messzeit pro Probe betrug mindestens 24 Stunden. Die Datierung erfolgte durch Auswertung der  $\gamma$ -Aktivitäten von  $^7\text{Be}$  (Halbwertszeit 54 Tage) und  $^{137}\text{Cs}$  (Halbwertszeit 30.1 Jahre). Die Anwesenheit von  $^7\text{Be}$  (Halbwertszeit 54 Tage) in der obersten Sedimentprobe zeigt, dass im entnommenen Sedimentkern die Wasser/Sediment-Grenzschicht (also die jüngste Sedimentschicht) ungestört beprobt wurde. Das  $^{137}\text{Cs}$ -Profil (Abb. B1, Anhang B) weist ein Maximum in 5-6 cm Sedimenttiefe auf, das dem Tschernobyl-Fallout von 1986 zugeordnet wird. Aufgrund der Varvenzählung befindet

**Tab. 3: Zeitmarker im Kern GR03-4 des Greifensees und abgeleitete Sedimentationsraten.**

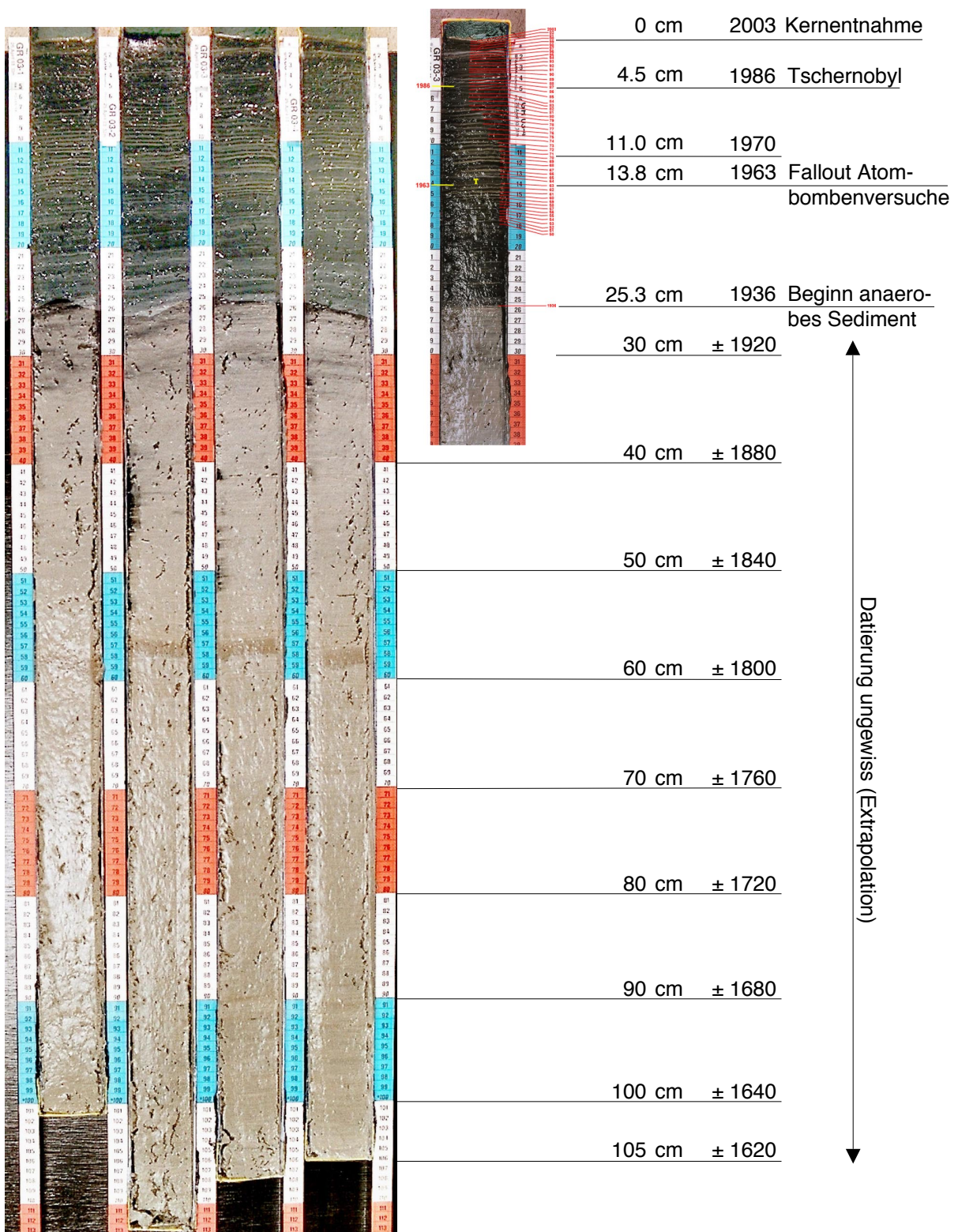
Zwischen den Zeitmarkern wurde nicht linear interpoliert, sondern es wurde zwischen Phasen mit unterschiedlichen Sedimentationsraten unterschieden, die aufgrund der Zählung der Varven in einem früher entnommenen Gefrierkern bekannt sind (Sturm & Ohlendorf, EAWAG, unveröffentlichte Daten). Genaue Werte siehe Anhang B.

Zeitmarker	Sedimenttiefe Zeitmarker	Zeit / Zeitraum	Sedimentationsrate
Maximum $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität	von 5 cm bis 6 cm	1986 / 2003-1986	3.4 mm/Jahr
Maximum $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität	von 13 cm bis 14 cm	1963 / 1986-1963	2.3-3.4 mm/Jahr
Beginn Eutrophierung	von 25 cm bis 26 cm	1936 / 1963-1936	2.5-3.4 mm/Jahr
Extrapolation, keine Datierung	von 26 cm bis 105 cm	vor 1936	2.5 mm/Jahr

GR03-1 GR03-2 GR03-3 GR03-4

GR03-3

Varvenzählung Kern GR03-3



**Abb. 3. Fotografische Darstellung der vier aufgeschnittenen Greifensee-Sedimentkerne. Kernentnahme am 25. April 2003. Ausgewertet und datiert wurde der Kern GR03-4. Die Angaben zur Datierung rechts des Sedimentkernes beziehen sich jedoch auf die Varvenzählung.**

Fotos und Kernaufbereitung, Angabe der Turbiditschichten sowie Datierung: Dr. Michael Sturm, EAWAG Dübendorf. Zeitangaben von 26 cm (1936) bis zum Kernende in 105 cm Tiefe (ca. 1620) beruhen auf extrapolierten Daten. Es wurde zur Abschätzung des Alters eine Sedimentationsrate von 2.5 mm pro Jahr angenommen (siehe Tab. 3 und Kap. 4.1).

sich das Jahr 1986 in 4.5 cm Sedimenttiefe, also nur ganz wenig oberhalb der Datierung mittels  $^{137}\text{Cs}$ . Ein weiteres  $^{137}\text{Cs}$ -Maximum, welches auf den Fallout der Atombombenversuche von 1963 zurückzuführen ist, konnte in 13-14 cm Sedimenttiefe nachgewiesen werden. Aufgrund der Varvenzählung befindet sich das Jahr 1963 ebenfalls in 13-14 cm Sedimenttiefe. Der Beginn der Eutrophierung (Beginn anaerobes Sediment) um das Jahr 1936 wurde gemäss Sturm & Ohlendorf (unveröffentlichte Daten) durch Auszählen der abgelagerten Varven in einem 1993 entnommenen Gefrierkern bestimmt. Für die tieferen Sedimentschichten gibt es keine genauen Anhaltspunkte für eine Datierung. Um trotzdem eine ungefähre Abschätzung des Alters für die tieferen Teile des 105 cm langen Kernes zu erhalten, wurde für die Sedimentbereiche >26 cm eine geschätzte Sedimentationsrate von 2.5 mm/Jahr angenommen. Allerdings sind die so ermittelten Zeitangaben vor 1936 mit Vorsicht zu verwenden. Eine genauere Altersbestimmung wäre nur mit Hilfe aufwendiger AMS-Bestimmungen von  $^{14}\text{C}$  an definierten Makrofossilien terrestrischer Landpflanzen möglich.

## 4.2 Kieselalgen

Die **Präparation** der Kieselalgen erfolgte mit denselben gefriergetrockneten Proben wie sie für die Datierung verwendet wurden. Die obersten 40 Proben (von 0 cm bis 20 cm Tiefe) wurden lückenlos für die Kieselalgenpräparation verwendet. Von der Sedimenttiefe 41 cm an und tiefer wurde für die Kieselalgenpräparation nur noch jede zweite Sedimenttiefe präpariert (Probe 41: 40-41 cm, Probe 42: 42-43, Probe 43: 44-45 cm, etc. Probe: 73: 104-105 cm). Die Präparation der 73 Sedimentproben wurde durch Dr. Pius Niederhauser, AWEL Zürich, durchgeführt. Sie erfolgte indem die Proben mittels Salzsäure entkalkt und anschliessend mit Hilfe von Wasserstoffperoxid oxidiert wurden. Nach der Entkalkung und der Heissoxidation wurde das Material mit destilliertem Wasser gewaschen. Die präparierten Kieselalgen wurden dann in das Kunstharz Naphrax eingebettet. Alle für die Kieselalgenuntersuchung aufbereiteten Sedimentproben, eine Serie Präparate sowie noch vorhandenes Rohmaterial werden beim AWEL Zürich archiviert. Die von AquaPlus ausgezählte Serie Präparate befindet sich im Archiv von AquaPlus.

Die **Bestimmung** der Arten erfolgte für die centrischen Taxa im Rasterelektronenmikroskop (Aufnahmen durch Herrn dipl. Ing. Rolf Klee, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, D-82407 Wielenbach, siehe Anhang D) sowie im Lichtmikroskop. Alle anderen Taxa wurden im Lichtmikroskop bestimmt. Die Nomenklatur orientiert sich weitgehend an Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991) sowie einigen wenigen taxaspezifischen Bestimmungswerken. Die Auszählung der Kieselalgenschalen (jede Kieselalgenart besteht aus zwei Schalenhälften, Summe der gezählten Schalen = 100%) erfolgte im Lichtmikroskop bei 1'000-facher Vergrösserung (Ölimmersion, Interferenz). Aufgrund der Zählresultate wurden die relativen Häufigkeiten (rH) der einzelnen Arten berechnet:

$$rH_{ij} (\%) = (N_{ij} / N_j) * 100\% \quad \text{Formel 1}$$

rH<sub>ij</sub> = Relative Häufigkeit der Art i in der Probe j  
 N<sub>ij</sub> = Anzahl gezählte Schalen der Art i in der Probe j  
 N<sub>j</sub> = Gesamtzahl der gezählten Schalen der Probe j.

Basierend auf einer **Schnellzählung** (= Anzahl Schalen pro Gesichtsfeld), mit welcher alle vorhandenen 73 Sedimentproben betrachtet wurden, wurde festgestellt, dass in allen Sedimenttiefen für die Zählung genügend viele Kieselalgen vorhanden sind (siehe Anhang A, relative Dichte der Kieselalgenschalen pro mikroskopisches Gesichtsfeld und Probe). Basierend auf dieser Kieselalgendichteverteilung, der ebenfalls aufgrund der Schnellzählung festgestellten groben Anteile von Kieselalgengruppen sowie der Sedimentdatierung wurden 51 der insgesamt 73 aufbereiteten Kieselalgen-Sedimentproben für die Auszählung der Kieselalgen ausgewählt. Die Liste der ausgewählten Sedimentproben kann der Zählliste wie auch der Schnellzählung (beides Anhang A) entnommen werden. Die 51 Proben verteilen sich auf den 105 cm langen Sedimentkern, wobei die Sedimentschichten von 0 bis 40 cm (Phase der letzten Eutrophierung, 40 Proben) lückenlos und von 41 bis 105 cm jede sechste Probe (11 Proben) ausgezählt wurden. Damit stützt sich die Rekonstruktion des Gesamtphosphorwertes und des Trophiegrades auf die gesamte Länge des Sedimentkernes ab. Bei allen 51 **Zählungen** wurden mindestens 500 Schalen gezählt.

Die **Auswertungen** beruhen alle auf den relativen Häufigkeiten, welche in jeder Probe für jede gefundene Kieselalgenart aufgrund der Zählung gemäss Formel 1 berechnet wurden. Die Zähldaten für die 51 Proben befinden sich in Anhang A.

Zur Charakterisierung der Kieselalgen sowie zur Rekonstruktion des Trophiegrades und des Gesamtphosphors wurden folgende Verfahren eingesetzt (Berechnungen durch Herrn Lotter):

- 1.) Ermitteln der **stratigraphischen Kieselalgenzonen** (Abbildung 4) sowie der **Taxazahl** und der **Diversität** (Abbildung 6). Die Kieselalgenstratigraphie wurde mit der 'optimal sum of squares partitioning' Methode nach Birks & Gordon (1985) zoniert und die statistisch signifikante Anzahl Zonen wurde mit einem 'broken stick' Modell nach Bennett (1996) getestet. Dabei ergaben sich 2 signifikante Kieselalgenzonen, welche mit GRE-1 und GRE-2 benannt wurden. Die Zonengrenze liegt zwischen den Sedimenttiefen 23 und 24 cm (Proben 23 und 24).

Mit diesem Verfahren werden, basierend auf den relativen Häufigkeiten der einzelnen Arten, über Sedimenttiefenstufen hinweg, charakteristische Kieselalgengemeinschaften erkannt und als stratigraphische Kieselalgenzonen zusammengefasst.

- 2.) **Rekonstruktion des Gesamtphosphors** (TP, Abbildung 7) unter Verwendung des Kalibrationsdatensets von Lotter et al. (1998). Beim verwendeten Modell handelt es sich um ein 2-Komponenten WAPLS (weighted averaging partial least squares) Regressions- und Kalibrationsmodell (ter Braak & Juggins 1993). Von den 161 in den Zählungen vorhandenen Kieselalgentaxa konnten deren 136 im Kalibrationsset zugeordnet werden (= 84%). Von den fehlenden Taxa, welche für die Rekonstruktion nicht benutzt wurden, haben nur wenige Taxa eine relative Häufigkeit, welche überhaupt einen gewissen Einfluss auf die Rekonstruktion haben könnten. Es handelt sich dabei um *Aulacoseira islandica* (relative Häufigkeit: 7.2 %), *A. subarctica* (2.8 %), *Stephanodiscus neoastraea* (1.9 %) und *Mastogloia smithii* var. *lacustris* (1.2 %). Da diese maximalen Anteile nicht hoch sind, war auch deren Einfluss auf die Rekonstruktion vernachlässigbar. Dies wurde insofern getestet, indem für die beiden *Aulacoseira*-Arten, welche in oligo- bis mesotrophen Gewässern vorkommen, entsprechende Optima und Toleranzen bei der Berechnung des Gesamtphosphors eingesetzt wurden. Damit waren die TP-Werte im Vergleich zur Berechnung ohne Berücksichtigung dieser Taxa wohl etwas tiefer (v.a. 18 bis 26 cm Tiefe),



aber nicht mehr als 1 % bis 15 %. Die Differenz lag aber immer innerhalb des oberen und unteren Fehlers und ist somit nicht wesentlich. Insgesamt dürfte somit die Rekonstruktion, wenn überhaupt, nur im Bereich 18 bis 26 cm Tiefe (ab ca. 1936, Beginn der Eutrophierung bis ca. 1950) etwas zu hohe Gesamtposphorwerte ergeben.

Die Entwicklung und Eichung des Kalibrationsdatensatzes beruht auf einem schweizerischen Kleinseen-Datensatz, welcher von Lotter et al. (1998) im Zusammenhang mit einer paläolimnologischen Studie erhoben wurde. Zusätzlich wurden zur Erweiterung der Phosphorskala frühere Daten des Rotsees und des Baldeggersees verwendet. Der Datensatz umfasste somit 68 Kleinseen der Schweiz sowie der Baldeggersee. Die verwendeten 68 Kleinseen weisen eine grosse Spannweite bezüglich der Seeoberfläche (0.01-0.89 km<sup>2</sup>), der maximalen Wassertiefe (1.6-49 m), der Meereshöhe (334-2339 m.ü.M.), der geografischen Lage (ganze Schweiz), des Gesamtposphorgehaltes (6-166 µg P/l) und des Trophiegrades (oligotroph bis hypertroph) auf. Die Wasseraustauschraten sind nicht für alle Seen bekannt. Dazu fehlen die Jahreszuflussmengen. Aufgrund der oben aufgeführten Spannweiten limnologischer Kennwerte, kann aber davon ausgegangen werden, dass diese zwischen wenigen Monaten und mehreren Jahren ebenfalls stark variieren. In jedem Kleinsee wurden die Kieselalgen des Oberflächensedimentes sowie der Wasserchemismus während der Frühjahrszirkulation analysiert. Die anschliessende statistische Analyse ergab für jede Kieselalgenart Gesamtposphor-Optima und -Toleranzen. Mit der Anwendung der Transferfunktion kann dann basierend auf den gezählten Kieselalgen einer Sedimentprobe die Gesamtposphorkonzentration berechnet werden.

Beim gewählten statistischen Ansatz (WAPLS) zur Berechnung der Gesamtposphorkonzentration spielen neben den Optima<sub>WAPLS</sub> (eigentlich sind es Regressionskoeffizienten), die Toleranzen und die relativen Häufigkeiten eine grosse Rolle. Sie fliessen gewichtet in die Berechnung ein. Die in der Abbildung zur Darstellung der Trophieklassen verwendete Optima<sub>WA</sub>, welche sich in der Zusammenfassung befindet, sind in Anhang A aufgeführt.

- 3.) **Rekonstruktion des Gesamtposphors (TP) unter Verwendung der Analogatechnik** mittels der MAT Methode (modern analogue technique) nach S. Juggins (unpubliziertes Programm) (Abbildung 7). Der dabei verwendete Dissimilaritätskoeffizient war die 'squared Chord distance' nach Overpeck et al. (1985). Realistische Werte ergab ein nach Ähnlichkeit gewichtetes MAT Modell mit den 6 ähnlichsten Analoga (Bestimmtheitsmass von  $r^2 = 0.8106$ , RMSE = 0.1894 log TP). Die ähnlicheren Proben erhielten somit mehr Gewicht als unähnliche Proben. Ebenso gut fielen allerdings auch die Resultate aus basierend auf dem gemittelten aber nicht gewichteten MAT-Modell. Im vorliegenden Fall des Greifensees konnten für die oberen Sedimentschichten (0 bis 21 cm) gute Analoga gefunden werden. Trotzdem sollte aber der Rekonstruktion des Gesamtposphors basierend auf der Analogatechnik weniger Bedeutung geschenkt werden, da mit dem Kalibrationsdatensatz erfahrungsgemäss eine plausiblere Rekonstruktion des Gesamtposphors gefunden wurde.

Mit der Analogatechnik werden Kieselalgen-Lebensgemeinschaften paarweise miteinander verglichen. Dabei gilt die Annahme, dass ähnliche Lebensgemeinschaften aus chemisch ähnlichen Verhältnissen stammen. So wurde die pro Greifensee-Sedimentprobe vorhandene Kieselalgen-Lebensgemeinschaften mit denjenigen des Kleinseen-Kalibrations-Datensatzes von Lotter verglichen. Anschliessend wurde für jede Greifensee-Sedimentprobe, basierend auf den 6 besten Übereinstimmungen (Analoga), die Phosphorkonzentration berechnet, indem die Gesamtposphorkonzentrationen (Frühjahrszirkulationswert) der Kleinseen aus welchen die 6 besten Analoga stammen in Abhängigkeit der Übereinstimmung gewichtet gemittelt wurden.

Für weitere Ausführungen bezüglich der verwendeten Methoden verweisen wir auf die zitierte Literatur.

### 4.3 Trophiegradbestimmung aus chemischen Daten

Da in den schweizerischen Seen in der Regel die Versorgung mit Phosphor der limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum darstellt, wird die Phosphorkonzentration als Richtgrösse für die biologische Produktivität verwendet. Gemäss OECD-Studie (Lampert & Sommer 1993, Seite 375) werden die Produktivitätsstufen in Abhängigkeit der Konzentration an Gesamtphosphor ( $P_{\text{tot}}$ ) wie folgt voneinander abgegrenzt:

<b>Oligotroph:</b>	$P_{\text{tot}}$	<b>&lt;10 <math>\mu\text{g P/l}</math></b>	<b>geringe Produktion</b>
<b>mesotroph:</b>	$P_{\text{tot}}$	<b>10 - 30 <math>\mu\text{g P/l}</math></b>	<b>mittlere Produktion</b>
<b>eutroph:</b>	$P_{\text{tot}}$	<b>30 - 100 <math>\mu\text{g P/l}</math></b>	<b>hohe Produktion</b>
<b>hypereutroph:</b>	$P_{\text{tot}}$	<b>&gt;100 <math>\mu\text{g P/l}</math></b>	<b>sehr hohe Produktion</b>

Die Charakterisierung der biologischen Produktivität eines Sees bezüglich der  $P_{\text{tot}}$ -Konzentration während der Frühlingskonzentration ist eine praktische Vereinfachung. Gleiche  $P_{\text{tot}}$ -Konzentrationen und damit derselbe Trophiegrad können sich in verschiedenen Seen unterschiedlich auswirken. So ist die Morphometrie eines Sees (z. Bsp. das Volumenverhältnis des Epilimnions zum Hypolimnion) wie auch die Dynamik der Zuflüsse (Hochwasserereignisse, Nährstoff- und Trübstofffracht) entscheidend für die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwassers eines Sees und damit für die Abbauprozesse am Seegrund.

## 5. Resultate

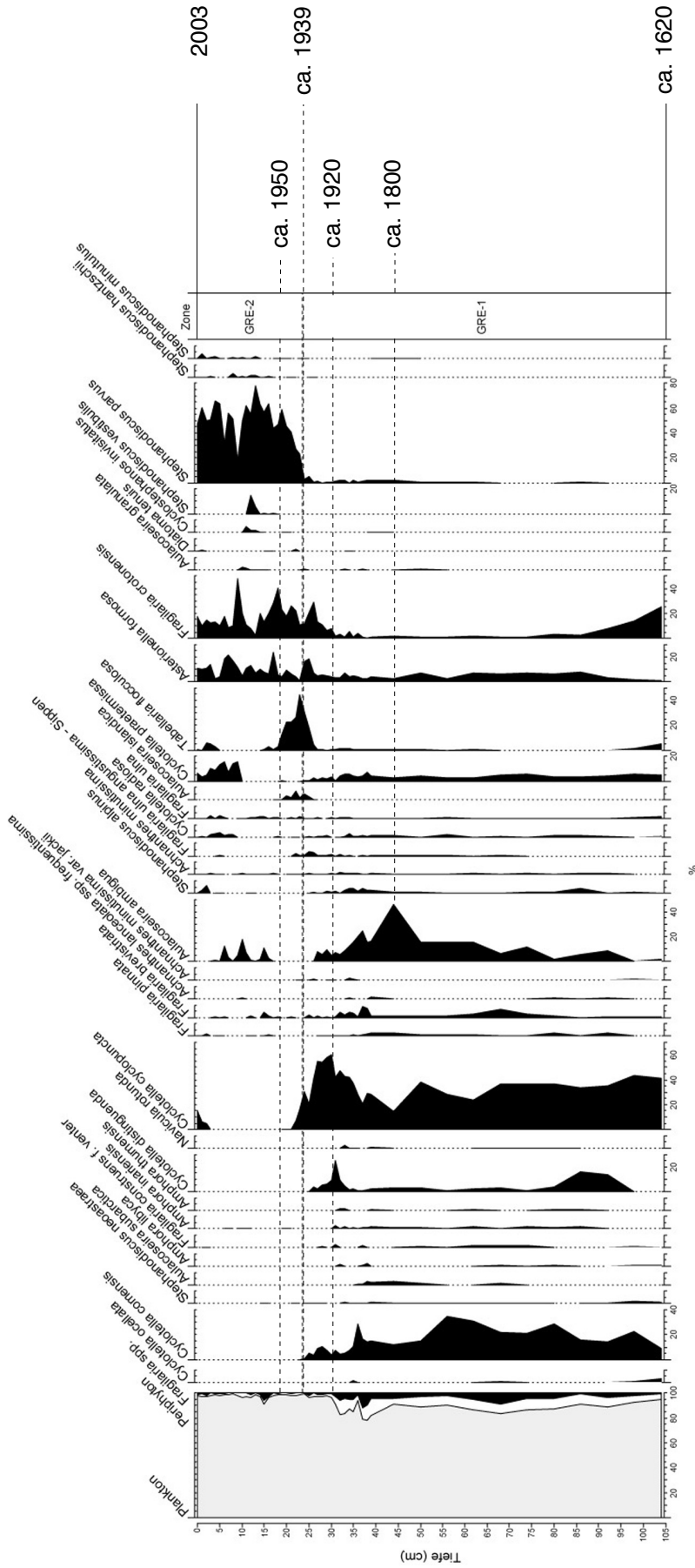
### 5.1 Kieselalgen-Stratigraphie

In dem 105 cm langen Sedimentkern GR03-4 wurden 51 Sedimentproben mit einer Schichtdicke von 1 cm Mächtigkeit untersucht. Die Häufigkeiten der wichtigsten Kieselalgenarten sowie die zeitliche Abfolge sind in Abbildung 4 im Sedimentprofil graphisch dargestellt. Die zeitliche Abfolge der vorgefundenen Kieselalgen illustriert als Ganzes die zivilisationsbedingte Eutrophierung des Greifensees, wobei mit dem 105 cm langen Sedimentkern die letzten rund 400 Jahre dokumentiert werden konnten. In Anhang A befindet sich die Kieselalgen-Zählliste.

Im Sedimentkern können zwei deutlich unterscheidbare Kieselalgenzonen charakterisiert werden. Die untere, d. h. ältere **Zone GRE-1 (ca. 1620 bis ca. 1939)** umfasst die Sedimentschichten unterhalb 24 cm Sedimenttiefe bis 105 cm Sedimenttiefe.

In der Kieselalgenzone GRE-1 traten über alle gezählten Proben hinweg 140 verschiedene Taxa auf, wobei 7 Taxa mehr als 10 % relative Häufigkeit (rH) und 45 Taxa mehr als 1 % rH erreichten. Diese Kieselalgenzone GRE-1 wird im wesentlichen durch *Cyclotella*-Arten dominiert. In Begleitung traten *Aulacoseira*-Arten und kleine *Fragilaria*-Arten auf. Bei den *Cyclotella*-Arten handelt es sich dabei um Vertreter, welche mehrheitlich oligo- bis mesotrophe Verhältnisse bevorzugen: *Cyclotella cyclopuncta*, *C. comensis*, *C. distinguenda*, *C. praetermissa* und *C. radiosa*. Ihre Anteile nehmen aber ab rund 1920 drastisch ab. Bei der in der ganzen Zone GRE-1 sehr häufig vorkommenden *Cyclotella comensis* dürfte es sich nach den Bestimmungsmerkmalen von Scheffler (1994) zumindest zu einem gewissen Teil auch um *Cyclotella pseudocomensis* handeln. Dieses Taxon tritt vom Frühjahr bis im Sommer im Plankton von Seen auf. Die Abgrenzung zwischen *Cyclotella comensis* und *Cyclotella cyclopuncta* war insbesondere bei erodierten und zerbrochenen Schalen schwierig zu ermitteln. Die Abgrenzung wurde von Fall zu Fall so gut wie möglich gemacht. Ähnlich lag die Situation bei Schalen um die Gruppe von *C. praetermissa* und *C. radiosa/compta*. Bei all den erwähnten *Cyclotella*-Formen war die Abgrenzung immer dann schwierig bis unmöglich, wenn infolge chemischer oder mechanischer Erosion oder infolge Überdeckung durch Störpartikel nicht die ganze Schale vorhanden oder einsehbar war. Neben den *Cyclotella*-Arten traten in der Zone GRE-1 gehäuft auch *Aulacoseira ambigua*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* auf. Bei den kleinen *Fragilaria*-Arten waren es *Fragilaria brevistriata*, *F. construens* f. *venter* und *F. pinnata*. Sie nahmen zusammen in einer Sedimentprobe bis zu 11 % relative Häufigkeit ein. Diese Arten bevorzugten mesotrophe Gewässer und treten ufernah auf. Als eigentliche Aufwuchsarten (= Algen, die auf Steinen, Sand oder Wasserpflanzen wachsen, also im Uferbereich vorkommen) erschienen in der Zone GRE-1 mit mehr als 2 % rH *Amphora inariensis*, *A. libyca*, *Achnanthes minutissima* und *Navicula rotunda*. Im weiteren bemerkenswerte Taxon waren: *Amphora thumensis*, *A. minutissima* var. *jackii*, *A. minutissima* var. *scotica*, *Brachysira procera* und *Mastogloia smithii* var. *lacustris*. Ihre Anteile waren aber mit weniger als 1 % rH gering. Viele der erwähnten Aufwuchsarten bevorzugten oligo- bis mesotrophe Verhältnisse.

Aufgrund der im Sediment des Greifensees vorgefundenen Kieselalgenarten darf angenommen werden, dass im Zeitraum von ca. 1620 bis ca. 1920 mehrheitlich **mesotrophe Verhältnisse** den Greifensee charakterisierten. Von rund 1920 bis in die 1930er-Jahre dürfte aber die Produktion aufgrund der sich damals schnell geänderten Kieselalgenzusammensetzung bereits höher gewesen sein, so dass von **schwach eutrophierten Bedingungen** ausgegangen werden kann.



Relative Häufigkeit der Kieselalgen [%]

Abb. 4. Kieselalgen im Sedimentkern GR03-4 des Greifensees und die aufgrund der Kieselalgengemeinschaften erhaltene Einteilung (stratigraphische Kieselalgenzonen GRE-1 und GRE-2). Kernentnahme am 24. April 2003. Darstellung des gesamten Sedimentkernes. Aufgeführt sind nur die prozentual wichtigsten Taxa.

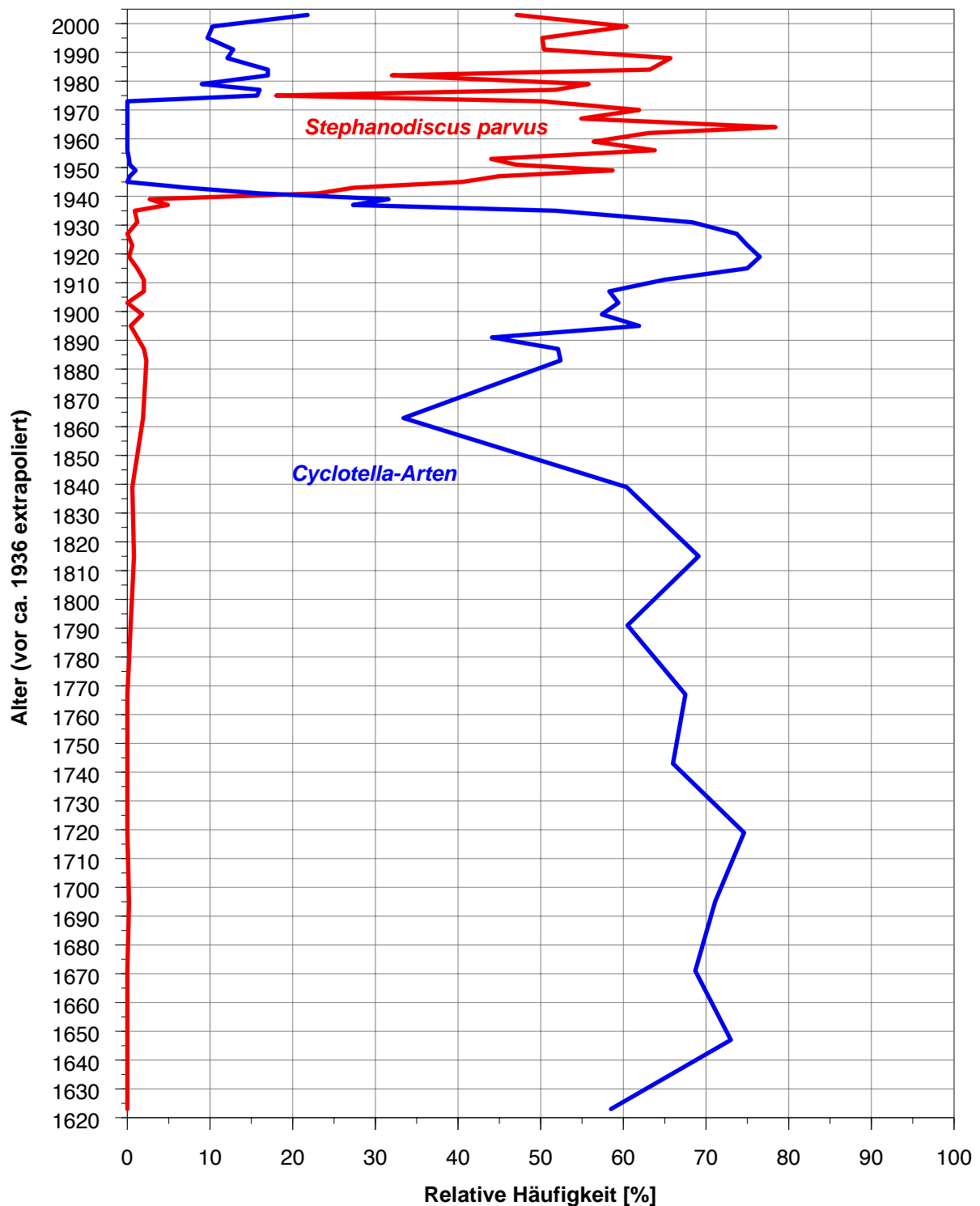
Grafik: Prof. Dr. André F. Lotter, University of Utrecht, Niederland.

Die **Zonen GRE-1** und **GRE-2** können durch eine Zwischenzone oder **Übergangszone** voneinander abgegrenzt werden. Sie umfasst die Sedimenttiefen 18-31 (**ca. 1920-1950**). Diese Zone ist geprägt durch den Wechsel der Kieselalgen-Lebensgemeinschaft. Während die *Cyclotella*-Arten sowie *Aulacoseira ambigua* an relativen Häufigkeiten verlieren, nehmen die Anteile der Kieselalgen *Stephanodiscus parvus*, *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella formosa* deutlich zu (Abb. 4). Dieser Wechsel von Arten der Gattung *Cyclotella* zum Taxon *Stephanodiscus parvus* begann ab ca. 1920 (= Maximum der *Cyclotella*-Arten, Abb. 5). Während dieses Artenwechsels trat im Plankton des Greifensees invasionsartig die Kieselalge *Tabellaria flocculosa* (früher als *T. fenestrata* benannt) und, wenn auch weniger häufig *Aulacoseira islandica* auf. Die maximale relative Häufigkeit erreichte *Tabellaria flocculosa* in der Sedimenttiefe 23-24 cm (= 1939-1941), also zu einem Zeitpunkt als der Greifensee bereits deutliche Belastungsanzeichen aufwies (grosse Fischsterben, Sauerstoffarmut im Tiefenwasser, Faulschlamm-Bildung). Während dieser Übergangszone wechselte der trophische Zustand des Greifensees von **mesotroph hin zu deutlich eutroph**.

Das Ablösen der *Cyclotella*-Dominanz durch Arten der Gattungen *Tabellaria*, *Fragilaria* und *Stephanodiscus* wurde auch im Rotsee (Lotter 1988) und im Baldeggersee (Lotter 1998) sowie in weiteren Seen der Schweiz festgestellt und auch als Zeichen der Eutrophierung interpretiert. Das invasive Aufkommen von *Tabellaria flocculosa* und *Aulacoseira islandica* während des Überganges vom mesotrophen zum deutlich eutrophen Zustand wurde bereits im Sempachersee beobachtet (AquaPlus 2004).

Die **Zone GRE-2 (ca. 1939 bis 2003)** umfasst die obersten Sedimenttiefen 24-0 cm. In dieser Zone dominiert *Stephanodiscus parvus*. Zusätzlich kommen mit ebenfalls hohen Anteilen *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella formosa* vor. Bemerkenswert ist zudem das kurze Erscheinen von *Aulacoseira granulata*, *Cyclostephanos invisitatus* und *Stephanodiscus vestibulis* während den 1970er Jahren. Diese Taxa treten vielfach mit *Stephanodiscus parvus* gemeinsam auf, jedoch mit deutlich geringem Anteil. Diese Arten bevorzugen ebenfalls eutrophe bis hypereutrophe Verhältnisse. Das Aufkommen der für hocheutrophe Verhältnisse typische Kieselalge *Stephanodiscus parvus* wurde bis jetzt in allen Seen des Mittellandes beobachtet. Die Art ist sehr klein (um 5  $\mu\text{m}$  Durchmesser) und kommt bevorzugt im Frühjahr in Massen auf. Auffällig und besonders erwähnenswert ist das erneute Aufkommen von zuerst *Cyclotella praetermissa* und *C. radiosa* (ab Sedimenttiefe 9-10 cm, nach ca. 1973-75) und dann von *Cyclotella cyclopuncta* (ab Sedimenttiefe 2-3 cm, nach ca. 1991-95) wie auch *Stephanodiscus alpinus* und *Tabellaria flocculosa*. Das erneute Erscheinen der *Cyclotella*-Arten wie auch der anderen beiden Taxa lassen erkennen, dass der maximale Nährstoffgehalt des Greifensees erreicht wurde und die Eutrophierung abnahm. Während der Artenwechsel von *Cyclotella*-Arten zu *Stephanodiscus parvus* in den 1930er-Jahren sich in recht kurzer Zeit vollzog, dürfte der gegenteilige Wechsel zurück zu den *Cyclotella*-Arten viel länger dauern. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass die nährstoffliebende *Stephanodiscus parvus*, welche im Frühjahr in Massen erscheint, auch bei tieferen Gesamtphosphorwerten wenig unter 30  $\mu\text{g/l}$  P noch konkurrenzfähig ist und erst geringe Anteile einnehmen wird oder ganz verschwindet, wenn der Gesamtphosphorgehalt über längere Zeit um 20  $\mu\text{g/l}$  P oder tiefer ist. Dieser Übergang von *Stephanodiscus parvus* zu *Cyclotella cyclopuncta* konnte im Türlensee bereits beobachtet werden (AquaPlus 2001).

Die Zone GRE-2 ist durch Kieselalgen geprägt, die unter hypereutrophen Verhältnissen ihr Optimum haben. Der Greifensee weist daher in den Jahren von ca. 1940 bis ca. 1995 einen **hypereutrophen Zustand** auf. Erst in den jüngsten Sedimentschichten sind Anzeichen vorhanden, die auf eine Ver-



**Abb. 5. Relativen Häufigkeiten von *Stephanodiscus parvus* sowie sämtlicher *Cyclotella*-Arten die im Sedimentkern GR03-4 des Greifensees vorkommen. Kernentnahme war am 24. April 2003.**

*Stephanodiscus parvus* ist typisch für eutrophe bis hocheutrophe Verhältnisse und die im Greifensee am häufigsten vorkommenden *Cyclotella*-Arten (*Cyclotella cyclopuncta*, *C. comensis*, *C. praetermissa*, *C. radiosa*, *C. distinguenda*) bevorzugen eher oligo- bis mesotrophe als höchstens schwach eutrophe Verhältnisse.



ringierung hinsichtlich des Nährstoffgehaltes schliessen lassen. Damit erreichte der Greifensee in den Jahren nach ca. 1995 wieder einen **eutrophen Zustand**.

## 5.2 Taxazahl und Diversität

Die Taxazahl und die Diversität, berechnet nach Shannon & Weaver (1949) geben einen Eindruck über die Entwicklung der Biodiversität im Sinne der Artenvielfalt (Abb. 6). Während die Taxazahl die Zahl der Kieselalgenarten ausdrückt, ist die Diversität ein Mass für die Vielfältigkeit einer Lebensgemeinschaft hinsichtlich ihrer Arten und Häufigkeiten. Eine Kieselalgen-Lebensgemeinschaft mit vielen aber keinen häufigen Arten weist eine grössere Diversität auf als eine Lebensgemeinschaft mit wenigen und stark dominierenden Arten.

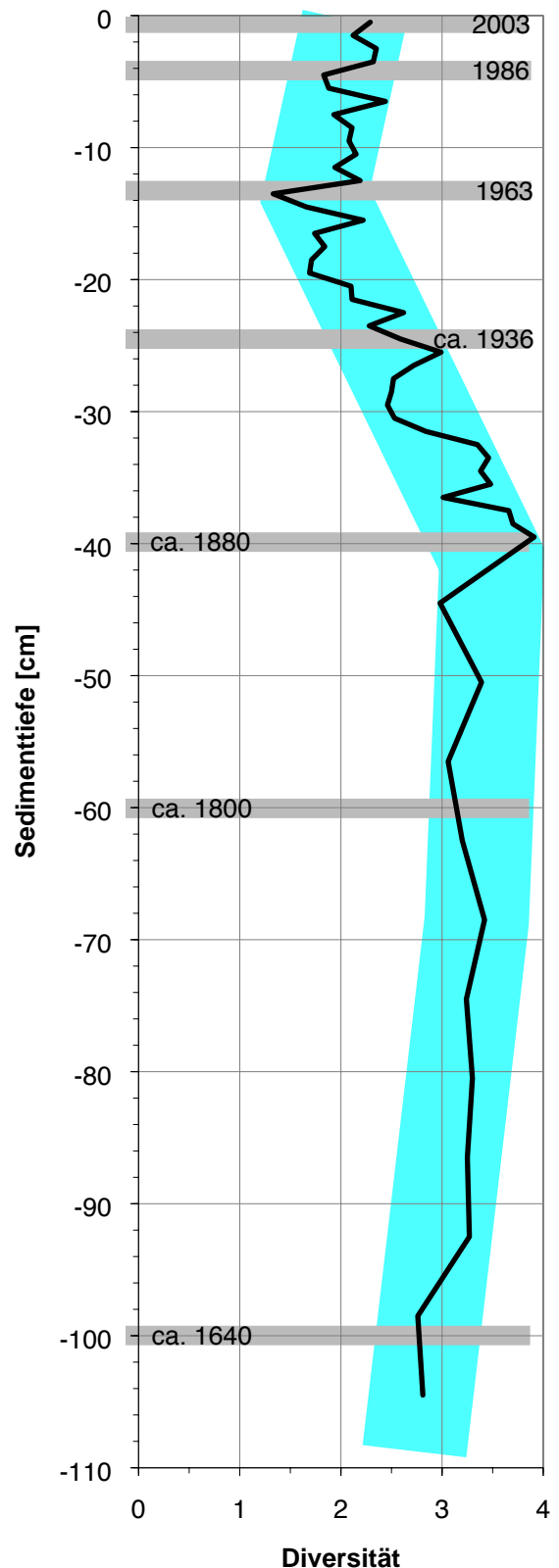
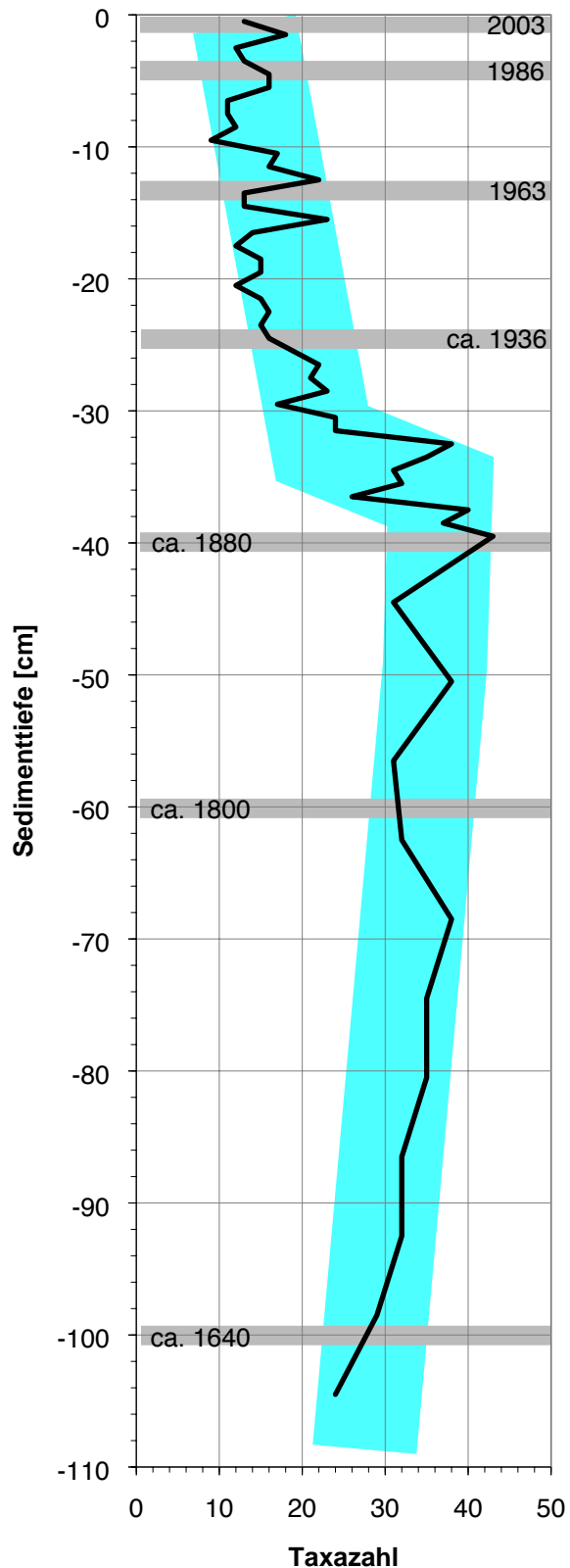
Im Greifensee wurden im Sediment im Rahmen der Zählungen insgesamt 161 Taxa gefunden. Pro Sedimentprobe lagen die Taxazahlen zwischen 9 und 43 Taxa und die Diversität wies Werte zwischen 1.3 und 3.9 auf. Vor ca. 1910 betrug die Taxazahl um 30 bis 40 Taxa und die Werte der Diversität um 3.0 oder mehr. Taxazahlen mit weniger als 20 Taxa traten ab ca. 1936 bis heute auf. Diversitäten mit Werten kleiner als 2.0 erschienen von ca. 1945 bis in die 1980er-Jahre. Anschliessend ab den 1990-er-Jahre traten wieder leicht erhöhte Diversitäten auf. Tiefe Taxazahlen und geringe Diversitäten sind Ausdruck dafür, dass wenige Arten (v.a. *Stephanodiscus parvus*) dominierten. So erreichte *Stephanodiscus parvus* ab ca. 1940 bis heute immer mindestens 20 % (bis 78 %) relative Häufigkeit.

## 5.3 Rekonstruktion der Gesamtphosphorkonzentration

### Allgemeine Bemerkungen

In Zusammenhang mit der Rekonstruktion des Gesamtphosphors soll in Erinnerung gerufen werden, dass die Zusammensetzung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften wohl wesentlich durch die Gesamtphosphorkonzentration des Wassers mitbestimmt wird, dass aber auch andere abiotische und biotische Faktoren die Kieselalgen-Lebensgemeinschaft qualitativ und quantitativ beeinflussen, so z.B. der biologisch verfügbare Siliziumgehalt (Si:P-Verhältnis), der Stickstoffgehalt sowie die Licht- und Temperaturverhältnisse, die Konkurrenz um diese Ressourcen und zwischen den Algengruppen sowie der Frassdruck.

Im weiteren wird die Güte der Rekonstruktion des Gesamtphosphors auch durch den Eichdatensatz selber bestimmt. Da im eigentlichen Kleinseen-Eichdatensatz Gewässer mit weniger als 6  $\mu\text{g/l P}$  oder mehr als 166  $\mu\text{g/l P}$  nicht vertreten waren, wurde der Datensatz durch Lotter et al. (1998) um Proben aus dem Rotsee der Jahre 1969-1986 (= 112-460  $\mu\text{g/l P}$ ) und des Baldeggersees der Jahre 1958-1988 (= 153-520  $\mu\text{g/l P}$ ) ergänzt. Damit konnte die Phosphorskala auf der hypereutrophen Seite zumindest um einige Datensätze erweitert werden. Insgesamt wies der totale Eichdatensatz folgende Anzahl Seen pro Trophieklasse auf: 1 See mit  $<10 \mu\text{g/l P}$  (= oligotrophe Seen), 37 Seen mit  $\geq 10$  und  $<30 \mu\text{g/l P}$  (= mesotrophe Seen), 27 Seen mit  $\geq 30$  und  $<100 \mu\text{g/l P}$  (= eutrophe Seen) und 14 Datensätze von 6 Seen mit  $\geq 100 \mu\text{g/l P}$  (= hypereutrophe Seen). Der Median sämtlicher Datensätze beträgt 31  $\mu\text{g/l P}$ . Damit wird ersichtlich, dass mit dem hier angewandten Verfahren der Rekonstruktion des



**Abb. 6. Entwicklung der Kieselalgen-Taxazahl und der Kieselalgen-Diversität im Greifensee (Sedimentkern GR03-4).**

Graue Balken = Zeitmarkierungen. Datierung durch Dr. Michael Sturm, EAWAG. Kernentnahme (24.4.2003 sowie 1986, 1963 und 1936 sind sichere Datierungen. Die restlichen Angaben unterhalb 25 cm (ca. 1936) sind geschätzt mit einer Sedimentationsrate von 2.5 mm / Jahr.  
 Hellblaue Fläche = Trend; Schwankungsbreite.

Gesamtphosphors mesotrophe und eutrophe Zustände sehr gut, der hypereutrophe Zustand mässig und der oligotrophe Zustand schlecht dargestellt werden können. Sehr hohe (hypereutroph mit  $>>100 \mu\text{g/l P}$ ) und sehr tiefe (oligotroph mit  $<10 \mu\text{g/l P}$ ) Phosphorzustände werden generell unterschätzt respektive überschätzt. Da mit dem angewandten Verfahren der Rekonstruktion jeweils ein Mittelwert und ein unterer und oberer Fehler angegeben wird, dürfte bei tiefen Phosphorkonzentrationen der Bereich unterhalb des Mittelwertes (bis zum unteren Fehler) und bei hohen Phosphorkonzentrationen der Bereich oberhalb des Mittelwertes (bis zum oberen Fehler) den effektiven Verhältnisse am ehesten entsprechen.

Da für die Rekonstruktion 1 cm mächtige Sedimentschichten verwendet werden, in welchen die Kieselalgen über mehrere Jahre akkumuliert werden, können die mit der Rekonstruktion erhaltenen Resultate (z.B. Gesamtphosphorwerte) kaum einer exakten Jahreszahl zugeordnet werden. So können mit diesem Verfahren Änderungen, die sich im Seeplankton innerhalb eines Jahres (jahrestzeitliche Dynamik) oder über wenige Jahre ereigneten, nicht aufgelöst werden.

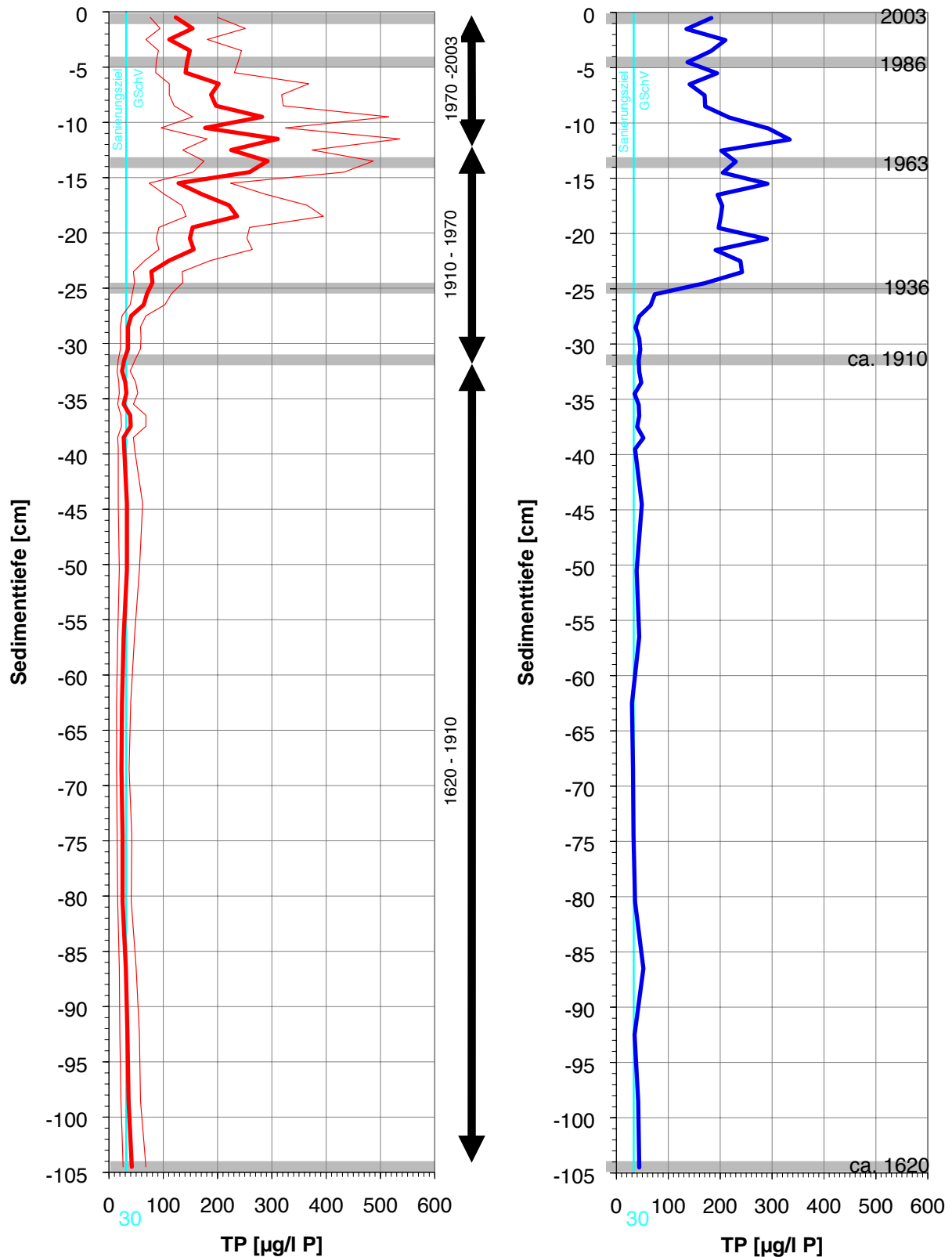
Die Rekonstruktion des Gesamtphosphors wurde mittels zwei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt (Kalibrationsdatenset/Phosphor-Transferfunktion und Analogatechnik, siehe Kapitel 4.2). Die Resultate der zwei Verfahren sind in Abbildung 7 dargestellt. Da mit dem Verfahren der Analogatechnik nicht durchgehend gute Analoga gefunden werden konnten, müssen die so rekonstruierten Gesamtphosphordaten vorsichtig interpretiert werden. Im Vergleich der beiden Verfahren zeigt sich, dass dasjenige der Analogatechnik (Abbildung 7, rechts) den Eutrophierungsschub um 1936 deutlicher angibt als das Verfahren mit der Phosphors-Transferfunktion. So steigt der Gesamtphosphorwert ab den 1930er-Jahren aufgrund der Analogatechnik sehr viel schneller an. Da in den anderen Mittellandseen für die Rekonstruktion des Gesamtphosphors das Verfahren des Kalibrationsdatensets/Phosphor-Transferfunktion verwendet wurde, wenden wir aus Gründen der Vergleichbarkeit auch beim Greifensee dieses Verfahren an. Die im folgenden besprochenen Gesamtphosphorwerte beruhen daher ausschliesslich auf dem Rekonstruktionsverfahren (Kalibrationsdatenset) von Lotter et al. (1998).

Vergleicht man die rekonstruierten Gesamtphosphorwerte der jüngsten Periode mit den **gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen** zur Zeit der Vollzirkulation im Frühjahr von 1951 bis heute, so ist erkennbar, dass die Übereinstimmung der hohen Phosphorwerte ( $> 200 \mu\text{g/l P}$ ) am besten ist mit den Werten des oberen Fehlers. Bei den tieferen Phosphorwerten ( $< 100 \mu\text{g/l P}$ ) ist die Übereinstimmung jedoch besser mit den Werten des unteren Fehlers (siehe Abbildung 8). Wir gehen daher davon aus, dass auch **in früheren Zeiten der Verlauf des unteren Fehlers** für den Greifensee massgebend ist.

Obwohl die Eutrophierung eines Sees ein fließender Prozess darstellt, versuchen wir im folgenden einzelne Zeitabschnitte zu besprechen. Dabei ist uns bewusst, dass die Abschnittsgrenzen fließend ineinander übergehen.

### **Zeitabschnitt von 1620 bis 1910**

Für diesen Zeitabschnitt von rund 300 Jahren indizieren die Kieselalgen einen gleichbleibenden mittleren Gesamtphosphorgehalt um  $20 \mu\text{g/l P}$  (= Wert des unteren Fehlers). Unter Berücksichtigung des Mittelwertes und des oberen Fehlers könnten in dieser Zeitperiode zumindest zeitweise durchaus auch Phosphorkonzentrationen von im Durchschnitt  $30 \mu\text{g/l P}$  und mehr vorhanden gewesen sein. In den 1890er-Jahren war der Gesamtphosphor leicht erhöht (Abb. 8). Die Ursachen für diese kurze Eutrophierung könnten in Zusammenhang mit dem Bau der Eisenbahnlinie und der Industrialisierung



**Abb. 7. Rekonstruktion der Entwicklung des Gesamtphosphors (TP) im Greifensee mit Hilfe von Kieselalgen im Sedimentkern GR03-4.**

Links: Rekonstruktion mittels Kalibrationsdatenset nach Lotter et al. (1998); Mittelwert (dicke Linie) sowie oberen und unteren Fehler (dünne Linie).

Rechts: Rekonstruktion mittels Analogetechnik MAT (gewichteter TP).

Graue Balken = Zeitmarkierungen. Datierung durch Dr. Michael Sturm, EAWAG. Kernentnahme (24.4.2003 sowie 1986, 1963 und 1936 sind sichere Datierungen. Die restlichen Angaben unterhalb 25 cm (ca. 1936) sind geschätzt mit einer Sedimentationsrate von 2.5 mm / Jahr.

Senkrechte schwarze Doppelpfeile = im Text besprochene Zeitabschnitte.

stehen. Anschliessend hat sich der trophische Zustand des Greifensees bis ca. 1910 nochmals geringfügig verbessert.

**Der Greifensee wies von 1620 bis 1910 aufgrund der im Sediment eingelagerten Kieselalgen eine mittlere Algenproduktion (mesotroph) auf. Der Gesamtphosphorgehalt während der Vollzirkulation im Frühling dürfte damit gemäss Rekonstruktion um 20 µg/l P gewesen sein. Die damals noch aeroben Sedimentschichten bestätigen zudem, dass der See in diesem Zeitraum noch nicht eutroph war.**

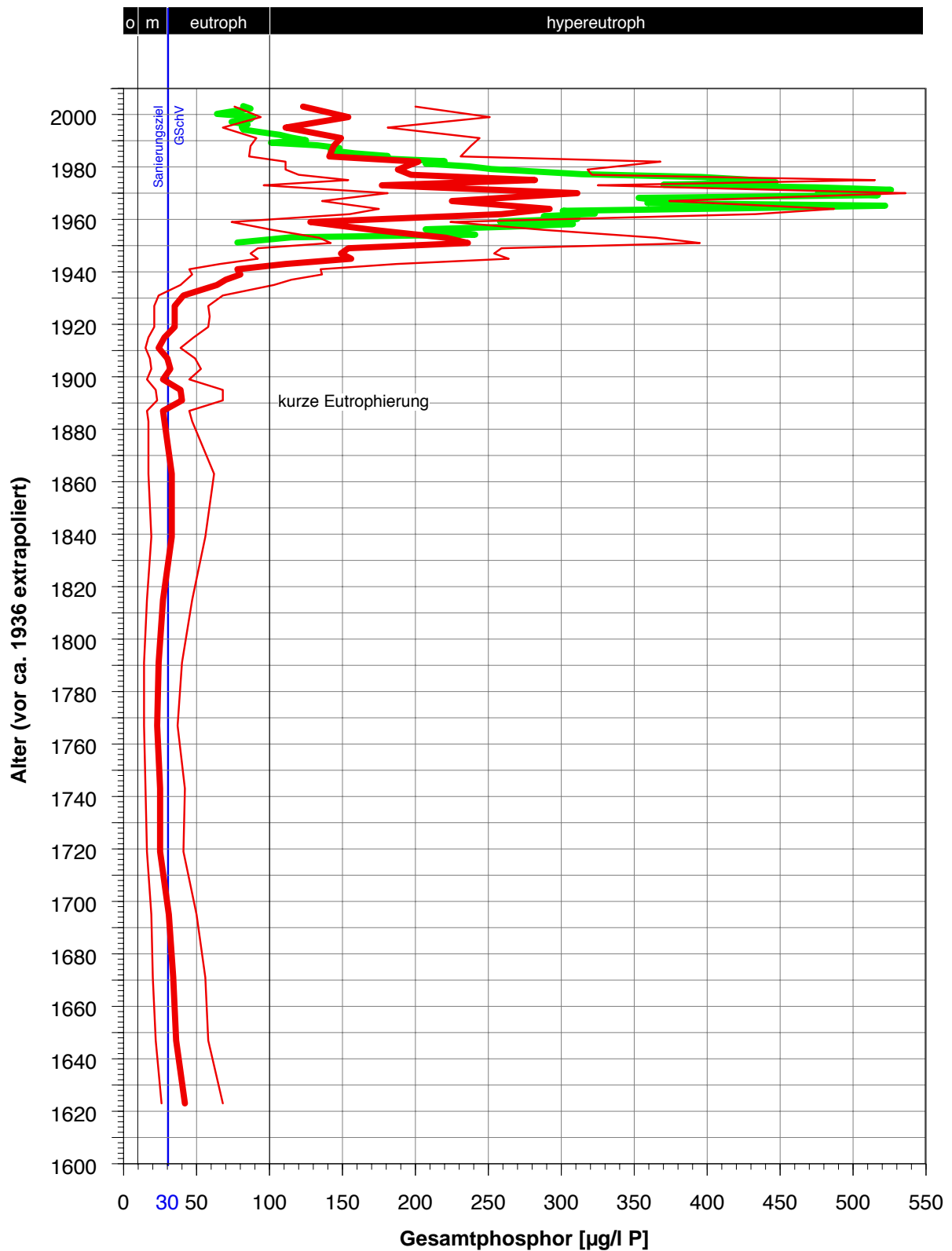
### **Zeitabschnitt von 1910 bis 1970**

In den Jahren von 1910 bis rund 1930 erhöhte sich die Gesamtphosphorkonzentration aufgrund der Rekonstruktion von etwas unter 20 µg/l P (unterer Fehler) in den Bereich von 25-70 µg/l P (unterer bis oberer Fehler). Konzentrationen von deutlich über 30 µg/l P traten gemäss Rekonstruktion in den 1930er-Jahren auf (Abb. 8). Zu diesem Zeitpunkt begann aufgrund der Sedimentanalyse und der Datierung auch die Phase der **anaeroben Sedimente** (Eutrophierung, siehe Kapitel 3.2 und 4.1 und Abbildung 3). Anschliessend nahm die Gesamtphosphorkonzentration sehr rasch und stark zu, bis 1970 aufgrund der Rekonstruktion der maximale Gesamtphosphorgehalt erreicht wurde. Im Jahre 1970 war der rekonstruierte Gesamtphosphor basierend auf dem oberen Fehler bei 536 µg/l P und bezüglich des Mittelwertes bei 311 µg/l P. Gesamtphosphorkonzentrationen von mehr als 400 µg/l P traten gemäss Rekonstruktion (oberer Fehler) in den Jahren 1962-75 auf. Aufgrund der gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen während der Frühjahreszirkulation trat im Greifensee das Maximum im Jahre 1971 mit 526 µg/l P auf und mehr als 400 µg/l P wurde in den Jahren 1964-75 erreicht. Aufgrund des Vergleichs der rekonstruierten mit den gemessenen Phosphorwerten ist ersichtlich, dass nur der obere Fehler den absoluten Anstieg der Phosphorkonzentration realistisch wiedergibt. Der Mittelwert liegt deutlich zu tief.

**Basierend auf den im Sediment eingelagerten Kieselalgen erreichte der Greifensee in den 1930er-Jahren eine hohe (eutrophe) und anschliessend eine sehr hohe (hypereutrophe) Algenproduktion. Die absoluten Phosphorkonzentrationen werden aber mit dem Mittelwert der Rekonstruktion deutlich unterschätzt. Nur unter Verwendung des oberen Fehlers der Rekonstruktion werden im Vergleich mit den gemessenen Phosphorwerten realistische Grössen eruiert. Von 1965 bis 1975 lagen gemäss Rekonstruktion (oberer Fehler) sowie aufgrund der Messungen die Gesamtphosphorkonzentration während der Vollzirkulation im Frühling mehrheitlich bei über 400 µg/l P. Die maximale Gesamtphosphorkonzentration dürfte anfangs der 1970er-Jahre erreicht worden sein und gemäss oberer Fehler mehr als 500 µg/l P betragen haben.**

### **Zeitabschnitt von 1970 bis 2003**

Nachdem der Maximalwert gemäss Rekonstruktion um 1970 erreicht wurde, verbesserte sich der Gesamtphosphorgehalt aufgrund der externen Sanierungsmassnahmen deutlich (siehe auch Kapitel 3.2). So sank die Gesamtphosphorkonzentration gemäss Rekonstruktion von 536 µg/l P (um 1970, Werte oberer Fehler) auf 76-94 µg/l P (1999-2003, Werte unterer Fehler), respektive auf 123-154 µg/l P (1999-2003, Mittelwert). Da für die Rekonstruktion 1-cm-mächtige Sedimentproben verwendet werden, repräsentiert die jüngste 1-cm-Schicht den Zeitraum von 1999 bis anfangs 2003. Basierend auf den chemischen Messungen im See während der Vollzirkulation im Frühling ereignete sich derselbe



**Abb. 8. Zusammenfassende Darstellung der trophischen Entwicklung im Greifensee basierend auf den im Sediment eingelagerten Kieselalgen.**

Rote Kurven: Rekonstruktion der Gesamtphosphor-Konzentration während der Frühjahrszirkulation basierend auf dem Kalibrationsset nach Lotter et al. (1998). Mittelwert (dicke rote Kurve), unterer und oberer Fehler (= dünne rote Kurven). Grüne Linie: Gemessene mittlere Gesamtphosphorkonzentrationen während der Frühjahrszirkulation (Daten AWEL ZH).

Trophieangaben nach OECD-Studie (aus Lampert & Sommer 1993, Seite 375), o = oligotroph, m = mesotroph.



stetige Rückgang des Gesamtphosphorgehaltes, wobei in den Jahren 1999-2003 die Gesamtphosphorkonzentrationen bei 64-89  $\mu\text{g/l P}$  lagen.

**Aufgrund der im Sediment eingelagerten Kieselalgen wies der Greifensee von anfangs der 1970er-Jahre bis vermutlich in die späten 1980er-Jahre Gesamtphosphorkonzentrationen von  $>100 \mu\text{g/l P}$  (hypereutroph) auf. Die daraus abgeleitete Algenproduktion war demnach in dieser Zeitperiode sehr hoch. Im Zeitraum von 1990 bis 2003 betrug dann die Gesamtphosphorkonzentration im Greifensee während der Vollzirkulation im Frühling aufgrund der Rekonstruktion basierend auf dem unteren Fehler weniger als  $100 \mu\text{g/l P}$  und basierend auf dem Mittelwert um  $110-155 \mu\text{g/l P}$  (oberer Fehler:  $180-250 \mu\text{g/l P}$ ). Aufgrund der rekonstruierten wie auch der gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen und unter Berücksichtigung der noch dominierenden Kieselalge *Stephanodiscus parvus* befand sich der Greifensee im Jahre 2003 noch in einem deutlich eutrophen bis hypereutrophen Zustand.**

## 6. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie über die 'Entwicklung des Gesamtphosphors im Greifensee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen' hatte zum Ziel, den Trophiegrad und den Gesamtphosphorgehalt des Greifensees in der Zeit zurückzuverfolgen. Die Untersuchung ist von Interesse, weil der Nährstoffzustand des Greifensees sich über Jahrzehnte stark verändert hatte und weil der Gesamtphosphorgehalt infolge der getroffenen Gewässerschutzmassnahmen seit den 1970er-Jahre bis ca. 1996 markant sank und nun einen Gleichgewichtszustand erreicht hat.

Mit der vorliegenden Rekonstruktion des Gesamtphosphors konnte die jüngste Entwicklung wie auch diejenige seit rund 1620 aufgezeigt werden. Der Verlauf der rekonstruierten Gesamtphosphorkonzentration stimmt mit den chemischen Erhebungen des Gesamtphosphors des Zeitraumes von 1951 bis 2003 überein, sofern im Bereich von  $> 200 \mu\text{g/l P}$  die rekonstruierten Phosphorwerte des oberen Fehlers und bei  $< 100 \mu\text{g/l P}$  diejenigen des unteren Fehler verwendet werden (Abb. 8). Diese Unterschätzung von effektiv sehr hohen Phosphorkonzentrationen im hypereutrophen Bereich und die Überschätzung von sehr tiefen Phosphorkonzentrationen im oligotrophen Bereich hat im wesentlichen zwei Gründe:

- 1.) Der Eichdatensatz enthält wenig Seen mit sehr tiefen und sehr hohen Phosphorwerten (vgl. Kapitel 5.3 'allgemeine Bemerkungen').
- 2.) Die einzelnen Kieselalgenarten haben unterschiedliche Toleranzen gegenüber dem Gesamtphosphor. Grundsätzlich dürften Taxa, welche im eutrophen und hypereutrophen Bereich vorkommen, eine viel grössere ökologische Spannweite aufweisen, als Taxa im mesotrophen und oligotrophen Bereich. Damit wird die Genauigkeit der Rekonstruktion mit zunehmendem Phosphorwert ungenauer.

Um die Genauigkeit der Rekonstruktion zu erhöhen, wäre es demnach wünschenswert, dem Eichdatensatz möglichst viele hypereutrophe und oligotrophe Datensätze zuzufügen.

Neben dieser reinen Rekonstruktion sind aber auch ökologische Sanierungsziele abzuleiten.

Die vorliegende Studie führt zu folgenden Resultaten:

### **Sedimentationsraten**

Der Greifensee weist aufgrund des Sedimentkernes GR03-4 im Zeitraum von 1936 bis 2003 Sedimentationsraten von 2.3 bis 3.4 mm/Jahr auf (Kapitel 4.1 und Tabelle 3). Für die Periode vor 1936 wurde eine Sedimentationsrate von 2.5 mm/Jahr angenommen. Dies ist bis zu 26 % niedriger als in der Zeitperiode nach 1936. Diese Sedimentationsrate ist aber nicht abgesichert. Alle vor 1936 gemachten Zeitangaben sind daher mit Fehlern behaftet. Grosse Rutschungen oder Hochwasserereignisse, während welchen der Sedimentzuwachs grösser war, waren nicht ersichtlich und können auch eher ausgeschlossen werden, da das Einzugsgebiet des Greifensees keinen eigentlichen hochwasser geprägten Zufluss hat (siehe Abb. 3). Auch aufgrund der Kieselalgendichte (z.B. erkennbar an Phasen mit geringer Kieselalgendichte) sowie der Artenzusammensetzung (z.B. erkennbar am hohen Anteil von Aufwuchsarten) konnten keine ausgedehnten Turbidite erkannt werden (Abb. 4, Anhang A). Der in Abbildung 4 dargestellte Anteil an Aufwuchsarten (Periphyton), welche entlang des Ufers leben, war wohl vor 1939 wenig erhöht. Dieser höhere Anteil war aber vermutlich bedingt durch die damals noch geringere Primärproduktion, so dass der Anteil der Plankter geringer und derjenige der Uferalgen grösser war.

### **Entwicklung der Gesamtphosphor-Konzentration und des Trophiegrades (Abbildung 8)**

Aufgrund der im Sediment vorgefundenen Kieselalgen kann abgeleitet werden, dass sich der Greifensee von 1620 bis 1910, mit Ausnahme einer kurzen Phase einer leichten Eutrophierung in den 1890er-Jahre, in einem **mesotrophen Zustand** (mittlere Algenproduktion) befand. Während dieser Zeit waren im See viele verschiedene Kieselalgenarten vorhanden (hohe Taxazahl und Diversität). Im Freiwasser (Plankton) waren insbesondere *Cyclotella cyclopuncta*, *C. comensis/pseudocomensis*, *C. distinguenda*, *C. praetermissa* und *Aulacoseira ambigua* wie auch *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* vorhanden. Die erwähnten Arten der Gattung *Cyclotella* bevorzugen oligo- bis mesotrophe Seen. In Zusammenhang mit einer Untersuchung der Kieselalgen im Uferbereich des Greifensees, welche im Jahre 1996 durchgeführt wurde, konnte mittels historischen Proben aus den Jahren 1847, 1849 und 1905 (alles Uferproben) auch der damalige Trophiegrad abgeleitet werden (AquaPlus 1997). Es ergab sich aufgrund dieser Betrachtung für den Uferbereich einen oligo- bis knapp mesotrophen Zustand, wobei die Probe von 1905 (vor Riedikon entnommen) als knapp mesotroph bezeichnet wurde.

Im Laufe des beginnenden 20. Jahrhunderts hat sich dann der Zustand des Greifensees bis in die 1930er-Jahre langsam aber stetig verschlechtert. Die Zusammensetzung der Kieselalgen änderte sich und die Biodiversität (Taxazahl, Diversität) nahm ab. Diese Anzeichen der Zustandsverschlechterung sind auch in verschiedenen Publikationen dargelegt (Tab. 2). Ab den 1930er-Jahren, ab 1950 belegt mit chemischen Messdaten (Abb. 1), vollzog sich dann eine rasante Eutrophierung, welche um 1970 das Maximum erreichte (hypereutropher Zustand, sehr hohe Algenproduktion). Zu diesem Zeitpunkt dominierte *Stephanodiscus parvus*, eine kleine centrische Kieselalge, die im Frühjahr bei hohen Nährstoffkonzentrationen grosse Zelldichten erreichen kann. Der Bau der Kläranlagen sowie deren Ausbau (3. und 4. Stufe) und weitere Gewässerschutzmassnahmen (z.B. Waschmittel-Phosphatverbot), bewirkten dann einen deutlichen Rückgang des Gesamtphosphors und damit auch des Trophiegrades. Der Greifensee befand sich aber zur Zeit der Kernentnahme im Jahre 2003 immer noch

in einem eutrophen bis hypereutrophen Zustand. Gemäss den laufenden chemischen Messungen befindet sich der Greifensee seit ca. 1996 in einem Gleichgewichtszustand (64-89  $\mu\text{g/l P}$ ).

### **Sanierungsziele**

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse kann der Zustand des Greifensees bis vor 1910 folgendermassen umschrieben werden:

- 1.) Gesamtposphorkonzentration während der Frühjahreszirkulation von rund 20  $\mu\text{g/l P}$ ,
- 2.) höchstens eine mittlere Algenproduktion (mesotroph)
- 3.) und aerobe Sedimente.

Die Kieselalgenzusammensetzung des Greifensees war aufgrund dieses Zustandes geprägt durch:

- 4.) die hohen Anteile von *Cyclotella comensis/pseudocomensis* und *Cyclotella cyclopuncta*, begleitet von *C. distinguenda*, *C. pratermissa* und *Aulacoseira ambigua*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis*.
- 5.) das Fehlen oder dem höchstens sehr geringen Vorkommen von *Stephanodiscus parvus*.
- 6.) und im Uferbereich durch das Vorhandensein von Kieselalgenarten, welche geringe Nährstoffgehalte bevorzugen.

Basierend auf diesen chemischen und biologischen Charakterisierungen (Gesamtposphorkonzentration, Algenproduktion, Sedimentbeschaffenheit, Kieselalgenzusammensetzung) kann **der ökologische Zustand des Greifensees vor 1910 als anzustrebendes Sanierungsziel** bezeichnet werden.

## 7. Verdankungen

Wir möchten den unten aufgeführten Personen ganz herzlich für Ihr Engagement und ihre stete Bereitschaft zum Gelingen der Arbeit beizutragen danken. Es waren dies:

Pius Niederhauser, AWEL Zürich (Auftraggeber, Literatur, Präparation der Kieselalgen),  
Alois Zwysig, EAWAG (Kernentnahme, Laboraufbereitung des Kernes),  
Michael Sturm, EAWAG (Kernentnahme, Datierung),  
André Lotter, Universität Utrecht (Phosphor-Rekonstruktion),  
Rolf Klee, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (REM-Aufnahmen).

## 8. Literaturverzeichnis Bericht (alphabetische Liste)

- Ambühl, H. 1995: Die Feinstruktur jüngster Sedimente von Seen verschiedenen Trophiegrades und von Seen in technischer Sanierung. In: Ambühl, H. (ed). Limnologische Berichte Donau 1994 der Int. Arbeitsgem. Donauforschung, Bd. II, Dübendorf, Wien 101-126.
- AquaPlus 1997: Trophieprojekt. Charakterisierung und Beurteilung der Nährstoffbelastung (Trophiestatus) von Türlerseer-, Hüttnersee-, Greifensee- und Walensee-Uferabschnitten anhand der Kieselalgenflora, Kt. Zürich. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, 1-30 + Anhang.
- AquaPlus (2001): Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlerseersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Rekonstruktion seit 1750. Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft.
- AquaPlus (2004): Entwicklung des Gesamtphosphors im Sempachersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Rekonstruktion seit ca. 1600. Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern.
- Birks, H.J.B. & Gordon, A.D. (1985): Numerical methods in Quaternary pollen analysis. Academic Press, London, 317 Seiten.
- Fehlmann, W. 1915: Gutachten betreffs der Fischereiverhältnisse im Greifensee und Aabach, unveröffentlicht.
- Guyer, O. 1911: Beiträge zur Biologie des Greifensees mit besonders Berücksichtigung der Saisonvariation von *Ceratium hirundinella*. Diss. der Eidg. polytechnischen Schule in Zürich (Arbeit aus dem Bot. Museum des Eidg. Polytechnikum, Zürich), 1-96 + Anhang.
- Hausmann, S. & Kienast, F. (2000?): Independent annually diatom-inferred phosphorus and temperature reconstructions validated by instrumental records. *Journal of Paleolimnology*, Manuskript, 75-112.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986-1991): Bacillariophyceae. In: Ettl H. Gerloff J. Heynig H. & Mollenhauer D. (eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 1-4, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kupper, U. 1992: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.) 75 S.
- Kupper, U. 1994: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 69 S.
- Kupper, U. 1996: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 69 S.
- Kupper, U. 1998: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 67 S.
- Lotter, A.F. (1988): Paläoökologische und paläolimnologische Studie des Rotsees bei Luzern. J. Cramer Verlag, Berlin, 1-187.
- Lotter, A.F. (1998): The recent eutrophication of Baldeggersee (Switzerland) as assessed by fossil diatom assemblages. *The Holocene* 8 (4): 395-405.
- Lotter, A.F. Birks, J. Hofmann, W. & Marchetto, A. (1998): Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *J. Paleolimnol.* 19: 443-463.
- Lotter, A. 2001: The effect of eutrophication on diatom diversity: examples from six Swiss lakes. Lange-Bertalot-Festschrift, Jahn, R. Kociolek, J. Witkowski, A. Compère, P. (eds). A.R.G. Ganter Verlag K.G.: 417-432.
- Märki, E. 1944: Chemische, physikalische und bakteriologische Untersuchungen am Greifensee. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* 54: 75-140.
- Märki, E. (1949): Die Limnologie der schweizerischen See und Flüsse. Zusammenstellung der Literatur seit 1900. *Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie* 11 (3/4): 650-707.
- Minder, L. 1918: Bericht und Gutachten über chemische Untersuchungen des Greifensees z.H. der Finanzdirektion des Kantons Zürich, 31 S.
- Mühlethaler, E., Gelpke, G., Schneider, S. & König Urmi, K. 1993: Der Greifensee. Eine Dokumentation. Verband zum Schutze des Greifensees. 72 S.
- Niederhauser, P., Meier, W. & Känel, B. 2001: Oberflächengewässer. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 72 S.

- Overpeck, J. Webb, T. & Prentice, I. (1985): Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quaternary Research* 23: 87-108.
- Scheffler, W. (1994): *Cyclotella pseudocomensis* nov. sp. (Bacillariophyceae) aus norddeutschen Seen. *Diatom Research* 9 (2): 355-369.
- Shannon, C. & Weaver, W. (1949): *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press. Urbana.
- Silberschmidt, T. 1916: Gutachten betreffs Greifensee und Aabach vom 8. Januar 1916, unveröffentlicht.
- Thomas, E.A. 1944: Biologische Untersuchungen am Greifensee. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* 54: 141-196.
- Thomas, E.A. 1953: Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung. Empirische und experimentelle Untersuchungen zur Kenntnis der Minimumstoffe in 46 Seen der Schweiz und angrenzender Gebiete. *Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- Wasserfachmännern* Nr. 2/3, 15 S.
- Thomas, E.A. 1976: Extreme Sauerstoffminima im Greifensee. Mitwirkung meteorologischer Faktoren. *Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich* 121 (2): 179-186.
- ter Braak, C.J.F. & Juggins, S. (1993): Weighted averaging partial least squares regression (WAPLS): an improved methode for reconstructing environmental variables from species assemblages. *Hydrobiologia* 269/270: 485-502.
- Züllig, H. 1982: Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Entfaltungen. *Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie* 44 (1): 1-98.
- Züllig, H. 1988: Waren unsere Seen früher wirklich rein? Anzeichen von Früheutrophierung gewisser Seen im Spiegel jahrtausendealter Seeablagerungen. *Gas - Wasser - Abwasser* 68 (1): 17-32.

## 9. Literaturverzeichnis Greifensee (chronologische Liste)

- Guyer, O. 1911: Beiträge zur Biologie des Greifensees mit besonders Berücksichtigung der Saisonvariation von *Ceratium hirundinella*. Diss. der Eidg. polytechnischen Schule in Zürich (Arbeit aus dem Bot. Museum des Eidg. Polytechnikum, Zürich), 1-96 + Anhang.
- Fehlmann, W. 1915: Gutachten betreffs der Fischereiverhältnisse im Greifensee und Aabach, unveröffentlicht.
- Finanzdirektion des Kts. Zürich 1916: Kreisschreiben z.H. der Gemeinderäte und Gesundheitskommissionen zu Uster, Wetzikon und Seegräben, sowie an die Inhaber industrieller Betriebe von Niederuster am Aabach bis Robenhausen betr. Verunreinigung von Aabach und Greifensee; vom 28. Juli 1916.
- Silberschmidt, T. 1916: Gutachten betreffs Greifensee und Aabach vom 8. Januar 1916, unveröffentlicht.
- Minder, L. 1918: Bericht und Gutachten über chemische Untersuchungen des Greifensees z.H. der Finanzdirektion des Kantons Zürich, 31 S.
- Neuweiler, E. 1925: Pflanzenreste aus den Pfahlbauten vom Hausensee, Greifensee und Zürichsee. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich 70: 225-233.
- Waser, E. Blöchliger, G. & Lieber A. 1935: Der Aabach, Seewasser und Abwasser von Pfäffikon (Zch.). Untersuchungen der öffentlichen Gewässer des Kantons Zürich II, 1-62.
- Blöchliger, G. 1936: Burgunderblut im Greifensee. Schweiz. Schweiz. Fischereizeitung 44: 299.
- Frei, E. 1936: Geologische Kartenskizze des Gebietes zwischen Zürichsee und Greifensee 1:33'500. Geologisches Institut, Zürich, 1 Karte.
- Baudirektion Zürich 1938: Inhalte der 3 Seen im Kanton Zürich. Greifen-, Pfäffiker- und Zürichseeevolumen. Tabelle der Kantonalen Baudirektion, Abteilung Wasserbau & Wasserrecht, Zürich.
- Schneider, C. 1939: Die Skelette aus den Alamannengräbern des Zürichsee-, Limmat- und Glattales. Eine anthropologische Untersuchung. Dissertation Universität Zürich, 148 S.
- Thomas, E.A. 1942: Untersuchungen am Greifensee und am Pfäffikersee. Schweiz. Fischereizeitung 2: 1-7
- Thomas, E.A. 1943: Beitrag zur Kenntnis des Planktons dreier Zürcher Seen. Schweiz. Z. Hydrol. 9 (1/2): 34-49.
- Thomas, E.A. 1944: Biologische Untersuchungen am Greifensee. Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft 54: 141-196.
- Märki, E. 1944: Chemische, physikalische und bakteriologische Untersuchungen am Greifensee. Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft 54: 75-140.
- Märki, E. 1949: Die Limnologie der schweizerischen See und Flüsse. Zusammenstellung der Literatur seit 1900. Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie 11 (3/4): 650-707.
- Thomas, E.A. 1955: Stoffhaushalt und Sedimentation im oligotrophen Aegerisee und im eutrophen Pfäffiker- und Greifensee. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. suppl. 8: 357-465.
- Wildi, P. 1963: Technische Aspekte der Behandlung und Ableitung von Tiefenwasser aus Seen. Verbandsbericht VSA 77/4: 1-7 (Sonderdruck aus: "Hoch- u. Tiefbau", Schweiz. Baumeister- und Zimmermeister-Zeitung Zürich Nr. 12).
- Zimmermann, H. 1966: Zur postglazialen Sedimentation im Greifensee. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich 111 (1): 1-22.
- Thomas, E.A. 1967: Die Phosphat-Hypertrophie der Gewässer. Notwendigkeit und technische Möglichkeit der Zufuhr-Drosselung. Chemisch Weekblad 63 (26/27): 305-319.
- Thomas, E.A. 1968: Der Eutrophierungsvorgang bei den Seen Zentraleuropas. Wasser- Energiewirtschaft 60 (4/5): 115-125.
- Thomas, E.A. 1968: Fischsterben in Seeabflüssen durch Hyperphotosynthese, Manuskript.
- Pleisch, P. 1970: Die Herkunft eutrophierender Stoffe beim Pfäffiker- und Greifensee. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich 115 (2): 127-229.
- Glauser, O., Mattenberger, H.A. & Peyer A. 1972: Dokumentation 1972. Verband zum Schutz des Greifensees, 9 S., inkl. diverse Zeitungsartikel.
- Thomas, E.A. 1973: Pfäffikersee und Greifensee bei Winteranfang 1973/74. Der Zürcher Oberländer, 31. Dezember 1973, S. 13 und 3. Januar 1974, S. 13.
- Pleisch, P., Mattenberger, H.A. & Peyer, A. 1975: Dokumentation 1975. Verband zum Schutz des Greifensees, 31 S.
- Thomas, E.A. 1975: Limnologische Untersuchungen am Greifensee. Verband zum Schutz des Greifensees, Dokumentation 1975, 7 S.

- Müller, P. 1976: Die Primärproduktion des epilithischen Aufwuchses und des Phytoplanktons am Ufer des eutrophen Greifensees. Diss. Universität Zürich, 69 S.
- Thomas, E.A. 1976: Extreme Sauerstoffminima im Greifensee. Mitwirkung meteorologischer Faktoren. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich 121 (2): 179-186.
- Ambühl, H. 1977: Überblick über den Zustand der Schweizerischen Oberflächengewässer. Gas - Wasser - Abwasser 57 (1): 27-32.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich 1978: Weitergehende Gewässerschutzmassnahmen im Einzugsgebiet des Greifen- und Pfäffikersees. Orientierungsveranstaltung vom 29. Juni 1978.
- Imboden, D.M. & Gächter, R. 1978: A dynamic lake model for trophic state prediction. Ecological Modelling 4: 77-98.
- Maag, C. 1978: Die kommenden Gewässerschutzaufgaben im Kanton Zürich. Gas - Wasser - Abwasser 58 (3): 160-165.
- Soracreppa, B. 1978: Jahreszeitliche Veränderungen von Wasserchemismus und Phykozönosen in zehn Seen der Umgebung von Zürich. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich 123: 161-235.
- Bürgi, H.R., Bührer, H., Bloesch, J. & Szabo, E. 1979: Der Einfluss experimentell variiertes Zooplanktondichte auf die Produktion und Sedimentation im hocheutrophen See. Schweiz. Z. Hydrol. 41 (1): 38-63.
- Bührer, H. & Ambühl, H. 1982: Die Belastung des Greifensees mit Nährstoffen in den Jahren 1978 und 1979. EAWAG Jahresbericht 1982, 41-42.
- Thomas, E.A. & Örn, C.G. 1982: Eisbedeckung und hypolimnische Sauerstoffanreicherung im Greifensee von 1950 bis 1980. Schweiz. Z. Hydrol. 44 (1): 117-148.
- Züllig, H. 1982: Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Entfaltungen. Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie 44 (1): 1-98.
- Sturm, M., Lee, C. & McKenzie, J. 1983: Der Abbau von Sedimentfallenmaterial im Epilimnion des Greifensees. EAWAG Jahresbericht 1983, 56-57.
- Bürgi, H.R., Bührer, H. & Schmid, L. 1984: Die Abhängigkeit der trophischen Struktur des Planktons von der Biomasse. EAWAG Jahresbericht 1984, 79-81.
- Jonah, G. 1984: Studies on the autoecology of the freshwater algae flagellate *Rhodomonas lacustris* Pascher et Ruttner. Diss. ETHZ Nr. 7595: 1-77.
- Straub, M. 1984: Abklärungen und erste Betriebserfahrungen mit Netzgehegen im Greifensee. Schriftenreihe Fischerei 43: 35-52.
- Bührer, H., Szabo, E. & Ambühl, H. 1985: Die Belastung des Greifensees mit Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff, geochemischen Stoffen und Schwermetallen in den Jahren 1977/78: Schriftenreihe der EAWAG 1: 1-50.
- Bürgi, H.R., Weber, P. & Bachmann, H. 1985: Seasonal variations in the trophic structure of phyto- and zooplankton communities in lakes in different trophic states. Schweiz. Z. Hydrol. 47 (2): 197-224.
- Bürgi, H.R., Weber, P. & Bachmann, H. 1985: Seasonal variations in the trophic structure of phyto- and zooplankton communities in lakes in different trophic states. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 47 (2): 197-224.
- Angehrn, J.C. 1986: Micro- and Macrozooplankton grazing on nanoplankton in a eutrophic lake, with special attention to the rotifer *Keratella cochlearis*. Diss. ETH Nr. 7858. pp.72.
- Faust, B., Hoigné, J., Scully, F. & Zepp, R. 1986: Huminstoffe in Oberflächenwasser als Quellen und Senken verschiedener Photooxidantien. EAWAG Jahresbericht 1986, 4: 28-29.
- Jann, B., Beutler, R., Schmid, L. & Bürgi H.R. 1986: Die tagesperiodische Abdrift des Zooplanktons aus dem Greifensee. EAWAG Jahresbericht 1986, 4: 20, 22.
- Schmid, W.A. 1986: Eine natürliche Hilfe für den Greifensee. Wasser, Energie, Luft 78 (9): 217-219.
- Bürgi, H.R., Ambühl, H., Bührer, H. & Szabo, E. 1988: Wie reagiert das Seenplankton auf die Phosphorentlastung? Mitteilungen der EAWAG 24: 3-6.
- Jann, B. & Bürgi, H.R. 1988: The drift of zooplankton in a lake-outlet (Glatt) in a day-night-rythm depending from the water level. Schweiz. Z. Hydrol. 50 (1): 87-95.
- Liechti, P. 1988: Der Zustand des Greifensees. BUS-Bulletin 2: 23-30.
- Züllig, H. 1988: Waren unsere Seen früher wirklich rein? Anzeichen von Früheutrophierung gewisser Seen im Spiegel jahrtausendealter Seeablagerungen. Gas - Wasser - Abwasser 68 (1): 17-32.
- Beutler, R. & Frutiger, A. 1990: 4.5 Prozesse in Seen. Partikeldrift und filtrierende Insektenlarven im Ausfluss des Greifensees: EAWAG Jahresbericht 1990: 4-39-40.
- Kuhn, A., Sigg, L. & Kistler, D. 1990: 4.5 Prozesse in Seen. Saisonale Entwicklung von Arsenat und Arsenit im Greifensee. EAWAG Jahresbericht 1990: 4-22-23.



- Arbeitsgruppe für Ortsgeschichte 1991: Jahrbuch Greifensee 1990/91. Arbeitsgruppe für Ortsgeschichte (Hrsg.) 91 S.
- Beutler, R. 1991: Biologie und Ökologie der Makroinvertebraten im Ausfluss eines eutrophen Sees (Glatt, Kanton Zürich) und die Verwertung der Partikelfracht durch die Filtrierer. Diss ETH Nr. 9497.
- Hegi, H.R. 1991: Schwermetalle (Fe, Mn, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) im Pelagial des Bodensees (Obersee und Untersee) und des Greifensees. *Hydrologie* 38 (1): 35-47.
- Johnson, C.A., Ulrich, M., Sigg, S. & Imboden, D.M. 1991: A mathematical model of the manganese cycle in a seasonally anoxic lake. *Limnol. Oceanogr.* 36 (7): 1415-1426.
- Suter, W. 1991: Überwinternde Wasservögel auf Schweizer Seen: Welche Gewässereigenschaften bestimmen Arten- und Individuenzahl? *Der Ornithologische Beobachter* 88: 111-140.
- Bührer, H. 1992: Gutachten über die Möglichkeit einer Sanierung des Greifensees. Auftrag des Amts für Gewässerschutz des Kantons Zürich. EAWAG, Dübendorf.
- Imboden, D., Sigg, L. & Schwarzenbach, R. 1992: Stoffverteilungen im See: Zusammenspiel von physikalischen und chemischen Prozessen. *EAWAG-Mitteilungen* 34 d: 9-13.
- Johnson, C., Sigg, L. & Lindauer, U. 1992: The chromium cycle in a seasonally anoxic lake. *Limnol. Oceanogr.* 37 (2): 315-321.
- Kuhn, A. 1992: Arsen im eutrophen See: Eine Studie der saisonalen Redoxprozesse. Dissertation ETH Nr. 9783: 96 S.
- Kupper, U. 1992: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.) 75 S.
- Sydler, P.A. & Sprecher, K. 1992: Phosphorbilanz Greifensee - Schlussbericht. Kommentare zum Datenband Phosphorbilanz. Sydler + Partner Ingenieure AG, Otelfingen.
- Uehlinger, U. 1992: Primärproduktion und Respiration im Ausfluss eines eutrophen Sees. In: *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1991, 30.9.-6.10.1991 in Mondsee*, DGL Deutsche Gesellschaft für Limnologie E.V. (Hrsg.): 347-351.
- Kuhn, A. & Sigg, L. 1993: Arsenic Cycling in Eutrophic Lake Greifen. Switzerland - Influence of Seasonal Redox Processes. *Limnology and Oceanography* 38: 5: 1052-1059.
- Mühlethaler, E., Gelpke, G., Schneider, S. & König Urmi, K. 1993: Der Greifensee. Eine Dokumentation. Verband zum Schutze des Greifensees. 72 S.
- Xue, H.B. & Sigg, L. 1993: Free Cupric Ion Concentration and Cu(II) Speciation in a Eutrophic Lake. *Limnology and Oceanography* 38 (6): 1200-1213.
- Uehlinger, U. 1993: Primary Production and Respiration in the Outlet of an Eutrophic Lake (River Glatt, Switzerland). *Archiv Fur Hydrobiologie* 128 (1): 39-55.
- Zimmermann, D. 1993: Schwimmbalken schützen das Schilf am Greifensee. *Petri-Heil*, Oktober, S. 3.
- Ambühl, H. 1994: See-Sediment: immer faszinierend - und schwierig. *EAWAG-News* 37D: 3-5.
- Bürgi, H.R. 1994: Seenplankton und Seensanierung in der Schweiz. Sonderdruck aus: "Limnologische Berichte Donau 1984", Band II, EAWAG Dübendorf, 71-100.
- Kiefer, E.K.E. 1994: Die Bindung von Kupfer an die Algenarten *Cyclotella cryptica* (Bacillariophyceae) und *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyceae). Diss. ETHZ No 10786, 1-128.
- Kuhn, A., Johnson, A. & Sigg, L. 1994: Cycles of Trace Elements in a Lake with a Seasonally Anoxic Hypolimnion. *EAWAG Publ.* 1860, 473-497.
- Kupper, U. 1994: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 69 S.
- Liechti, P. 1994: Der Zustand der Seen in der Schweiz. *BUWAL Schriftenreihe Umwelt*, Nr. 237 Gewässerschutz, 1-159.
- Ulrich, M., Muller, S.R., Singer, H.P., Imboden, D.M. & Schwarzenbach, R. 1994: Input and dynamic behavior of the organic pollutants tetrachloroethene, atrazine, and NTA in a lake: A study combining mathematical modeling and field measurements. *Environmental Science & Technology* 28 (9): 1674-1685.
- Ambühl, H. 1995: Die Feinstruktur jüngster Sedimente von Seen verschiedenen Trophiegrades und von Seen in technischer Sanierung. In: Ambühl, H. (ed) *Limnologische Berichte Donau 1994 der Int. Arbeitsgem. Donauforschung*, Bd. II, Dübendorf, Wien 101-126.
- Müller, S., Ulrich, M., Berg, M. & Schwarzenbach, R. 1995: Optimierte Schadstoffüberwachung am Beispiel von Atrazin. *EAWAG news* 40 d: 36-39.
- Sigg, L., Kuhn, A., Xue, H., Kiefer, E. & Kistler, D. 1995: Cycles of Trace Elements (Copper and Zinc) in a Eutrophic Lake. *Aquatic Chemistry* 8: 177-194.
- Steiger, U., Schmid, R. & Voser, M. 1995: Neue Wege im Gewässerschutz. Wasser umweltgerecht nutzen. *Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL)* (Hrsg.): 1-71.

- Xue, H., Kistler, D. & Sigg, L. 1995: Competition of copper and zinc for strong ligands in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 40 (6): 1142-1152.
- Zimmermann, D. 1995: Im Zwiegespräch mit der Natur. Am und auf dem Greifensee. Schutzverband Greifensee. Buchverlag Druckerei Wetzikon AG, Wetzikon. 208 S.
- Kupper, U. 1996: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 69 S.
- Müller, S., Zweifel, H., Kinnison, D., Jacobsen, J., Meier, M. & Ulrich, M. 1996: Occurrence, sources, and fate of trichloroacetic acid in Swiss waters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15 (9): 1470-1478.
- Nowack, B., Kari, F., Hilger, S. & Sigg, L. 1996: Determination of dissolved and adsorbed EDTA species in water and sediments by HPLC. *Analytical Chemistry* 68: 3, 561-566.
- Sigg, L., Kistler, D. & Ulrich, M. 1996: Seasonal variations of zinc in a eutrophic lake. *Aquatic Geochemistry* 1: 313-328.
- Wehrli, B. & Wüest, A. 1996: 10 Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 9: 127 S. + Anhang.
- AquaPlus 1997: Trophieprojekt. Charakterisierung und Beurteilung der Nährstoffbelastung (Trophiestatus) von Türlerse-, Hüttnersee-, Greifensee- und Walensee-Uferabschnitten anhand der Kieselalgenflora, Kt. Zürich. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, 1-30 + Anhang.
- Matta, V., Sturm, M. & Lotter, A. 1997: Lacustrine Environmental Archives of Central Switzerland. 7th Int. Symp. on Paleolimnology, Excursion F, 2.-5. Sept. 97: 1-143.
- Mengis, M., Gächter, R. & Wehrli, B. 1997: Stickstoff-Elimination in Schweizer Seen. *Gas, Wasser, Abwasser* 77 (3): 174-180.
- Mengis, M., Gächter, R. & Wehrli, B. 1997: Sources and sinks of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in deep lakes. *Biogeochemistry* 38: 281-301.
- Merkel, K. 1997: Veränderung von Schilfbeständen an drei ausgewählten Schweizer Seen seit 1953. Diplomarbeit, Abteilung Umweltwissenschaften der ETH Zürich, 60 S.
- Müller, S., Berg, M., Ulrich, M. & Schwarzenbach, R. 1997: Atrazine and its primary metabolites in Swiss lakes: input characteristics and long-term behavior in the water column. *Environmental Science & Technology* 31 (7): 2104-2113.
- Reiser, R. 1997: Occurrence and fate of detergent-derived alkylbenzenesulfonates in recent sediments. Diss. ETH No. 12098, 1-116.
- Stoll, J. 1997: Fluorescent whitening agents in natural waters. Diss ETH Nr. 12355, 1-115.
- Stoll, J. & Giger, W. 1997: Optische Aufheller im Greifensee und in Schweizer Flüssen. Jahresbericht EAWAG 1996, 37-38.
- Stoll, J., Poiger, T., Lotter, A., Sturm, M. & Giger, W. 1997: Fluorescent whitening agents as molecular markers for domestic wastewater in recent sediments of Greifensee, Switzerland. In: ACS Symposium Series 671 Molecular markers in Environmental Geochemistry, chapter 15: 231-241.
- Xue, H.B., Gächter, R. & Sigg, L. 1997: Comparison of Cu and Zn cycling in eutrophic lakes with oxic and anoxic hypolimnion. *Aquat. sci.* 59: 176-189.
- Emmenegger, L., King, D., Sigg, L. & Sulzberger, B. 1998: Oxidation kinetics of Fe(II) in a eutrophic Swiss lake. *Environ. Sci. Technol.* 32: 2990-2996.
- Kupper, U. 1998: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 67 S.
- Schwarzenbach, R., Haderlein, S., Müller, S. & Ulrich, M. 1998: Assessing the dynamic behavior of organic contaminants in natural waters. In: Macalady, D. (ed.): Perspectives in environmental Chemistry, Chapter 6: 138-166.
- Stoll, J., Ulrich, M. & Giger, W. 1998: Dynamic behavior of fluorescent whitening agents in Greifensee field measurements combined with mathematical modeling of sedimentation and photolysis. Quelle nicht bekannt.
- Emmenegger, L. 1999: Light-induced redox cycling of iron in lakes. Diss ETH Nr. 13273.
- Maurer, W. 1999a: Noch immer tauchen erstickte Felchen auf. Tages Anzeiger vom 11. August 1999, Seite 15.
- Maurer, W. 1999b: Jetzt sind es 3.2 Tonnen tote Fische aus dem Greifensee. Tages Anzeiger vom 12. August 1999, Seite 19.
- Müller, S. 2000: Quellen von Pestiziden für Schweizer Oberflächengewässer - zeitliche und örtliche Konzentrationsbereiche. Projekt „Netzwerk Fischrückgang Schweiz“ / fischnetz-info 4: 5-6.
- Spaak, P., Eggenschwiler, L. & Bürgi, H.P. 2000: Genetic variation and clonal differentiation in the daphnia population of the greifensee, a pre-alpine swiss lake. *Verh. Internat. verein. Limnol.* 27:1919-1923.

- Steiger, U., Hirt, F. & Wiedmer, U. 2000: Tätigkeitsbericht Legislaturperiode 1995-1999. Fachstelle Naturschutz Kt. Zürich (Hrsg.) 1-27.
- Hausmann, S. & Kienast, F. (2000?): Independent annually diatom-inferred phosphorus and temperature reconstructions validated by instrumental records. *Journal of Paleolimnology*, Manuskript, 75-112.
- Emmenegger, L., Schönenberger, R., Sigg, L. & Sulzberger, B. 2001: Light-induced redox cycling of iron in circumneutral lakes. *Limnol. Oceanogr.* 46 (1): 49-61.
- Gerecke, A.C. 2001: Penylurea herbicides in the aquatic environment - sources and elimination processes. Diss. ETHZ No. 14111, Zürich.
- Lotter, A. 2001: The effect of eutrophication on diatom diversity: examples from six Swiss lakes. *Lange-Bertalot-Festschrift*, Jahn, R. Kociolek, J. Witkowski, A. Compère, P. (eds). A.R.G. Ganter Verlag K.G.: 417-432.
- Niederhauser, P., Meier, W. & Känel, B. 2001: Oberflächengewässer. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) (Hrsg.), Zürcher Umweltpraxis, Gewässerschutz 72 S.
- Ernst Basler und Partner 2002: Massnahmenplan Wasser - Schlussbericht Phase I. Im Auftrag des AWEL ZH, 388 S.
- Moosmann, L., Sturm, M., Müller, B. & Wüest, A. 2003: Phosphorhaushalt des Greifensees. Belastung durch seeinterne Umsätze. Zusammenhang zwischen Belastung und Seezustand. Gutachten der EAWAG im Auftrag des AWEL Zürich, 32 Seiten.
- Prasuhn, V. 2003: Abschätzung der Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den Greifensee. Bericht z.H. AWEL Zürich. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.

## **Anhang A**

**Resultate der Schnellzählung und Auflistung der ausgezählten Proben**

**Relative Kieselalgenschalendichte pro 1-cm-Sedimentschicht**

**Kieselalgen-Zählresultate**

**Tab. A1: Gesamtphosphor-Optima<sub>WA</sub> und -Toleranzen**

Angaben gemäss Prof. Lotter, Universität Utrecht

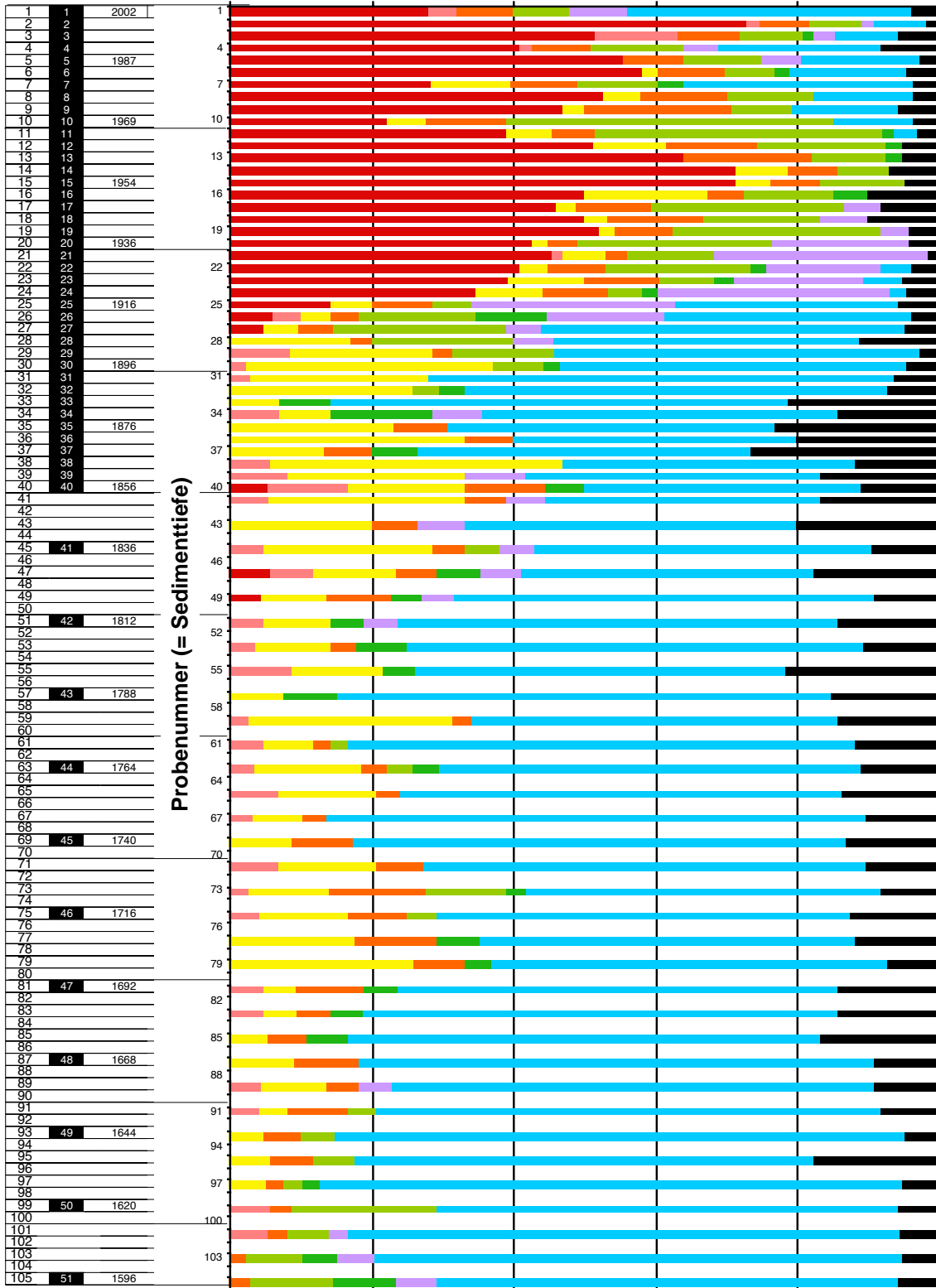
Sedimenttiefe [cm]  
 51 Proben (Vorschlag)  
 Sedimentalter (prov.)

# Greifensee

Kern GR03-4, 25. April 2003

Relative Häufigkeit [%]

0% 20% 40% 60% 80% 100%



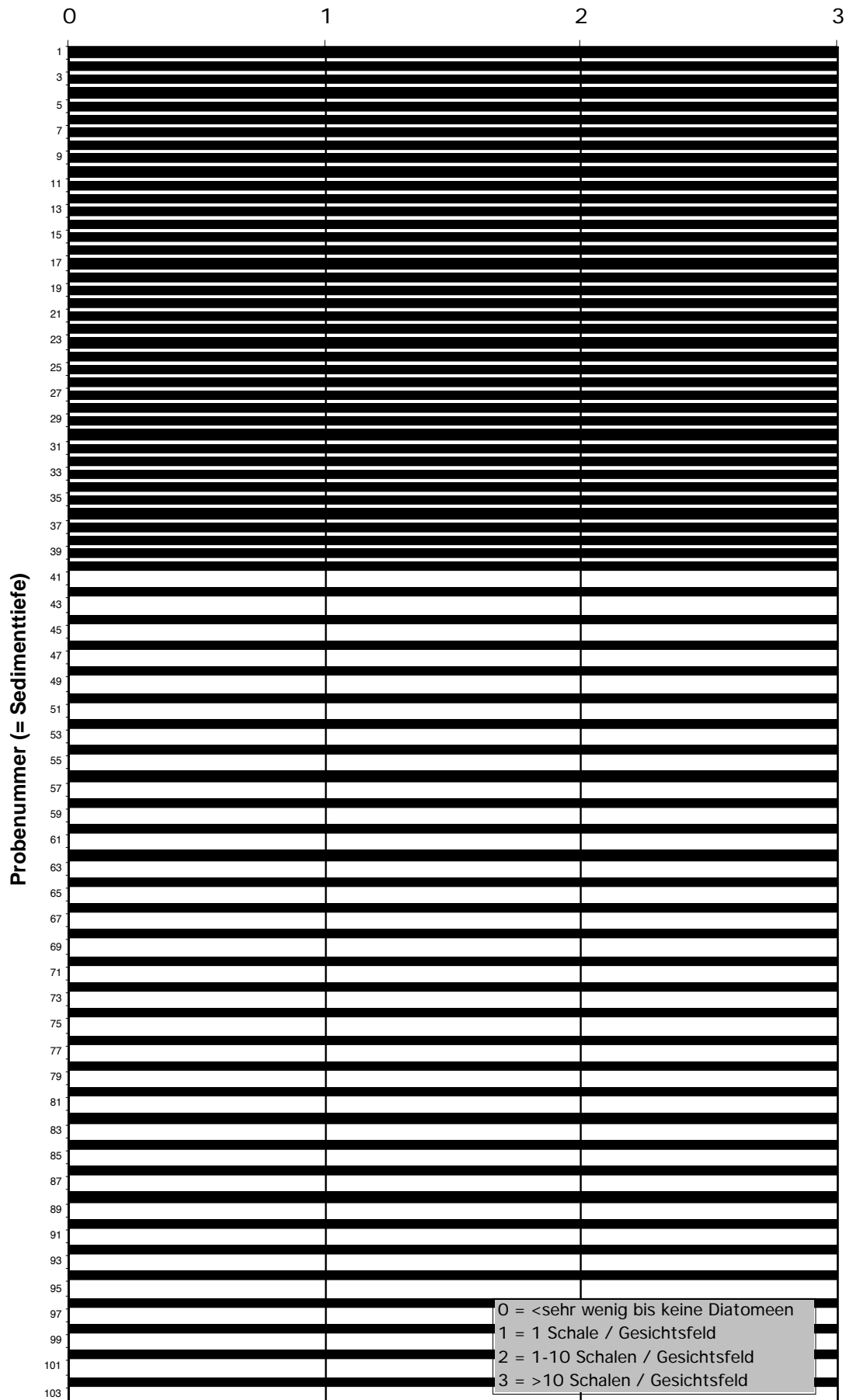
- Stephanodiscus
- Stephanodiscus alpinus + neocastrea
- Aulacoseira
- Asterionella formosa
- Fragilaria crotonensis
- Fragilaria
- Tabellaria
- Cyclotella
- Pennales Rest

Probennummer (= Sedimenttiefe)

# Greifensee

Kern GR03-4, 25. April 2003

## Relative Diatomeendichte



**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)
<i>Achnanthes atomus</i> HUSTEDT											0.2	0.2							
<i>Achnanthes biasolettiana</i> GRUNOW														0.2					
<i>Achnanthes clevei</i> GRUNOW															0.2				
<i>Achnanthes conspicua</i> A.MAYER																			
<i>Achnanthes exigua</i> GRUNOW																			
<i>Achnanthes flexella</i> (KUETZING) BRUN																			
<i>Achnanthes joursacense</i> HERIBAUD																			
<i>Achnanthes laevis</i> OESTRUP											0.8								
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. frequentissima LANGE-BERTALOT													0.2	0.2	0.2				
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. lanceolata (BREBISSON) GRUNOW													0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	
<i>Achnanthes minutissima</i> KUETZING	0.4	0.5	0.9	0.6	0.2					0.2	1	0.6	0.4	0.4	0.4				
<i>Achnanthes minutissima</i> var. jackii (FABENHORST) LANGE-BERTALOT																			
<i>Achnanthes minutissima</i> var. scotica (CARTER) LANGE-BERTALOT																			
<i>Achnanthes trinodis</i> (W.SMITH) GRUNOW								0.6			0.4	0.2							
<i>Amphora inariensis</i> KRAMMER																			
<i>Amphora libyca</i> EHRENBERG																			
<i>Amphora montana</i> KRASSKE																			
<i>Amphora ovalis</i> (KUETZING) KUETZING																			
<i>Amphora pediculus</i> (KUETZING) GRUNOW	0.2	0.4	0.6	0.6				0.6		0.4	0.4				0.4	0.4			
<i>Amphora thumensis</i> (A.MAYER) CLEVE-EULER																			
<i>Asterionella formosa</i> HASSALL	11	10	11	14	2.1	4.3	19	22	17	11	4.6	11	13	7.1	11	7.8	6.1	24	5.6
<i>Aulacoseira ambigua</i> (GRUNOW) SIMONSEN					0.8		13	3.6		5.2	18	6.8	0.9		2.2	11	2.3		
<i>Aulacoseira granulata</i> (EHRENBERG) SIMONSEN																			
<i>Aulacoseira islandica</i> (O.MUELLER) SIMONSEN											2.3	1.7		0.2	0.2				0.5
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.MUELLER) HAWORTH																			
<i>Brachysira neoxilis</i> LANGE-BERTALOT																			
<i>Brachysira procera</i> LANGE-BERTALOT et MOSER																			
<i>Caloneis alpestris</i> (GRUNOW) CLEVE																			
<i>Caloneis bacillum</i> (GRUNOW) CLEVE																			
<i>Caloneis silicula</i> (EHRENBERG) CLEVE																			
<i>Cocconeis neothumensis</i> KRAMMER																			0.2
<i>Cocconeis pediculus</i> EHRENBERG																			0.2

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)
<i>Cocconeis placentula</i> EHRENBERG											0.4	0.4	0.4	0.2	0.2				
<i>Cyclostephanos invitatatus</i> (HOHN et HELLERMANN) THERIOT, STOERMER et HAKANSSON									0.2			4.8	1.9	1.7	0.2				
<i>Cyclotella atomus</i> HUSTEDT																			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> <5um ev. z.T. C. wuehrichiana Workshop La Chaux-de-Fon 2.3			13	5.9	4.8														
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> HAKANSSON et CARTER																			
<i>Cyclotella distinguenda</i> HUSTEDT																			
<i>Cyclotella meneghiniana</i> KUETZING																			
<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK																			
<i>Cyclotella planctonica</i> BRUNNTHALER																			
<i>Cyclotella praetermissa</i> LUND	6.7	3.7	4.9	11	8.8	13	16	6.9	14	16									
<i>Cyclotella comensis</i> granuliert gemäss Datensatz Lotter		0.2			0.2	0.2													0.2
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> HUSTEDT																			
<i>Cyclotella radiosa</i> Typ 1: flach gemäss Datensatz Lotter	0.5		2.1	3.1	3.4	1.1	2.1	2											0.3
<i>Cymatopleura solea</i> (BREBISSON) W.SMITH											0.2								
<i>Cymbella affinis</i> KUETZING																			0.2
<i>Cymbella amphicephala</i> NAEGELI																			
<i>Cymbella caespitosa</i> (KUETZING) BRUN																			
<i>Cymbella cesatii</i> (RABENHORST) GRUNOW																			
<i>Cymbella cistula</i> (EHRENBERG) KIRCHNER																			
<i>Cymbella delicatula</i> KUETZING																			
<i>Cymbella ehrenbergii</i> KUETZING																			
<i>Cymbella helvetica</i> KUETZING																			
<i>Cymbella microcephala</i> (Artengruppe) sensu KRAMMER et LANGE-BERTALOT																			
<i>Cymbella minuta</i> HILSE	0.2				0.2										0.2	0.4			
<i>Cymbella silesiaca</i> BLEISCH																			
<i>Cymbella turgidula</i> GRUNOW																			
<i>Denticula kuetzingii</i> GRUNOW																			
<i>Denticula tenuis</i> KUETZING																			
<i>Diatoma ehrenbergii</i> KUETZING					0.9														
<i>Diatoma moniliformis</i> KUETZING																			0.2
<i>Diatoma problematica</i> LANGE-BERTALOT												0.2							0.2
<i>Diatoma tenuis</i> J.G.AGARDH	0.4	1.1																	0.4



**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)
<i>Diatoma vulgare</i> BORY DE SAINT VINCENT					0.2	0.2	0.2	0.6			0.4	0.7			0.4				0.2
<i>Diploneis mauleri</i> (BRUN) CLEVE																			
<i>Diploneis modica</i> HUSTEDT																			
<i>Diploneis oblongella</i> (NAEGELI) CLEVE-EULER																			
<i>Diploneis oculata</i> (BREBISSON) CLEVE																			
<i>Diploneis ovalis</i> (HILSE) CLEVE																			
<i>Diploneis parma</i> CLEVE																			
<i>Epithemia adnata</i> (KUETZING) BREBISSON																			
<i>Epithemia sores</i> KUETZING																			
<i>Eunotia</i> EHRENBERG																			
<i>Fragilaria brevistriata</i> GRUNOW					0.2		0.6					1.3		4.4	1.4				0.2
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (OESTRUP) HUSTEDT												0.2							0.2
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (FABENHORST) RABENHORST								0.2											0.2
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT		0.6	0.2		0.2									1.4					0.2
<i>Fragilaria construens</i> (EHRENBERG) GRUNOW																			
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>binodis</i> (EHRENBERG) HUSTEDT										0.2									
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> (EHRENBERG) HUSTEDT																			
<i>Fragilaria crotonensis</i> KITTON	17	10	14	12	13	10	18	8.2	9.9	48	20	11	7.8	2.1	20	13	20	28	41
<i>Fragilaria cycloppum</i> (BRUTSCHY) LANGE-BERTALOT		0.2			0.2														
<i>Fragilaria fasciculata</i> (J.G.AGARDH) LANGE-BERTALOT		0.2																	
<i>Fragilaria leptostauron</i> (EHRENBERG) HUSTEDT																			
<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>martyi</i> (HERIBAUD) LANGE-BERTALOT																			
<i>Fragilaria parasitica</i> (W.SMITH) GRUNOW	0.6		1.9		0.2							0.2			0.2	1.1			
<i>Fragilaria pinnata</i> EHRENBERG																			
<i>Fragilaria ulna</i> (NITZSCH) LANGE-BERTALOT		0.2		2.1	0.2	2.1	0.6			0.2		0.2	0.6	0.8	1.6	1.4		0.9	1
<i>Fragilaria ulna</i> angustissima - Sippen KRAMMER et LANGE-BERTALOT										0.8									
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT																			
<i>Gomphonema exilissimum</i> LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			0.2
<i>Gomphonema lateripunctatum</i> REICHARDT et LANGE-BERTALOT																			
<i>Gomphonema micropus</i> KUETZING																			0.2
<i>Gomphonema olivaceum</i> (HORNEMANN) BREBISSON							0.2					0.2							
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>olivaceoides</i> (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)
Gomphonema parvulum (KUETZING) KUETZING													0.2						
Gomphonema pumilum (GRUNOW) LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			
Gomphonema tergestinum FRICKE																			
Gyrosigma acuminatum (KUETZING) RABENHORST																			
Gyrosigma attenuatum (KUETZING) RABENHORST																			
Gyrosigma nodiferum (GRUNOW) REIMER																			
Mastogloia smithii var. lacustris GRUNOW																			
Meridion circulare (GREVILLE) J.G.AGARDH		0.2											0.2	0.2	0.2	0.2			
Navicula broetzii LANGE-BERTALOT & REICHARDT																			
Navicula bryophila PETERSEN																			0.2
Navicula capitatoradiata GERMAIN																			
Navicula costulata GRUNOW													0.2						
Navicula cryptotenella LANGE-BERTALOT																			0.2
Navicula cuspidata (KUETZING) KUETZING																			0.2
Navicula gottlandica GRUNOW																			
Navicula gregaria DONKIN		0.2								0.2									
Navicula hamburgii HUSTEDT																			
Navicula lanceolata (J.G.AGARDH) EHRENBERG			0.2						0.2										
Navicula menisculus var. grunowii LANGE-BERTALOT											0.2								
Navicula modica HUSTEDT																			
Navicula oblonga KUETZING																			
Navicula oligotrphenta LANGE-BERTALOT et HOFMANN																			
Navicula placentula (EHRENBERG) GRUNOW																			
Navicula praeterita HUSTEDT																			
Navicula pseudotuscula HUSTEDT																			
Navicula pupula KUETZING																			0.2
Navicula radiosa KUETZING																			
Navicula reichardtiana LANGE-BERTALOT																		0.2	0.2
Navicula rhynchocephala KUETZING																			
Navicula rotunda HUSTEDT																			
Navicula schoenfeldii HUSTEDT			0.5																
Navicula scutelloides W.SMITH																			

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)	
<i>Navicula submurialis</i> HUSTEDT																				
<i>Navicula subrotundata</i> HUSTEDT																				
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.MUELLER) BORY DE SAINT VINCENT								0.2			0.4									
<i>Navicula trivialis</i> LANGE-BERTALOT																				0.2
<i>Navicula tuscula</i> (EHRENBERG) GRUNOW																				
<i>Navicula utermoehlii</i> HUSTEDT																				
<i>Navicula vitabunda</i> HUSTEDT																				
<i>Nitzschia amphibia</i> GRUNOW																				
<i>Nitzschia angustata</i> (W.SMITH) GRUNOW																				
<i>Nitzschia angustatula</i> LANGE-BERTALOT																				
<i>Nitzschia dissipata</i> (KUETZING) GRUNOW				0.4					0.8		0.4									0.2
<i>Nitzschia fonticola</i> GRUNOW																				0.4
<i>Nitzschia gracilis</i> HANTZSCH																				
<i>Nitzschia heufferiana</i> GRUNOW																				
<i>Nitzschia lacuum</i> LANGE-BERTALOT																				
<i>Nitzschia linearis</i> (J.G.AGARDH) W.SMITH																				
<i>Nitzschia recta</i> HANTZSCH																				
<i>Nitzschia sinuata</i> (THWAITES) GRUNOW																				
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (J.G.AGARDH) LANGE-BERTALOT								0.4		0.6										
<i>Rhopalodia gibba</i> (EHRENBERG) O.MUELLER																				
<i>Stauroneis producta</i> GRUNOW																				
<i>Stephanocostis chantaicus</i> GENKAL et KUZMIN																				
<i>Stephanodiscus alpinus</i> HUSTEDT		2	6		0.6	0.2							0.2							
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> < 12um GRUNOW									2				0.2							0.9
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> = 12um gemäss Datensatz Lotter		0.2							0.9	0.2	0.2	0.4	1.1							
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> >12um gemäss Datensatz Lotter									0.2	0.2	0.2	0.7	0.2							
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (KUETZING) CLEVE et MOELLER		3.8	60	50	50	66	63	32	56	52	18	50	62	55	78	63	56	64	44	47
<i>Stephanodiscus neoastreae</i> HAKANSSON et HICKEL																				0.2
<i>Stephanodiscus parvus</i> STOERMER et HAKANSSON	47	60	50	50	66	63	32	56	52	18	50	62	55	78	63	56	64	44	47	
<i>Stephanodiscus vestibulis</i> HAKANSSON, THERIOT & STOERMER													15	6.1	0.4					0.2

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

Probe 01 (0-1 cm)	Probe 02 (1-2 cm)	Probe 03 (2-3 cm)	Probe 04 (3-4 cm)	Probe 05 (4-5 cm)	Probe 06 (5-6 cm)	Probe 07 (6-7 cm)	Probe 08 (7-8 cm)	Probe 09 (8-9 cm)	Probe 10 (9-10 cm)	Probe 11 (10-11 cm)	Probe 12 (11-12 cm)	Probe 13 (12-13 cm)	Probe 14 (13-14 cm)	Probe 15 (14-15 cm)	Probe 16 (15-16 cm)	Probe 17 (16-17 cm)	Probe 18 (17-18 cm)	Probe 19 (18-19 cm)
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

*Surirella angusta* KUETZING  
*Surirella terricola* LANGE-BERTALOT et ALLES  
*Tabellaria flocculosa* (ROTH) KUETZING

	0.6	5.8	5.5	2.7	0.2											0.4	2.7	0.9	3.1
Anzahl gezählte Schalen	524	546	568	532	513	530	528	534	537	517	518	541	537	522	553	500	558	555	572
Taxazahl	13	18	12	13	16	16	11	11	12	9	17	16	22	13	13	23	14	12	15
Diversität	2.3	2.1	2.4	2.3	1.8	1.9	2.4	1.9	2.1	2.1	2.1	1.9	2.2	1.3	1.7	2.2	1.7	1.8	1.7

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 20 (19-20 cm)	Probe 21 (20-21 cm)	Probe 22 (21-22 cm)	Probe 23 (22-23 cm)	Probe 24 (23-24 cm)	Probe 25 (24-25 cm)	Probe 26 (25-26 cm)	Probe 27 (26-27 cm)	Probe 28 (27-28 cm)	Probe 29 (28-29 cm)	Probe 30 (29-30 cm)	Probe 31 (30-31 cm)	Probe 32 (31-32 cm)	Probe 33 (32-33 cm)	Probe 34 (33-34 cm)	Probe 35 (34-35 cm)	Probe 36 (35-36 cm)	Probe 37 (36-37 cm)	Probe 38 (37-38 cm)
<i>Achnanthes atomus</i> HUSTEDT																			
<i>Achnanthes biasolettiana</i> GRUNOW		0.2						0.2	0.2	0.2	0.2		0.4				1	0.8	
<i>Achnanthes clevei</i> GRUNOW																			
<i>Achnanthes conspicua</i> A.MAYER																	0.4		
<i>Achnanthes exigua</i> GRUNOW																			
<i>Achnanthes flexella</i> (KUETZING) BRUN															0.4				
<i>Achnanthes joursacense</i> HERIBAUD																			
<i>Achnanthes laevis</i> OESTRUP																			
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. frequentissima LANGE-BERTALOT														0.8					
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. lanceolata (BREBISSON) GRUNOW																			
<i>Achnanthes minutissima</i> KUETZING		0.2	0.4	0.2	0.4	1.2	0.4	0.2	0.2	0.2	1.1	0.4	0.4	2	1	1.1	0.8	1.2	
<i>Achnanthes minutissima</i> var. jackii (FABENHORST) LANGE-BERTALOT								1.1									1.5	0.8	
<i>Achnanthes minutissima</i> var. scotica (CARTER) LANGE-BERTALOT									0.4	0.4	0.4	0.4	0.4						1
<i>Achnanthes trinodis</i> (W.SMITH) GRUNOW																			
<i>Amphora inariensis</i> KRAMMER	0.3												2.4	0.6	1.8		1.4	0.8	
<i>Amphora libyca</i> EHRENBERG														1.8					0.4
<i>Amphora montana</i> KRASSKE																			
<i>Amphora ovalis</i> (KUETZING) KUETZING																			1
<i>Amphora pediculus</i> (KUETZING) GRUNOW													0.8		0.8		0.4		
<i>Amphora thumensis</i> (A.MAYER) CLEVE-EULER														1	1.6				
<i>Asterionella formosa</i> HASSALL																			
<i>Aulacoseira ambigua</i> (GRUNOW) SIMONSEN	4	9	6	4.2	1.1	16	19	7.4	5.1	5.2	4.7	3.8	3.2	3.6	7.1	4	5.1	4.1	2.6
<i>Aulacoseira granulata</i> (EHRENBERG) SIMONSEN						1			7.6	6	9.1	5.3	7.4	5.6	8.9	12	16	20	25
<i>Aulacoseira islandica</i> (O.MUELLER) SIMONSEN															0.6				0.4
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.MUELLER) HAWORTH	3.4	1.7	7.2	1.6	4.6	2.3	0.2												
<i>Brachysira neoxilis</i> LANGE-BERTALOT																			
<i>Brachysira procera</i> LANGE-BERTALOT et MOSER													1						
<i>Caloneis alpestris</i> (GRUNOW) CLEVE															0.2				
<i>Caloneis bacillum</i> (GRUNOW) CLEVE																			
<i>Caloneis silicula</i> (EHRENBERG) CLEVE																			0.2
<i>Cocconeis neothumensis</i> KRAMMER																			
<i>Cocconeis pediculus</i> EHRENBERG	0.2			0.2					0.2					0.2					1.2

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 20 (19-20 cm)	Probe 21 (20-21 cm)	Probe 22 (21-22 cm)	Probe 23 (22-23 cm)	Probe 24 (23-24 cm)	Probe 25 (24-25 cm)	Probe 26 (25-26 cm)	Probe 27 (26-27 cm)	Probe 28 (27-28 cm)	Probe 29 (28-29 cm)	Probe 30 (29-30 cm)	Probe 31 (30-31 cm)	Probe 32 (31-32 cm)	Probe 33 (32-33 cm)	Probe 34 (33-34 cm)	Probe 35 (34-35 cm)	Probe 36 (35-36 cm)	Probe 37 (36-37 cm)	Probe 38 (37-38 cm)
<i>Cocconeis placentula</i> EHRENBURG	0.2		0.2	0.2	0.2			0.4	0.6					0.4					1.2
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (HOHN et HELLERMANN) THERIOT, STOERMER et HAKA	0.2		0.2																
<i>Cyclotella atomus</i> HUSTEDT																			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> <5um ev. z.T. C. wuehrichiana Workshop La Chaux-de-Fonds		0.3	1.1	2.7	2.9	3.2	2.1	1	2.3	4.5	2.2	1.6	0.4	3.4	2.9	4.9	3.2		
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> HAKANSSON et CARTER			5.9	13	28	21	38	53	53	55	56	40	46	43	39	35	24	18	
<i>Cyclotella distinguenda</i> HUSTEDT			3.6	2.5	5.4	6.3	9	25	9	4.3	1.5	2	0.8	1					
<i>Cyclotella meneghiniana</i> KUETZING	0.2																		
<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK																			1.6
<i>Cyclotella planctonica</i> BRUNNTHALER																			
<i>Cyclotella praetermissa</i> LUND	0.3		0.4	0.8	3.1	1.4	2.4	2.3	3.8	0.8	4.6	5.5	5.6	4.5	3.3	4.4			
<i>Cyclotella comensis</i> granuliert gemäss Datensatz Lotter			0.6	5.3	4	8.8	11	7.2	3.4	7	4	5.1	7.3	11	29	16			
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> HUSTEDT	0.5						0.6			0.2				0.2	0.4				
<i>Cyclotella radiosa</i> Typ 1: flach gemäss Datensatz Lotter			0.2		0.8	0.2	0.8	0.6	1.5		0.2	0.4	2.7	0.8	0.4	1.6			
<i>Cymatopleura solea</i> (BREBISSON) W.SMITH							0.8	0.4											
<i>Cymbella affinis</i> KUETZING							0.2												
<i>Cymbella amphicephala</i> NAEGELI																			
<i>Cymbella caespitosa</i> (KUETZING) BRUN							0.2												
<i>Cymbella cesatii</i> (RABENHORST) GRUNOW																			0.4
<i>Cymbella cistula</i> (EHRENBURG) KIRCHNER																			
<i>Cymbella delicatula</i> KUETZING																			
<i>Cymbella ehrenbergii</i> KUETZING																			
<i>Cymbella helvetica</i> KUETZING																			
<i>Cymbella microcephala</i> (Artengruppe) sensu KRAMMER et LANGE-BERTALOT			0.4										0.4	1.2	0.8				
<i>Cymbella minuta</i> HILSE		0.2											0.4						0.2
<i>Cymbella silesiaca</i> BLEISCH				0.2															0.2
<i>Cymbella turgidula</i> GRUNOW																			
<i>Denticula kuetzingii</i> GRUNOW																			0.2
<i>Denticula tenuis</i> KUETZING																			0.8
<i>Diatoma ehrenbergii</i> KUETZING			0.2							0.2				0.2					
<i>Diatoma moniliformis</i> KUETZING																			
<i>Diatoma problematica</i> LANGE-BERTALOT																			
<i>Diatoma tenuis</i> J.G.AGARDH			1.5																0.4

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 20 (19-20 cm)	Probe 21 (20-21 cm)	Probe 22 (21-22 cm)	Probe 23 (22-23 cm)	Probe 24 (23-24 cm)	Probe 25 (24-25 cm)	Probe 26 (25-26 cm)	Probe 27 (26-27 cm)	Probe 28 (27-28 cm)	Probe 29 (28-29 cm)	Probe 30 (29-30 cm)	Probe 31 (30-31 cm)	Probe 32 (31-32 cm)	Probe 33 (32-33 cm)	Probe 34 (33-34 cm)	Probe 35 (34-35 cm)	Probe 36 (35-36 cm)	Probe 37 (36-37 cm)	Probe 38 (37-38 cm)
<i>Diatoma vulgare</i> BORY DE SAINT VINCENT			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Diploneis mauleri</i> (BRUN) CLEVE																			
<i>Diploneis modica</i> HUSTEDT																			
<i>Diploneis oblongella</i> (NAEGELI) CLEVE-EULER															0.8				
<i>Diploneis oculata</i> (BREBISSON) CLEVE																			
<i>Diploneis ovalis</i> (HILSE) CLEVE																			
<i>Diploneis parma</i> CLEVE	0.2																		
<i>Epithemia adnata</i> (KUETZING) BREBISSON																			
<i>Epithemia sorex</i> KUETZING						0.2								0.6					
<i>Eunotia</i> EHRENBERG																			
<i>Fragilaria brevistriata</i> GRUNOW			0.2		1.8	1.2	1.2	1.2	0.2	0.8	0.8	0.2	4.2	2.4	4.2	3.9	0.8	0.8	9
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (OESTRUP) HUSTEDT																			
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (FABENHORST) RABENHORST	0.2				0.2														
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT							0.4							0.8	0.2				
<i>Fragilaria construens</i> (EHRENBERG) GRUNOW																			
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>binodis</i> (EHRENBERG) HUSTEDT							0.2												
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> (EHRENBERG) HUSTEDT							0.6		2.4										1.6
<i>Fragilaria crotonensis</i> KITTON	23	18	26	23	11	12	21	29	13	11	6.1	7.5	2	3.4	1.2	5.7	1	3.7	1.2
<i>Fragilaria cycloporum</i> (BRUTSCHY) LANGE-BERTALOT																			0.2
<i>Fragilaria fasciculata</i> (J.G.AGARDH) LANGE-BERTALOT																			
<i>Fragilaria leptostauron</i> (EHRENBERG) HUSTEDT																			
<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>martyi</i> (HERIBAUD) LANGE-BERTALOT														0.4					
<i>Fragilaria parasitica</i> (W.SMITH) GRUNOW												0.2	0.2	0.2	1			0.2	
<i>Fragilaria pinnata</i> EHRENBERG								0.6						0.2	0.4	0.6	1	0.4	0.8
<i>Fragilaria ulna</i> (NITZSCH) LANGE-BERTALOT			1	0.2	1.4	0.4	0.2	0.2	0.6			0.8	0.2	1	1.2	0.8	0.2	0.4	
<i>Fragilaria ulna</i> angustissima - Sippen KRAMMER et LANGE-BERTALOT																			
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT				2.1	0.5	0.2	3.7	2.7	0.2	0.2	0.6	0.9	1	0.2					0.2
<i>Gomphonema exilissimum</i> LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			
<i>Gomphonema lateripunctatum</i> REICHARDT et LANGE-BERTALOT																			
<i>Gomphonema micropus</i> KUETZING		0.7		0.2	0.2														0.2
<i>Gomphonema olivaceum</i> (HORNEMANN) BREBISSON								0.4											
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>olivaceoides</i> (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			0.2

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 20 (19-20 cm)	Probe 21 (20-21 cm)	Probe 22 (21-22 cm)	Probe 23 (22-23 cm)	Probe 24 (23-24 cm)	Probe 25 (24-25 cm)	Probe 26 (25-26 cm)	Probe 27 (26-27 cm)	Probe 28 (27-28 cm)	Probe 29 (28-29 cm)	Probe 30 (29-30 cm)	Probe 31 (30-31 cm)	Probe 32 (31-32 cm)	Probe 33 (32-33 cm)	Probe 34 (33-34 cm)	Probe 35 (34-35 cm)	Probe 36 (35-36 cm)	Probe 37 (36-37 cm)	Probe 38 (37-38 cm)
Gomphonema parvulum (KUETZING) KUETZING														1	0.4				
Gomphonema pumilum (GRUNOW) LANGE-BERTALOT et REICHARDT																			
Gomphonema tergestinum FRICKE																			
Gyrosigma acuminatum (KUETZING) RABENHORST	0.2																		
Gyrosigma attenuatum (KUETZING) RABENHORST	0.2																		
Gyrosigma nodiferum (GRUNOW) REIMER																			
Mastogloia smithii var. lacustris GRUNOW													0.6			0.2	0.6		0.2
Meridion circulare (GREVILLE) J.G.AGARDH												0.4							
Navicula broetzii LANGE-BERTALOT & REICHARDT																			0.4
Navicula bryophila PETERSEN															0.6				
Navicula capitatoradiata GERMAIN																			
Navicula costulata GRUNOW										0.2									0.2
Navicula cryptotenella LANGE-BERTALOT																	0.4		
Navicula cuspidata (KUETZING) KUETZING																			
Navicula gottlandica GRUNOW																			0.4
Navicula gregaria DONKIN															0.4				
Navicula hamburgii HUSTEDT															0.4				
Navicula lanceolata (J.G.AGARDH) EHRENBERG																			
Navicula menisculus var. grunowii LANGE-BERTALOT	0.2																		
Navicula modica HUSTEDT																			
Navicula oblonga KUETZING																			
Navicula oligotrphenta LANGE-BERTALOT et HOFMANN																			
Navicula placentula (EHRENBERG) GRUNOW																			0.2
Navicula praeterita HUSTEDT																			
Navicula pseudotuscula HUSTEDT																			
Navicula pupula KUETZING																			
Navicula radiosa KUETZING																			0.2
Navicula reichardtiana LANGE-BERTALOT																			0.2
Navicula rhynchocephala KUETZING																			
Navicula rotunda HUSTEDT																		2	0.2
Navicula schoenfeldii HUSTEDT																		0.4	
Navicula scutelloides W.SMITH																			0.2





**Taxa- und Zählliste Greifensee**

Probe 20 (19-20 cm)
Probe 21 (20-21 cm)
Probe 22 (21-22 cm)
Probe 23 (22-23 cm)
Probe 24 (23-24 cm)
Probe 25 (24-25 cm)
Probe 26 (25-26 cm)
Probe 27 (26-27 cm)
Probe 28 (27-28 cm)
Probe 29 (28-29 cm)
Probe 30 (29-30 cm)
Probe 31 (30-31 cm)
Probe 32 (31-32 cm)
Probe 33 (32-33 cm)
Probe 34 (33-34 cm)
Probe 35 (34-35 cm)
Probe 36 (35-36 cm)
Probe 37 (36-37 cm)
Probe 38 (37-38 cm)

Surirella angusta KUETZING	0.2
Surirella terricola LANGE-BERTALOT et ALLES	
Tabellaria flocculosa (ROTH) KUETZING	12 23 23 27 45 31 18 4.3 0.8 0.2 0.4 0.2 1 1.2 1 0.4 0.2 0.4
Anzahl gezählte Schalen	622 589 521 529 560 522 513 556 514 500 527 533 500 501 506 522 512 514 501
Taxazahl	15 12 15 16 15 16 19 22 21 23 17 24 24 24 38 35 31 32 26 40
Diversität	1.7 2.1 2.1 2.6 2.3 2.6 3 2.7 2.5 2.5 2.5 2.5 2.8 3.3 3.5 3.4 3.5 3 3.7



**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 39 (38-39 cm)	Probe 40 (39-40 cm)	Probe 43 (44-45 cm)	Probe 46 (50-51 cm)	Probe 49 (56-57 cm)	Probe 52 (62-63 cm)	Probe 55 (68-69 cm)	Probe 58 (74-75 cm)	Probe 61 (80-81 cm)	Probe 64 (86-87 cm)	Probe 67 (92-93 cm)	Probe 70 (98-99 cm)	Probe 73 (104-105 cm)
<i>Cocconeis placentula</i> EHRENBURG		0.2	0.4			0.4	1.3		0.4	0.2	0.8		1.1
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (HOHN et HELLERMANN) THERIOT, STOERMER et HAKA	0.6												
<i>Cyclotella atomus</i> HUSTEDT													
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> <Sum ev. z.T. C. wuehrichiana Workshop La Chaux-de-Fon	1.8	2.1	0.7	3.8	7	1.2	5.4	4.2	9	1.6	1.9	1.9	1.9
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> HAKANSSON et CARTER	27	26	14	34	22	23	31	33	28	32	34	42	40
<i>Cyclotella distinguenda</i> HUSTEDT	1.6	2.5	2.8	3.4	0.4	2.3	2.8	1.1	4	16	14		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> KUETZING													
<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK							0.6					1.1	3
<i>Cyclotella planctonica</i> BRUNNTHALER	0.2												
<i>Cyclotella praefermissa</i> LUND	7	4.1	2.8	4.4	2.5	3.1	5.4	6	3.8	3.7	4.1	5.9	4.7
<i>Cyclotella comensis</i> granuliert gemäss Datensatz Lotter	14	15	12	15	35	31	22	21	28	16	15	22	8.6
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> HUSTEDT	0.4	1			0.4		0.4	0.4	0.2				
<i>Cyclotella radiosa</i> Typ 1: flach gemäss Datensatz Lotter	0.4	1.2	1.1	2.3			0.4	0.2	1.4	1.6	0.8		0.8
<i>Cymatopleura solea</i> (BREBISSON) W.SMITH	0.2	0.4	0.4		0.4					0.2			
<i>Cymbella affinis</i> KUETZING					0.6			0.4					0.2
<i>Cymbella amphicephala</i> NAEGELI		0.6	0.4										0.4
<i>Cymbella caespitosa</i> (KUETZING) BRUN											0.4		
<i>Cymbella cesatii</i> (RABENHORST) GRUNOW					0.2	0.2	0.2			0.2	0.4	0.4	
<i>Cymbella cistula</i> (EHRENBURG) KIRCHNER				0.2	0.2	0.2							
<i>Cymbella delicatula</i> KUETZING	0.6												
<i>Cymbella ehrenbergii</i> KUETZING											0.2		
<i>Cymbella helvetica</i> KUETZING				0.4									0.2
<i>Cymbella microcephala</i> (Artengruppe) sensu KRAMMER et LANGE-BERTALOT	0.6		0.4	0.4				0.8	0.9	0.4			
<i>Cymbella minuta</i> HILSE		0.2						0.2				0.2	1.1
<i>Cymbella silesiaca</i> BLEISCH													
<i>Cymbella turgidula</i> GRUNOW							0.2						
<i>Denticula kuetzingii</i> GRUNOW													
<i>Denticula tenuis</i> KUETZING	0.4	0.8						0.4	0.4	0.2			
<i>Diatoma ehrenbergii</i> KUETZING				0.2		0.2	0.4	0.4					0.2
<i>Diatoma moniliformis</i> KUETZING													
<i>Diatoma problematica</i> LANGE-BERTALOT													
<i>Diatoma tenuis</i> J.G.AGARDH													

**Taxa- und Zählliste Greifensee**

	Probe 39 (38-39 cm)	Probe 40 (39-40 cm)	Probe 43 (44-45 cm)	Probe 46 (50-51 cm)	Probe 49 (56-57 cm)	Probe 52 (62-63 cm)	Probe 55 (68-69 cm)	Probe 58 (74-75 cm)	Probe 61 (80-81 cm)	Probe 64 (86-87 cm)	Probe 67 (92-93 cm)	Probe 70 (98-99 cm)	Probe 73 (104-105 cm)
<i>Diatoma vulgare</i> BORY DE SAINT VINCENT			0.2										
<i>Diploneis mauleri</i> (BRUN) CLEVE			0.2	0.6	0.6					0.2	0.4		
<i>Diploneis modica</i> HUSTEDT	0.6												
<i>Diploneis oblongella</i> (NAEGELI) CLEVE-EULER		0.2											
<i>Diploneis oculata</i> (BREBISSON) CLEVE	0.2												
<i>Diploneis ovalis</i> (HILSE) CLEVE			0.2	0.2									
<i>Diploneis parma</i> CLEVE	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Epithemia adnata</i> (KUETZING) BREBISSON									0.2				
<i>Epithemia sorex</i> KUETZING		0.2									0.2	0.4	
<i>Eunotia</i> EHRENBERG	1	0.4											
<i>Fragilaria brevistriata</i> GRUNOW	7.6	1.6	1.7	1	1	2.9	6.5	3	1.6	0.6	0.9	0.8	
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (OESTRUP) HUSTEDT													
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (RABENHORST) RABENHORST													
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT													
<i>Fragilaria construens</i> (EHRENBERG) GRUNOW		0.2	0.2	0.2									
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>binodis</i> (EHRENBERG) HUSTEDT	0.4												
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> (EHRENBERG) HUSTEDT			0.8	1.6	1.5	1.5						0.7	
<i>Fragilaria crotonensis</i> KITTON	0.2	1.2	1.9	1.2	1.2	1.6	1.1	1.1	3.2	2.5	7.5	14	25
<i>Fragilaria cyclopopum</i> (BRUTSCHY) LANGE-BERTALOT													
<i>Fragilaria fasciculata</i> (J.G.AGARDH) LANGE-BERTALOT													
<i>Fragilaria leptostauron</i> (EHRENBERG) HUSTEDT								0.2	0.2	0.2		0.2	
<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>marlyi</i> (HERIBAUD) LANGE-BERTALOT								0.2					
<i>Fragilaria parasitica</i> (W.SMITH) GRUNOW				0.2	0.2								
<i>Fragilaria pinnata</i> EHRENBERG													
<i>Fragilaria pinnata</i> EHRENBERG	2	2.9	2.8	0.8	1	0.8	0.6	2.7	0.4	2.8			
<i>Fragilaria ulna</i> (NITZSCH) LANGE-BERTALOT	0.2	0.2	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9	1.9	
<i>Fragilaria ulna</i> angustissima - Sippen KRAMMER et LANGE-BERTALOT		0.4	0.2	0.2	0.2	0.2							
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (KUETZING) LANGE-BERTALOT													
<i>Gomphonema exilissimum</i> LANGE-BERTALOT et REICHARDT													
<i>Gomphonema lateripunctatum</i> REICHARDT et LANGE-BERTALOT			0.4					0.2	0.2	0.2		0.4	
<i>Gomphonema micropus</i> KUETZING													
<i>Gomphonema olivaceum</i> (HORNEMANN) BREBISSON													
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>olivaceoides</i> (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT et REICHARDT			0.4					0.2	0.2	0.2		0.4	





**Taxa- und Zählliste Greifensee**

Probe 39 (38-39 cm)	Probe 40 (39-40 cm)	Probe 43 (44-45 cm)	Probe 46 (50-51 cm)	Probe 49 (56-57 cm)	Probe 52 (62-63 cm)	Probe 55 (68-69 cm)	Probe 58 (74-75 cm)	Probe 61 (80-81 cm)	Probe 64 (86-87 cm)	Probe 67 (92-93 cm)	Probe 70 (98-99 cm)	Probe 73 (104-105 cm)
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-----------------------

Surirella angusta KUETZING	0.4												
Surirella terricola LANGE-BERTALOT et ALLES													
Tabellaria flocculosa (ROTH) KUETZING	0.2	0.4	0.7	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	5.3	
Anzahl gezählte Schalen	501	513	536	502	515	516	541	530	555	516	531	540	532
Taxazahl	37	43	31	38	31	32	38	35	35	32	32	29	24
Diversität	3.7	3.9	3	3.4	3.1	3.2	3.4	3.2	3.3	3.3	3.3	2.8	2.8



**Tab. A1: Gesamtphosphor-Optima<sub>WA</sub> und -Toleranzen.**

Diese Angaben wurden in der in der Zusammenfassung sich befindenden Abbildung zur Darstellung der Trophieklassen verwendet.

	Optima WA [µg/l P]	Toleranz minimal [µg/l P]	Toleranz maximal [µg/l P]	Vor- kommen [Anzahl]
Achnanthes biasolettiana GRUNOW	26	14	49	38
Achnanthes clevei GRUNOW	64	22	188	4
Achnanthes conspicua A.MAYER	38	17	85	22
Achnanthes exigua GRUNOW	29	18	47	3
Achnanthes flexella (KUETZING) BRUN	20	13	30	2
Achnanthes laevis OESTRUP	22	12	39	14
Achnanthes lanceolata ssp. frequentissima LANGE-BERTALOT	27	16	45	23
Achnanthes lanceolata ssp. lanceolata (BREBISSON) GRUNOW	47	20	110	11
Achnanthes minutissima KUETZING	26	13	52	68
Achnanthes minutissima var. scotica (CARTER) LANGE-BERTALOT	26	18	39	7
Amphora inariensis KRAMMER	16	10	25	5
Amphora ovalis (KUETZING) KUETZING	21	12	35	18
Amphora pediculus (KUETZING) GRUNOW	31	12	81	52
Amphora thumensis (A.MAYER) CLEVE-EULER	22	12	41	5
Asterionella formosa HASSALL	54	22	135	64
Aulacoseira ambigua (GRUNOW) SIMONSEN	49	24	98	5
Aulacoseira granulata (EHRENBERG) SIMONSEN	90	26	307	33
Caloneis bacillum (GRUNOW) CLEVE	22	10	48	22
Caloneis silicula (EHRENBERG) CLEVE	27	14	53	15
Cocconeis pediculus EHRENBERG	33	30	36	2
Cocconeis placentula EHRENBERG	30	16	56	32
Cyclostephanos invisitatus (HOHN et HELLERMANN) THERIOT, STOERMER et HAKANSSON	91	40	208	23
Cyclotella comensis granuliert gemäss Datensatz Lotter	30	17	54	38
Cyclotella cyclopuncta <5µm ev. z.T. C. wuethrichiana Workshop La Chaux-de-Fonds	25	11	56	3
Cyclotella cyclopuncta HAKANSSON et CARTER	25	11	56	3
Cyclotella distinguenda HUSTEDT	22	15	32	9
Cyclotella meneghiniana KUETZING	81	40	164	7
Cyclotella ocellata PANTOCSEK	42	25	72	46
Cyclotella praetermissa LUND	47	27	83	31
Cyclotella pseudostelligera HUSTEDT	35	18	69	53
Cyclotella radiosa Typ 1: flach gemäss Datensatz Lotter	28	16	47	47
Cymatopleura solea (BREBISSON) W.SMITH	24	18	33	3
Cymbella affinis KUETZING	20	14	30	18
Cymbella amphicephala NAEGELI	28	18	43	6
Cymbella caespitosa (KUETZING) BRUN	16	12	22	7
Cymbella cesatii (RABENHORST) GRUNOW	26	16	42	7
Cymbella delicatula KUETZING	18	12	28	4
Cymbella ehrenbergii KUETZING	23	21	26	5
Cymbella helvetica KUETZING	23	12	43	6
Cymbella microcephala (Artengruppe) sensu KRAMMER et LANGE-BERTALOT	24	14	42	45
Cymbella minuta HILSE	25	11	57	38
Cymbella silesiaca BLEISCH	21	12	34	21
Denticula tenuis KUETZING	20	13	33	32
Diatoma moniliformis KUETZING	30	16	56	5
Diatoma tenuis J.G.AGARDH	51	21	122	17
Diatoma vulgare BORY DE SAINT VINCENT	94	23	380	7
Diploneis oblongella (NAEGELI) CLEVE-EULER	15	10	22	11
Diploneis oculata (BREBISSON) CLEVE	21	14	31	19
Diploneis ovalis (HILSE) CLEVE	19	13	28	25
Diploneis parva CLEVE	19	13	26	2
Epithemia adnata (KUETZING) BREBISSON	52	37	71	2
Fragilaria brevistriata GRUNOW	23	13	43	39
Fragilaria capucina var. gracilis (OESTRUP) HUSTEDT	44	24	80	21
Fragilaria capucina var. mesolepta (RABENHORST) RABENHORST	38	18	83	10
Fragilaria capucina var. vaucheriae (KUETZING) LANGE-BERTALOT	38	15	99	25
Fragilaria construens (EHRENBERG) GRUNOW	25	14	43	29

Tab. A1: Fortsetzung.

	Optima WA [µg/l P]	Toleranz minimal [µg/l P]	Toleranz maximal [µg/l P]	Vor- kommen [Anzahl]
Fragilaria construens f. binodis (EHRENBERG) HUSTEDT	19	12	30	13
Fragilaria construens f. venter (EHRENBERG) HUSTEDT	24	13	44	47
Fragilaria crotonensis KITTON	91	28	295	43
Fragilaria leptostauron (EHRENBERG) HUSTEDT	26	13	53	4
Fragilaria leptostauron var. martyi (HERIBAUD) LANGE-BERTALOT	21	17	27	6
Fragilaria parasitica (W.SMITH) GRUNOW	20	14	28	12
Fragilaria pinnata EHRENBERG	20	12	35	44
Fragilaria ulna (NITZSCH) LANGE-BERTALOT	51	19	136	53
Fragilaria ulna var. acus (KUETZING) LANGE-BERTALOT	37	18	77	60
Gomphonema exilissimum LANGE-BERTALOT et REICHARDT	12	8	16	3
Gomphonema micropus KUETZING	17	12	26	4
Gomphonema olivaceum (HORNEMANN) BREBISSON	71	17	299	8
Gomphonema parvulum (KUETZING) KUETZING	67	33	136	5
Gomphonema pumilum (GRUNOW) LANGE-BERTALOT et REICHARDT	19	13	29	11
Gomphonema tergestinum FRICKE	13	10	16	2
Gyrosigma acuminatum (KUETZING) RABENHORST	23	14	38	28
Meridion circulare (GREVILLE) J.G.AGARDH	40	14	115	27
Navicula bryophila PETERSEN	17	12	24	2
Navicula cryptotenella LANGE-BERTALOT	29	12	71	48
Navicula cuspidata (KUETZING) KUETZING	29	13	65	3
Navicula gregaria DONKIN	65	16	262	11
Navicula lanceolata (J.G.AGARDH) EHRENBERG	30	18	51	31
Navicula modica HUSTEDT	41	19	89	5
Navicula oblonga KUETZING	52	32	86	6
Navicula placentula (EHRENBERG) GRUNOW	21	20	22	2
Navicula pupula KUETZING	24	13	43	38
Navicula radiosa KUETZING	14	9	23	2
Navicula reichardtiana LANGE-BERTALOT	54	24	123	5
Navicula rhynchocephala KUETZING	23	13	41	22
Navicula rotunda HUSTEDT	31	13	74	3
Navicula schoenfeldii HUSTEDT	37	11	127	4
Navicula subrotundata HUSTEDT	20	16	23	5
Navicula tripunctata (O.F.MUELLER) BORY DE SAINT VINCENT	94	29	307	11
Navicula trivialis LANGE-BERTALOT	26	14	46	8
Navicula tuscula (EHRENBERG) GRUNOW	32	13	78	2
Navicula utermoehlii HUSTEDT	29	16	53	15
Navicula vitabunda HUSTEDT	21	11	41	11
Nitzschia amphibia GRUNOW	91	47	175	4
Nitzschia angustata (W.SMITH) GRUNOW	21	11	42	10
Nitzschia dissipata (KUETZING) GRUNOW	41	14	124	39
Nitzschia fonticola GRUNOW	36	15	88	15
Nitzschia gracilis HANTZSCH	25	14	44	9
Nitzschia lacuum LANGE-BERTALOT	24	14	43	25
Nitzschia linearis (J.G.AGARDH) W.SMITH	36	14	93	8
Nitzschia recta HANTZSCH	42	13	139	9
Rhoicosphenia abbreviata (J.G.AGARDH) LANGE-BERTALOT	350	110	1112	2
Rhopalodia gibba (EHRENBERG) O.MUELLER	21	15	28	3
Stauroneis producta GRUNOW	16	14	18	2
Stephanodiscus alpinus HUSTEDT	48	23	97	23
Stephanodiscus hantzschii < 12µm GRUNOW	73	37	146	25
Stephanodiscus hantzschii = 12µm gemäss Datensatz Lotter	73	37	146	25
Stephanodiscus hantzschii >12µm gemäss Datensatz Lotter	73	37	146	25
Stephanodiscus minutulus (KUETZING) CLEVE et MOELLER	59	32	109	12
Stephanodiscus parvus STOERMER et HAKANSSON	75	29	199	56
Surirella angusta KUETZING	49	20	123	4
Tabellaria flocculosa (ROTH) KUETZING	25	12	52	9

## **Anhang B**

### **Unterlagen zur Datierung des Sedimentkernes GR03-4**

#### **Abb. B1: Isotopenmessungen Greifensee-Sedimentkern GR03-4**

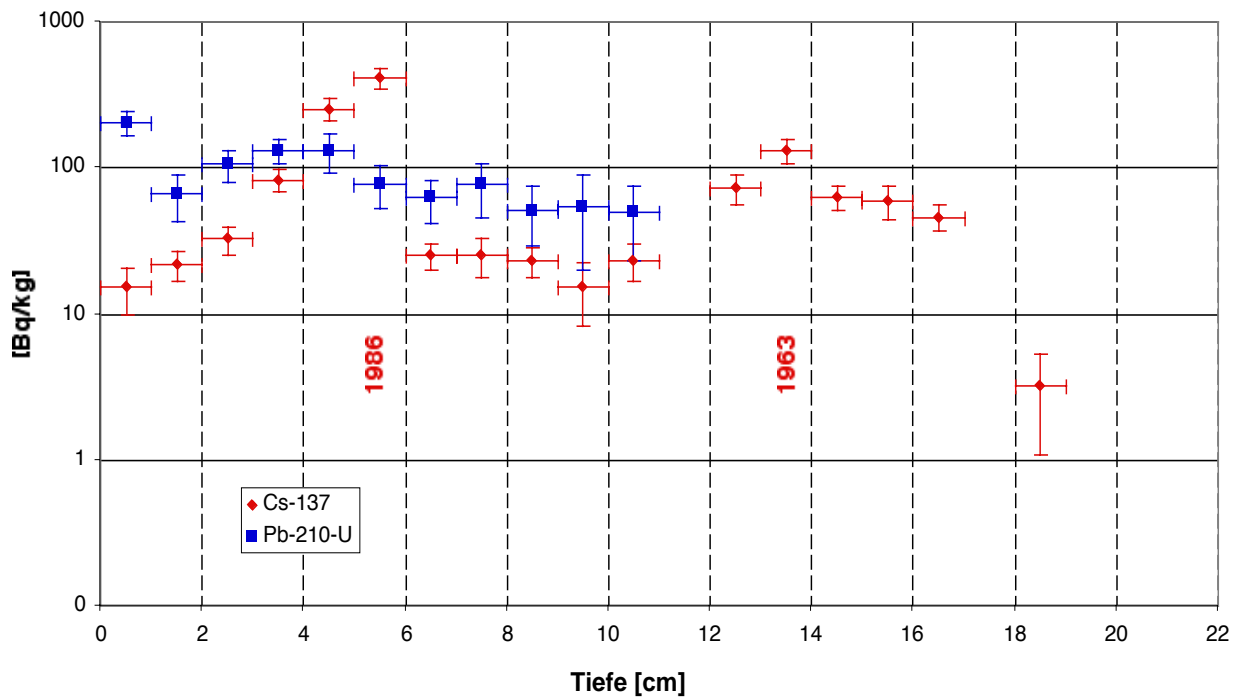
alle Angaben von Dr. Michael Sturm, EAWAG

**Projekt :** Greifensee 2003  
**Station :** GR03-4, tiefste Stelle  
**Wassertiefe:** 32 m  
**Probenahmedatum :** 25.4.2003  
**EAWAG corer Ø63mm:** M. Sturm und A.Zwysig  
**Auswertung:** M.Sturm

Probe-Nr.	Sedimentation		Alter oben	Alter unten	Turbidite	Bemerkungen	
	oben [cm]	unten [cm]					[cm/y]
GR03-4_01	0	1	0.25	4	2003	1999	Varvenzählung
GR03-4_02	1	2	0.25	4	1999	1995	Varvenzählung
GR03-4_03	2	3	0.25	4	1995	1991	Varvenzählung
GR03-4_04	3	4	0.33	3	1991	1988	Varvenzählung
GR03-4_05	4	5	0.29	3.5	1988	1985	Varvenzählung
GR03-4_06	5	6	0.4	2.5	1985	1982	Varvenzählung
GR03-4_07	6	7	0.33	3	1982	1979	Varvenzählung
GR03-4_08	7	8	0.5	2	1979	1977	Varvenzählung
GR03-4_09	8	9	0.5	2	1977	1975	Varvenzählung
GR03-4_10	9	10	0.5	2	1975	1973	Varvenzählung
GR03-4_11	10	11	0.33	3	1973	1970	Varvenzählung
GR03-4_12	11	12	0.33	3	1970	1967	Varvenzählung
GR03-4_13	12	13	0.33	3	1967	1964	Varvenzählung
GR03-4_14	13	14	0.5	2	1964	1962	Varvenzählung
GR03-4_15	14	15	0.33	3	1962	1959	Varvenzählung
GR03-4_16	15	16	0.33	3	1959	1956	Varvenzählung
GR03-4_17	16	17	0.33	3	1956	1953	Varvenzählung
GR03-4_18	17	18	0.5	2	1953	1951	interpoliert
GR03-4_19	18	19	0.5	2	1951	1949	interpoliert
GR03-4_20	19	20	0.5	2	1949	1947	interpoliert
GR03-4_21	20	21	0.5	2	1947	1945	interpoliert
GR03-4_22	21	22	0.5	2	1945	1943	interpoliert
GR03-4_23	22	23	0.5	2	1943	1941	interpoliert
GR03-4_24	23	24	0.5	2	1941	1939	interpoliert
GR03-4_25	24	25	0.5	2	1939	1937	interpoliert
GR03-4_26	25	26	0.5	2	1937	1935	1936 = 25.3 cm
GR03-4_27	26	27	0.25	4	1935	1931	extrapolierte Datierung
GR03-4_28	27	28	0.25	4	1931	1927	extrapolierte Datierung
GR03-4_29	28	29	0.25	4	1927	1923	extrapolierte Datierung
GR03-4_30	29	30	0.25	4	1923	1919	extrapolierte Datierung
GR03-4_31	30	31	0.25	4	1919	1915	extrapolierte Datierung
GR03-4_32	31	32	0.25	4	1915	1911	extrapolierte Datierung
GR03-4_33	32	33	0.25	4	1911	1907	extrapolierte Datierung
GR03-4_34	33	34	0.25	4	1907	1903	extrapolierte Datierung
GR03-4_35	34	35	0.25	4	1903	1899	extrapolierte Datierung
GR03-4_36	35	36	0.25	4	1899	1895	extrapolierte Datierung
GR03-4_37	36	37	0.25	4	1895	1891	extrapolierte Datierung
GR03-4_38	37	38	0.25	4	1891	1887	extrapolierte Datierung
GR03-4_39	38	39	0.25	4	1887	1883	extrapolierte Datierung
GR03-4_40	39	40	0.25	4	1883	1879	extrapolierte Datierung
GR03-4_41	40	41	0.25	4	1879	1875	extrapolierte Datierung
GR03-4_42	41	42	0.25	4	1875	1871	extrapolierte Datierung
GR03-4_43	42	43	0.25	4	1871	1867	extrapolierte Datierung
GR03-4_44	43	44	0.25	4	1867	1863	extrapolierte Datierung
GR03-4_45	44	45	0.25	4	1863	1859	extrapolierte Datierung
GR03-4_46	45	46	0.25	4	1859	1855	extrapolierte Datierung
GR03-4_47	46	47	0.25	4	1855	1851	extrapolierte Datierung
GR03-4_48	47	48	0.25	4	1851	1847	extrapolierte Datierung
GR03-4_49	48	49	0.25	4	1847	1843	extrapolierte Datierung

Probe-Nr.	oben unten		Sedimentation		Alter		Turbidite	Bemerkungen
	[cm]	[cm]	[cm/y]	[y/cm]	oben	unten		
GR03-4_50	49	50	0.25	4	1843	1839		extrapolierte Datierung
GR03-4_51	50	51	0.25	4	1839	1835		extrapolierte Datierung
GR03-4_52	51	52	0.25	4	1835	1831		extrapolierte Datierung
GR03-4_53	52	53	0.25	4	1831	1827		extrapolierte Datierung
GR03-4_54	53	54	0.25	4	1827	1823		extrapolierte Datierung
GR03-4_55	54	55	0.25	4	1823	1819		extrapolierte Datierung
GR03-4_56	55	56	0.25	4	1819	1815		extrapolierte Datierung
GR03-4_57	56	57	0.25	4	1815	1811		extrapolierte Datierung
GR03-4_58	57	58	0.25	4	1811	1807		extrapolierte Datierung
GR03-4_59	58	59	0.25	4	1807	1803		extrapolierte Datierung
GR03-4_60	59	60	0.25	4	1803	1799		extrapolierte Datierung
GR03-4_61	60	61	0.25	4	1799	1795		extrapolierte Datierung
GR03-4_62	61	62	0.25	4	1795	1791		extrapolierte Datierung
GR03-4_63	62	63	0.25	4	1791	1787		extrapolierte Datierung
GR03-4_64	63	64	0.25	4	1787	1783		extrapolierte Datierung
GR03-4_65	64	65	0.25	4	1783	1779		extrapolierte Datierung
GR03-4_66	65	66	0.25	4	1779	1775		extrapolierte Datierung
GR03-4_67	66	67	0.25	4	1775	1771		extrapolierte Datierung
GR03-4_68	67	68	0.25	4	1771	1767		extrapolierte Datierung
GR03-4_69	68	69	0.25	4	1767	1763		extrapolierte Datierung
GR03-4_70	69	70	0.25	4	1763	1759		extrapolierte Datierung
GR03-4_71	70	71	0.25	4	1759	1755		extrapolierte Datierung
GR03-4_72	71	72	0.25	4	1755	1751		extrapolierte Datierung
GR03-4_73	72	73	0.25	4	1751	1747		extrapolierte Datierung
GR03-4_74	73	74	0.25	4	1747	1743		extrapolierte Datierung
GR03-4_75	74	75	0.25	4	1743	1739		extrapolierte Datierung
GR03-4_76	75	76	0.25	4	1739	1735		extrapolierte Datierung
GR03-4_77	76	77	0.25	4	1735	1731		extrapolierte Datierung
GR03-4_78	77	78	0.25	4	1731	1727		extrapolierte Datierung
GR03-4_79	78	79	0.25	4	1727	1723		extrapolierte Datierung
GR03-4_80	79	80	0.25	4	1723	1719		extrapolierte Datierung
GR03-4_81	80	81	0.25	4	1719	1715		extrapolierte Datierung
GR03-4_82	81	82	0.25	4	1715	1711		extrapolierte Datierung
GR03-4_83	82	83	0.25	4	1711	1707		extrapolierte Datierung
GR03-4_84	83	84	0.25	4	1707	1703		extrapolierte Datierung
GR03-4_85	84	85	0.25	4	1703	1699		extrapolierte Datierung
GR03-4_86	85	86	0.25	4	1699	1695		extrapolierte Datierung
GR03-4_87	86	87	0.25	4	1695	1691		extrapolierte Datierung
GR03-4_88	87	88	0.25	4	1691	1687		extrapolierte Datierung
GR03-4_89	88	89	0.25	4	1687	1683		extrapolierte Datierung
GR03-4_90	89	90	0.25	4	1683	1679		extrapolierte Datierung
GR03-4_91	90	91	0.25	4	1679	1675		extrapolierte Datierung
GR03-4_92	91	92	0.25	4	1675	1671		extrapolierte Datierung
GR03-4_93	92	93	0.25	4	1671	1667		extrapolierte Datierung
GR03-4_94	93	94	0.25	4	1667	1663		extrapolierte Datierung
GR03-4_95	94	95	0.25	4	1663	1659		extrapolierte Datierung
GR03-4_96	95	96	0.25	4	1659	1655		extrapolierte Datierung
GR03-4_97	96	97	0.25	4	1655	1651		extrapolierte Datierung
GR03-4_98	97	98	0.25	4	1651	1647		extrapolierte Datierung
GR03-4_99	98	99	0.25	4	1647	1643		extrapolierte Datierung
GR03-4_100	99	100	0.25	4	1643	1639		extrapolierte Datierung
GR03-4_101	100	101	0.25	4	1639	1635		extrapolierte Datierung
GR03-4_102	101	102	0.25	4	1635	1631		extrapolierte Datierung
GR03-4_103	102	103	0.25	4	1631	1627		extrapolierte Datierung
GR03-4_104	103	104	0.25	4	1627	1623		extrapolierte Datierung
GR03-4_105	104	105	0.25	4	1623	1619		extrapolierte Datierung
GR03-4_106	105	106	0.25	4	1619	1615		extrapolierte Datierung

### Greifensee GR03-4



**Abb. B1: Isotopenmessungen Greifensee-Sedimentkern GR03-4.**

Rote Kurve  $^{137}\text{Cs}$ ; blaue Kurve  $^{210}\text{Pb}$ .  
Messungen durch Dr. Michael Sturm, EAWAG.

## **Anhang C**

### **Wassergehalt des Sedimentkernes GR03-4**

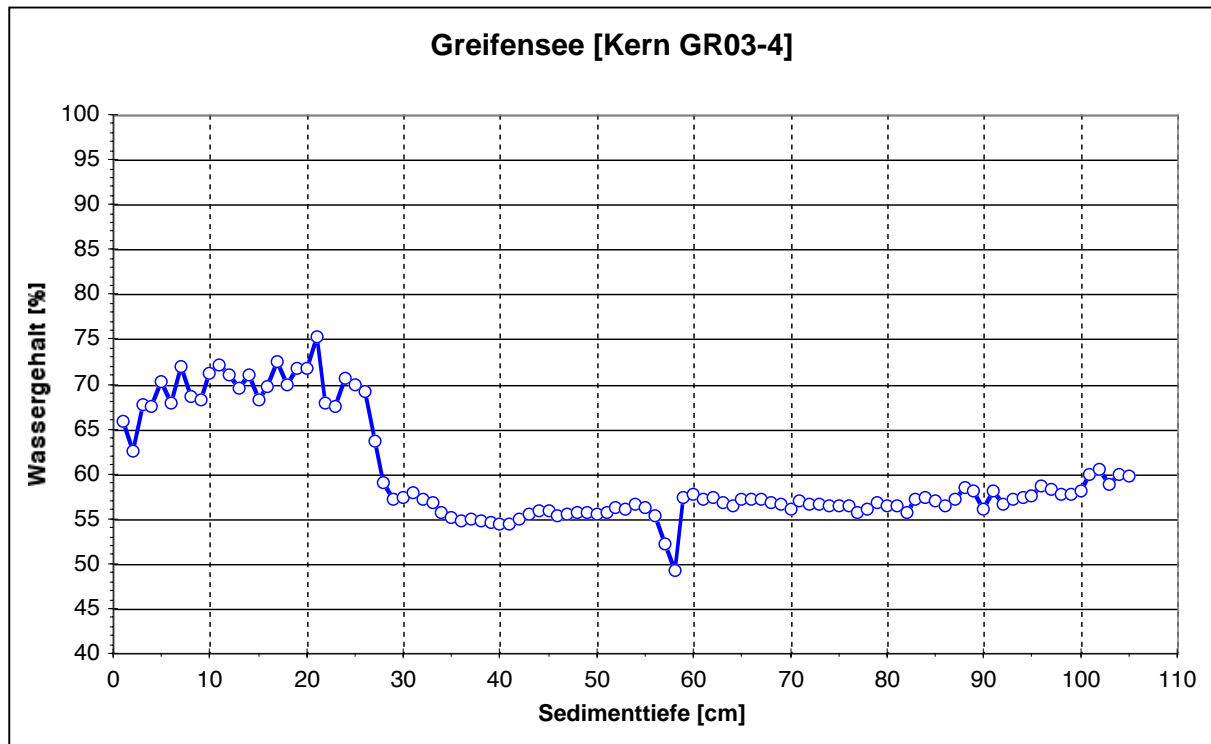
#### **Abb. C1: Wassergehalt Greifensee-Sedimentkern GR03-4**

alle Angaben von Dr. Michael Sturm, EAWAG

Probe Nr.	Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Tara [g]	Tara+ Probe nass [g]	Tara+ Probe trocken [g]	Sediment feucht [g]	Sediment trocken [g]	Wassergehalt [g]	Wassergehalt [%]
1	0	1	11.49	22.50	15.25	11.01	3.76	7.25	65.8
2	1	2	11.51	32.83	19.51	21.32	7.99	13.32	62.5
3	2	3	11.47	25.78	16.10	14.31	4.63	9.68	67.7
4	3	4	11.48	27.89	16.81	16.41	5.33	11.08	67.5
5	4	5	11.48	25.46	15.64	13.98	4.16	9.82	70.2
6	5	6	11.49	25.15	15.89	13.65	4.40	9.26	67.8
7	6	7	11.48	25.07	15.28	13.59	3.81	9.79	72.0
8	7	8	11.51	25.66	15.94	14.14	4.43	9.71	68.7
9	8	9	11.45	27.90	16.67	16.45	5.23	11.22	68.2
10	9	10	11.51	23.96	15.10	12.45	3.59	8.86	71.2
11	10	11	11.45	24.37	15.06	12.92	3.61	9.30	72.0
12	11	12	11.48	25.43	15.52	13.95	4.04	9.91	71.1
13	12	13	11.47	26.88	16.17	15.41	4.70	10.71	69.5
14	13	14	11.45	24.96	15.37	13.51	3.92	9.59	71.0
15	14	15	11.48	27.78	16.66	16.30	5.18	11.12	68.2
16	15	16	11.44	22.96	14.93	11.51	3.49	8.03	69.7
17	16	17	11.44	24.29	14.98	12.85	3.53	9.32	72.5
18	17	18	11.46	26.17	15.90	14.70	4.43	10.27	69.8
19	18	19	11.51	23.89	15.01	12.38	3.49	8.88	71.8
20	19	20	11.49	24.85	15.26	13.36	3.78	9.58	71.7
21	20	21	11.44	23.85	14.51	12.40	3.07	9.34	75.3
22	21	22	11.48	25.45	15.96	13.97	4.48	9.49	67.9
23	22	23	11.49	23.85	15.51	12.36	4.02	8.35	67.5
24	23	24	11.48	25.95	15.74	14.47	4.25	10.21	70.6
25	24	25	11.44	25.83	15.77	14.39	4.33	10.06	69.9
26	25	26	11.45	24.88	15.59	13.43	4.14	9.29	69.2
27	26	27	11.49	25.33	16.53	13.84	5.04	8.80	63.6
28	27	28	11.47	28.39	18.40	16.91	6.93	9.99	59.0
29	28	29	11.49	24.86	17.20	13.37	5.71	7.65	57.3
30	29	30	11.44	28.67	18.80	17.23	7.36	9.87	57.3
31	30	31	11.49	26.56	17.82	15.07	6.33	8.74	58.0
32	31	32	11.51	25.03	17.30	13.51	5.78	7.73	57.2
33	32	33	11.49	25.19	17.41	13.70	5.92	7.78	56.8
34	33	34	11.48	27.04	18.37	15.56	6.89	8.67	55.7
35	34	35	11.48	24.43	17.30	12.94	5.82	7.13	55.1
36	35	36	11.52	27.05	18.54	15.53	7.02	8.51	54.8
37	36	37	11.48	27.31	18.61	15.83	7.13	8.70	54.9
38	37	38	11.48	27.45	18.71	15.97	7.23	8.74	54.7
39	38	39	11.45	24.23	17.27	12.78	5.82	6.97	54.5
40	39	40	11.45	28.63	19.29	17.18	7.84	9.34	54.4
41	40	41	11.45	29.16	19.52	17.72	8.08	9.64	54.4
42	41	42	11.49	26.15	18.11	14.67	6.62	8.05	54.9
43	42	43	11.48	27.45	18.58	15.97	7.10	8.87	55.5
44	43	44	11.49	24.40	17.18	12.91	5.69	7.22	55.9
45	44	45	11.48	26.77	18.23	15.29	6.76	8.53	55.8
46	45	46	11.45	26.64	18.23	15.19	6.77	8.42	55.4
47	46	47	11.45	25.27	17.61	13.82	6.16	7.66	55.4
48	47	48	11.44	24.88	17.39	13.44	5.95	7.49	55.7
49	48	49	11.49	26.20	18.00	14.71	6.52	8.19	55.7
50	49	50	11.44	24.75	17.37	13.31	5.93	7.38	55.5
51	50	51	11.51	26.69	18.24	15.18	6.73	8.45	55.7
52	51	52	11.49	26.31	17.97	14.82	6.48	8.34	56.3
53	52	53	11.48	27.74	18.63	16.26	7.16	9.11	56.0
54	53	54	11.48	25.66	17.64	14.17	6.16	8.01	56.5



Probe Nr.	Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Tara [g]	Tara+ Probe nass [g]	Tara+ Probe trocken [g]	Sediment feucht [g]	Sediment trocken [g]	Wassergehalt [g]	Wassergehalt [%]
55	54	55	11.48	26.78	18.18	15.30	6.69	8.60	56.2
56	55	56	11.46	25.78	17.85	14.33	6.40	7.93	55.3
57	56	57	11.49	25.56	18.22	14.07	6.73	7.34	52.2
58	57	58	11.45	28.89	20.29	17.44	8.84	8.60	49.3
59	58	59	11.49	28.31	18.65	16.82	7.16	9.65	57.4
60	59	60	11.49	24.48	17.00	12.99	5.50	7.49	57.7
61	60	61	11.44	27.13	18.15	15.69	6.71	8.98	57.3
62	61	62	11.52	26.16	17.77	14.64	6.25	8.39	57.3
63	62	63	11.45	25.56	17.54	14.11	6.10	8.01	56.8
64	63	64	11.49	26.27	17.94	14.78	6.45	8.33	56.4
65	64	65	11.45	28.95	18.94	17.50	7.49	10.01	57.2
66	65	66	11.51	26.44	17.90	14.93	6.39	8.54	57.2
67	66	67	11.46	25.96	17.67	14.50	6.22	8.29	57.1
68	67	68	11.45	25.44	17.49	13.99	6.04	7.95	56.8
69	68	69	11.48	27.38	18.39	15.90	6.90	9.00	56.6
70	69	70	11.49	27.61	18.57	16.12	7.08	9.04	56.1
71	70	71	11.51	24.21	16.97	12.70	5.45	7.25	57.1
72	71	72	11.48	26.66	18.07	15.18	6.59	8.59	56.6
73	72	73	11.48	25.10	17.39	13.62	5.91	7.71	56.6
74	73	74	11.44	26.56	18.03	15.12	6.59	8.54	56.4
75	74	75	11.51	24.40	17.12	12.89	5.60	7.28	56.5
76	75	76	11.44	26.97	18.21	15.53	6.77	8.76	56.4
77	76	77	11.49	23.82	16.95	12.33	5.46	6.87	55.7
78	77	78	11.49	27.06	18.32	15.57	6.83	8.74	56.1
79	78	79	11.49	27.01	18.19	15.52	6.70	8.82	56.8
80	79	80	11.48	26.18	17.87	14.70	6.39	8.30	56.5
81	80	81	11.47	23.59	16.77	12.12	5.29	6.83	56.3
82	81	82	11.48	29.06	19.27	17.57	7.78	9.79	55.7
83	82	83	11.48	25.01	17.27	13.53	5.79	7.74	57.2
84	83	84	11.49	23.70	16.71	12.21	5.22	6.99	57.3
85	84	85	11.49	28.23	18.69	16.75	7.20	9.55	57.0
86	85	86	11.49	24.08	16.98	12.59	5.49	7.09	56.4
87	86	87	11.50	25.60	17.55	14.11	6.05	8.06	57.1
88	87	88	11.45	26.25	17.60	14.80	6.15	8.65	58.4
89	88	89	11.52	26.78	17.92	15.26	6.40	8.86	58.1
90	89	90	11.48	25.59	17.68	14.10	6.20	7.90	56.1
91	90	91	11.49	23.84	16.68	12.35	5.19	7.17	58.0
92	91	92	11.48	27.42	18.40	15.94	6.92	9.01	56.6
93	92	93	11.48	26.83	18.04	15.35	6.56	8.78	57.2
94	93	94	11.47	25.44	17.42	13.96	5.94	8.02	57.4
95	94	95	11.48	27.66	18.37	16.18	6.88	9.30	57.5
96	95	96	11.52	28.00	18.33	16.48	6.81	9.67	58.7
97	96	97	11.49	26.03	17.56	14.54	6.07	8.47	58.3
98	97	98	11.44	28.45	18.63	17.01	7.18	9.83	57.8
99	98	99	11.49	28.86	18.83	17.36	7.34	10.03	57.7
100	99	100	11.46	23.91	16.68	12.45	5.22	7.23	58.1
101	100	101	11.45	29.47	18.66	18.02	7.21	10.81	60.0
102	101	102	11.48	28.00	17.99	16.52	6.51	10.01	60.6
103	102	103	11.48	27.96	18.25	16.49	6.78	9.71	58.9
104	103	104	11.49	24.03	16.51	12.54	5.02	7.52	60.0
105	104	105	11.48	23.11	16.16	11.62	4.68	6.95	59.8



**Abb. C1: Wassergehalt in Prozent im Greifensee-Sedimentkern GR03-4.**

Messungen durch Dr. Michael Sturm, EAWAG.