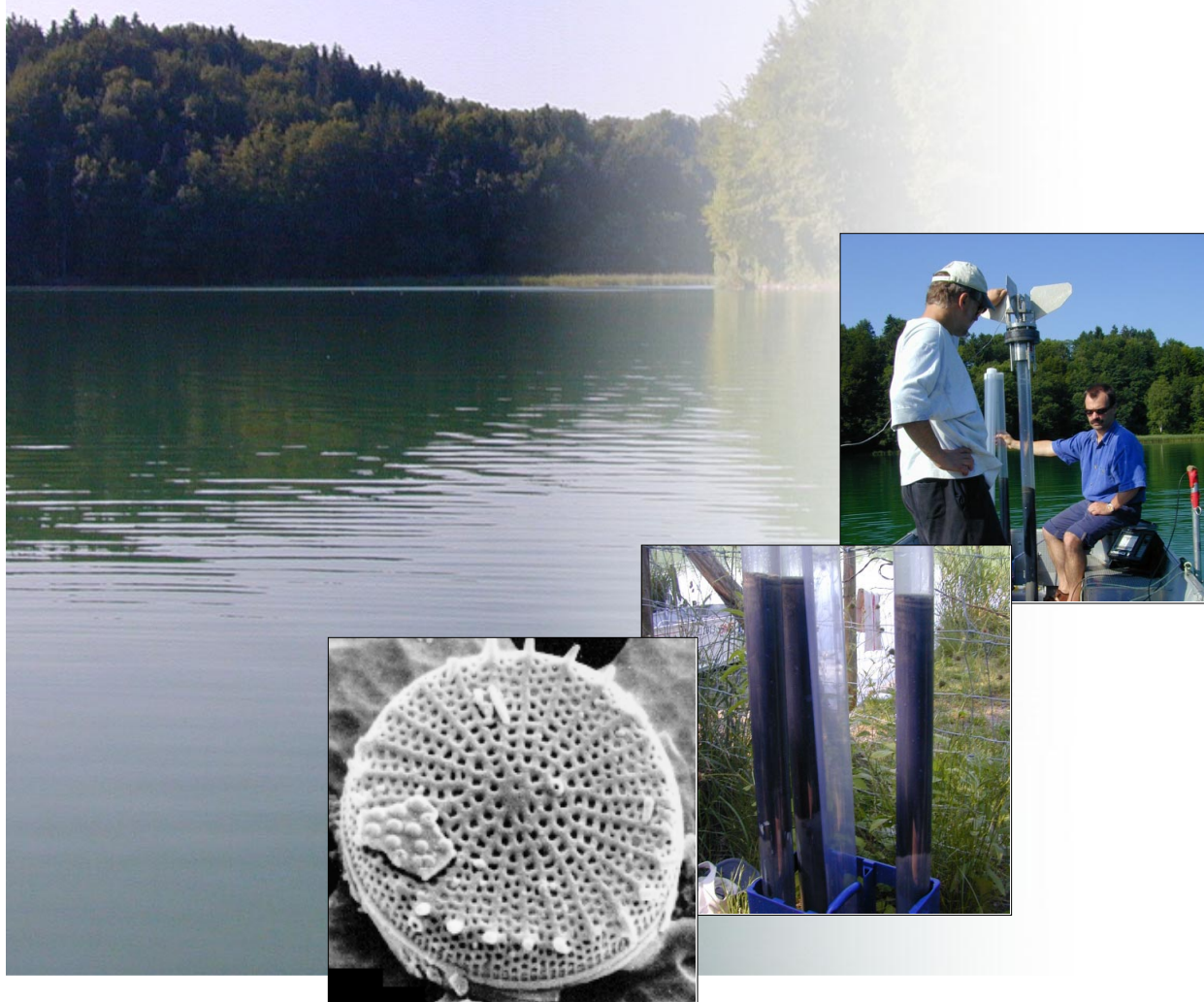


Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlerseersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen

Rekonstruktion

seit 1750



Unterägeri, Juni 2001

AquaPlus
AquaPlus
AquaPlus

Elber Hürlimann Niederberger

Angewandte Ökologie
Gewässer- und Fischereifragen
Landschafts- und Naturschutzplanung

Gewerbestrasse 5a CH-6314 Unterägeri
Telefon 041 / 750 50 09
Fax 041 / 750 50 28

INHALTSVERZEICHNIS

BERICHT

1.	Einleitung	2
2.	Auftragserteilung	2
3.	Bisherige Erkenntnisse und Messdaten zur Nährstoffentwicklung im Türlerseer	3
3.1	Kurze Literaturzusammenstellung	3
3.2	Limnologisch relevante Ereignisse und Beobachtungen im Türlerseer und seinem Einzugsgebiet	3
3.3	Entwicklung des Gesamtphosphors gemäss Messungen	5
4.	Grundlagen und verwendete Methoden	6
4.1	Sedimentkern TÜR00-2 und Datierung	6
4.2	Kieselalgen	8
4.3	Trophiegradbestimmung aus chemischen Daten	10
5.	Resultate	11
5.1	Kieselalgen-Stratigraphie	11
5.2	Taxazahl und Diversität	14
5.3	Gesamtphosphor-Rekonstruktion	14
6.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	19
7.	Literaturverzeichnis	21

ANHANG 23

A	Resultate der Schnellzählung und Auflistung der ausgezählten Proben	24
	Relative Kieselalgenschalendichte pro 1-cm-Sedimentschicht	25
	Kieselalgen-Zählresultate	26
	Eichdatensatz: TP Training Set 72 Seen von Prof. Lotter	28
B	Unterlagen zur Datierung des Sedimentkernes TÜR00-2	33
	Isotopenmessungen	36

1. Einleitung

Der Türlerseer See wird seit dem Winterhalbjahr 1987/88 mittels einer Zirkulationsunterstützungsanlage saniert. Neben dieser internen Sanierungsmassnahme tragen weitere externe Sanierungsmassnahmen (z.B. Fernhalten von häuslichem Abwasser) zur deutlichen Senkung des in den 1950er Jahren schon sehr hohen Nährstoffgehaltes bei. Die Zielsetzung für die Sanierung eines Sees wird in der neuen Gewässerschutzverordnung grundsätzlich und sehr allgemein geregelt (GSchV Anhang II Art 13 Absatz 2). So gilt für Schweizer Seen, dass der *Nährstoffgehalt höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen darf*. Ausgenommen von dieser Verpflichtung sind Seen, welche eine hohe biologische Produktion auf Grund besonderer natürlicher Verhältnisse aufweisen. Weitergehende spezifische Angaben zur Präzisierung der Sanierungsziele sind aber in der GSchV nicht enthalten.

Mit der vorliegenden Rekonstruktion der Entwicklung des Gesamtphosphors im Pfäffikersee soll die Nährstoffgeschichte über mehrere Jahrhunderte zurück aufgezeigt werden. Damit sollen Erkenntnisse gewonnen werden, die weit über die heute verfügbaren chemischen Messungen des Gesamtphosphors hinausgehen. Es soll aufgezeigt werden wie die Nährstoffverhältnisse im 18., 19. und 20. Jahrhundert waren und wann und unter welchen Umständen menschenbedingte Veränderungen eintraten. Mittels dieser Nährstoffentwicklung soll dann für den Türlerseer See geprüft werden, ob das zur Zeit gültige Sanierungsziel von 25 µg P/l (Baudirektion Kanton Zürich 1998) den natürlichen Verhältnissen entspricht oder angepasst werden muss. Zudem sollen weitere, allenfalls auch auf biologischen Kriterien basierte Sanierungsziele vorgeschlagen werden.

Für die Rekonstruktion früherer Nährstoffverhältnisse in Seen eignet sich die Untersuchung von im Sediment abgelagerten Schalen toter Kieselalgen besonders gut. Die Schalen enthalten Silikate, welche in den Seesedimenten über Jahrhunderte erhalten bleiben. Aus der Form der Schalen kann auf die entsprechenden Kieselalgenarten und auf die zur Lebenszeit dieser Algen herrschenden Nährstoffverhältnisse (Gesamtphosphor) geschlossen werden. Für die zeitliche Zuordnung ist die Datierung der Sedimentablagerung Voraussetzung.

2. Auftragserteilung

Der Auftrag 'Rekonstruktion der Trophiegeschichte des Türlersees mittels Kieselalgen' wurde am 12. Mai 2000 an die Firma AquaPlus in Unterägeri erteilt. Als Auftraggeber zeichnet das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Oberflächengewässerschutz) der Baudirektion des Kantons Zürich. Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit Dr. Pius Niederhauser (Auftraggeber, Kernentnahme, Lieferung der Gesamtphosphormesswerte), Herr Alois Zwysig, EA-WAG (Kernentnahme), Dr. Mike Sturm, EAWAG (Datierung des Sedimentkernes) und Prof. André Lotter, University of Utrecht, Niederland (Berechnung der Gesamtphosphor-Rekonstruktion). Die Präparation der Proben, die Bestimmung und Zählung der Kieselalgen, die Rekonstruktion der trophischen Verhältnisse sowie die Berichterstattung erfolgte durch AquaPlus.

3. Bisherige Erkenntnisse und Messdaten zur Nährstoffentwicklung im Türlerseersee

3.1 Kurze Literaturzusammenstellung

Der Türlerseersee und seine Zuflüsse wurden 1943/44 von Thomas (1948) limnologisch erstmals umfangreich untersucht. Thomas (1948) zitiert aber Untersuchungsergebnisse von Bürkli-Ziegler (1876), welcher den Türlerseersee in Zusammenhang mit der städtischen Wasserversorgung bereits chemisch untersuchte (Oberflächenwasser und in 15m Tiefe). Den Türlerseersee betreffend weitere limnologische, gewässerökologische sowie andere Arbeiten sind (unvollständige Liste): Keller (1823), Heierle & Kübler (1911), Thomas (1956, 1967), Wildi (1963), Soracreppa (1978), Keller (1988), Ambühl (1989), Oehen & Stalder (1989), Aeberli & Keller (1995), Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1992, 1994, 1996) und Baudirektion Kanton Zürich (1998). Mit diesen weiteren Arbeiten wurden neben chemischen, biologischen und sedimentologischen Aspekten auch die Gewässersanierung und die Gewässerschutzmassnahmen behandelt. Heierle & Kübler (1911) erwähnen Funde aus der Pfahlbauerzeit, welche während des extremen Niedrigwasserstandes im Herbst 1911 gemacht wurden. In den Werken Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1992, 1994, 1996) sowie Baudirektion Kanton Zürich (1998) wird der aktuelle Zustand des Türlersees ausführlich und illustrativ beschrieben.

3.2 Limnologisch relevante Ereignisse und Beobachtungen im Türlerseersee und seinem Einzugsgebiet

Thomas (1948) erwähnt, dass aufgrund der Hinweise, Bemerkungen und Arbeiten von Keller (1823) und Bürkli-Ziegler (1876) sowie seinen eigenen Sedimentuntersuchungen der Zustand des Türlersees im 19. Jahrhundert noch gut gewesen sein muss. Gemäss Thomas (1948) befand sich dann aber der Türlerseersee um 1944 bereits in einem eutrophen Zustand, bedingt durch Abwasser aus einer Käserei und durch gelegentliche, schubweise Zufuhr von Jauche sowie den intensiv gedüngten Feldern und Wiesen. Der damals schlechte Zustand des Türlersees lässt sich aus seinen Messungen ableiten. So wurden infolge Teilzirkulation im Frühling über Grund erhöhte Ammoniumgehalte festgestellt (z.B. am 3. März 1943 in 20 m Tiefe: 2.96 mg NH₄-N/l). Die Teilzirkulation ist offenbar gemäss mündlicher Mitteilung von Dr. Pius Niederhauser (AWEL Zürich) ein für den windgeschützten Türlerseersee häufig festgestelltes Phänomen.

Im folgenden sind basierend auf oben zitierter Literatur in chronologischer Reihenfolge Ereignisse und Beobachtungen aufgeführt, die für den Türlerseersee von Bedeutung waren. Die Liste wird allerdings durch die Arbeit von Thomas (1948) geprägt und damit ist sie mit Sicherheit nicht vollständig. Ob und in welcher Ausprägtheit sich diese Vorkommnisse auf den trophischen Zustand auswirkten oder Auswirkungen einer Trophieveränderung waren wird, sofern möglich, in den Kapiteln 5.2 und 5.3 näher eingegangen.

1823: Der Türlerseersee sei reich an Fischen und Krebsen (Keller 1823, zitiert in Thomas 1948)

- 26.3.1867: Sauerstoffgehalt in 15 m Tiefe betrug 9.68 cm³/l (Bürkli-Ziegler 1876, zitiert in Thomas 1948)
- 1908: Bericht von Ing. H. Peter, Direktor der damaligen Wasserversorgung der Stadt Zürich, zitiert in Thomas (1948, S. 168): "*Darin wird auf die dieMöglichkeit hingewiesen, das Einzugsgebiet des Sees durch Zuleitung der Heischerbäche zu vergrössern. Ferner sollte der Wasserspiegel um etwa 1.5 m erhöht werden, um durch Auffangen starker Regenfälle eine Reserve zu schaffen, die dem Trinkwasserbedarf entsprechend benützt werden kann. Die gleiche Wirkung könnte erzielt werden durch Vertiefen und entsprechendes Schleusen des Abflusses.*"
- bis ca. 1923: Die Abwässer der Käserei in Riedmatt (Einzugsgebiet des Krebsbaches) flossen wahrscheinlich in den Türlerse (nach Thomas 1948).
- 1925: Gemäss den Sedimentuntersuchungen von Thomas (1948) könnte der Beginn der Faulschlammablagerungen ca. um 1925 gewesen sein (Abschätzung basierend auf der Annahme einer jährlichen Sedimentablagerung von 3 mm).
- 1942: Im Einzugsgebiet des Fällibaches verschiedentlich Jaucheleitungen defekt gewesen sein, so dass Jauche in den Bach floss. Dies führte einmal zu einem Forellensterben (Thomas 1948).
- 1943-1944: Der Türlerse sei arm an Planktonorganismen (Thomas 1948).
- 21.5.1943: Inspektion von Verunreinigungsherden durch Thomas (1948).
- Er fand bei Türlen einen Misthaufen ohne Fundament, ebenso ein Komposthaufen, ein Tresterhaufen und ein Misthaufen mit Betonfundament. Bei Regenwetter konnte daher Jauche und Nährstoffe in den Bach gelangen.
 - Aus der Gegend von Kniebreche soll gelegentlich Jauche in den Seitenarm des Fällibaches geflossen sein.
 - Im Einzugsgebiet des Krebsbaches liegen die Weiler Teufenbach und Riedmatt. In Teufenbach liefern zwei Waschhäuschen gelegentlich Abwasser. Missstände konnte Thomas (1948) aber nicht beobachten.
 - In Riedmatt befand sich vor etwa 20 Jahren (= ca. 1923) eine Käserei. Im Jahre 1943 war es aber nur noch eine Milchsammelstelle, deren Milchkanen in Zürich gewaschen wurden. Das Spülwasser des Milchgeschirrs, Küchenwasser und Waschwasser befand sich in einem nur 30 cm tiefen Sammler, welcher grauschwarzer, übelriechender Schlamm enthielt.
 - Der Bach von Habersaat enthielt viel Schutt und Abraum, welcher zum Teil aus der dortigen Gärtnerei stammte. Jauche dürfte v.a. bei den gelegentlichen Hochwassern ebenfalls den Bach und damit den See verunreinigt haben.
 - Nährstoffeinträge von den ausgedehnten Wiesen und Feldern im südöstlichen und östlichen Teil des Einzugsgebietes des Türlersees.
- 3.2.1944: Erlass einer Schutzverordnung durch den Regierungsrat des Kantons Zürich, wodurch der Türlerse und seine Umgebung als geschütztes Gebiet erklärt wurden (aus Thomas 1948).
- 9.11.1987: Inbetriebnahme der Zirkulationsunterstützungsanlage.
- seit 1993: Die Frühjahresblüte tritt nicht mehr auf (Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1994, 1996, 1998).

3.3 Entwicklung des Gesamtphosphors gemäss Messungen

Die Entwicklung des Gesamtphosphors illustriert basierend auf Messdaten die jüngste Entwicklung der Nährstoffbelastung (Trophiegrad) des Türlersees. Diese Messdaten sind seit 1948 vereinzelt und seit 1975 lückenlos vorhanden, so dass ein volumengewichteter Jahresmittelwert vorliegt. Die in Abbildung 1 dargestellte Entwicklung des Gesamtphosphors zeigt, dass im Türlensee in den 1960er Jahren der Jahresmittelwert auf mehr als 30 µg P/l angestiegen und um 1970 bei 100 µg P/l gewesen sein muss. In den 1970er Jahren war der Türlensee somit bereits hypereutroph. Anschliessend verschlechterte sich der Trophiegrad noch etwas, indem die Gesamtphosphorwerte auf über 150 µg P/l stiegen (1975 maximaler gemessener Jahresmittelwert: 157 µgP/l). Diese deutliche Verschlechterung der Wasserqualität ist auf den zunehmenden Verbrauch phosphorhaltiger Produkte in Haushalt, Gewerbe und Landwirtschaft sowie auf die noch ungenügende Klärung der Abwässer zurückzuführen. Mit der Sanierung der Abwasserverhältnisse durch Anschluss an die Kanalisation (v.a. ARA Birrnsdorf, ARA Rifferswil) konnte die Gesamtphosphorkonzentration ab 1975 deutlich gesenkt werden. Weitere Bemühungen wie das Phosphatverbot in den Waschmitteln (1. Juli 1986), die Inbetriebnahme der Zirkulationsunterstützungsanlage (9. November 1987) und führten schliesslich zu einer eindrücklichen Senkung der Gesamtphosphorkonzentration innerhalb der letzten 25 Jahre. So lag der Jahresmittelwert seit 1997 konstant unter 20 µg P/l (zwischen 17 und 14 µg P/l).

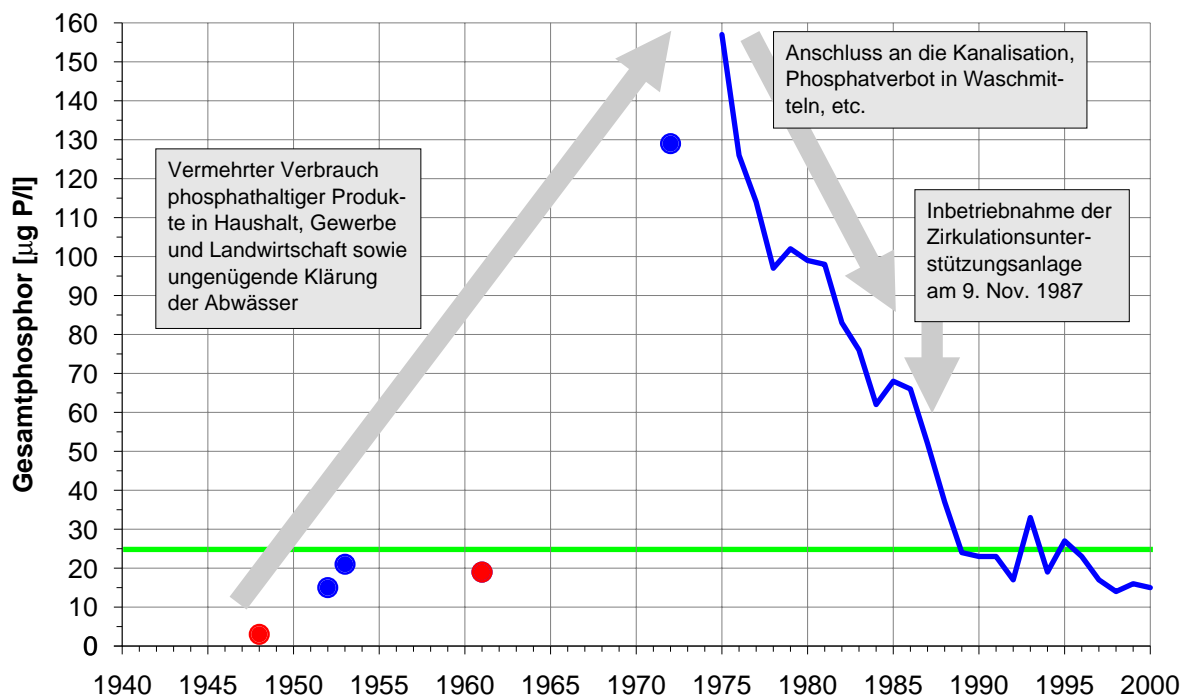


Abb. 1. Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlensee von 1948 bis 2000 gemäss AWEL Zürich.

Rote Punkte: Einzelprofil (Tagesmittelwert), blaue Punkte = monatliche Messungen einzelner Jahre (volumengewichteter Jahresmittelwert),
Blaue Linie: Seit 1975 monatliche Messungen (volumengewichteter Jahresmittelwert).
Grüne Linie: Sanierungsziel von 25 µg P/l gemäss Baudirektion Zürich (1998).

4. Grundlagen und verwendete Methoden

4.1 Sedimentkern TÜR00-2 und Datierung

Am 21. Juni 2000 entnahm Alois Zwyszig, Mitarbeiter der EAWAG unter Mithilfe von Pius Niederhauser (AWEL, Auftraggeber) und Joachim Hürlimann (AquaPlus, Auftragnehmer) dem Türlerseer See aus einer Tiefe von 20 Metern (ca. Koordinaten: 680525 / 235825) mit dem Kurzkerngerät ("gravity corer") der EAWAG drei Sedimentkerne mit einem Durchmesser von 6.3 cm.

Die Kerne wiesen Längen von rund 80 cm auf, die Länge des für die Rekonstruktion verwendeten Kernes TÜR00-2 betrug 85 cm. Die Kerne wurden im Sedimentlabor der EAWAG in Kastanienbaum der Länge nach aufgeschnitten und fotografiert (Abb. 2). Der Kern TÜR00-2 wurde anschliessend von A. Zwyszig in Intervallen von 1 cm Mächtigkeit (Probe 1: 0-1 cm, Probe 2: 1-2cm, etc.) beprobt.

Die Datierung des Kernes TÜR00-2 erfolgte durch Dr. Michael Sturm an der EAWAG einerseits über die Messung der im Sediment vorhandenen radioaktiven Isotope ^{137}Cs und ^{210}Pb , andererseits optisch über das Abzählen der im oberen Teil der Sedimente vorhandenen Jahreslagen (Varven). Für die Datierung mit radioaktiven Markern wurden 20 Proben mit einem GeLi Bohrloch-Detektor gemessen. Die Messzeit pro Probe betrug mindestens 24 Stunden. Das Vorhandensein von Be-7 in der Probe 1 (0-1 cm) zeigt, dass bei der Kernentnahme kein Material an der Wasser/Sedimentgrenzschicht verloren ging. Die ^{137}Cs -Messungen zeigten ein erstes ^{137}Cs -Maximum in 7-8 cm Tiefe (Probe 8), welches dem Tschernobyl-Fallout von 1986 zugeordnet wurde. Ein weiteres ^{137}Cs -Maximum, welches auf ^{137}Cs -Fallout der Atombombenversuche von 1963 zurückzuführen ist, tritt in 14-15 cm Tiefe (Probe 15) auf. Die noch messbare Aktivität des natürlicherweise in der Erdatmosphäre gebildeten radioaktiven Isotops ^{210}Pb (Halbwertszeit 27 Jahre) ist nach etwa 100 Jahren erreicht. Im untersuchten Sedimentkern können aber die Resultate der ^{210}Pb -Messungen nicht verwendet werden, da wie in anderen eutrophierten Hartwasserseen (Baldegger-, Sempacher- Greifensee etc.) auch, ein Teil des ^{210}Pb im Porenwasser mobil ist.

Der oberste Teil des Sedimentkernes TÜR00-2 wies von 0 bis ca. 12 cm Sedimenttiefe eine undeutliche hell- bis dunkelgrau (0 - 4 cm) und schwarz (6 - 12 cm) gefärbte Schichtung auf, die sich von den unmittelbar darunterliegenden Schichten abgrenzt (Abb. 2). Von 12 bis 18 cm Sedimenttiefe war dann das Sediment schwarz und geschichtet (= Zeitraum 1950-1965), so dass Jahreslagen abgezählt werden konnten. Weiter unten nahm das Sediment eine dunkelgraue (20 - 29 cm, Zeitraum: ca. 1943 - 1912) und dann eine hellgraue (29 - 85 cm, ca. 1912-1750) Färbung ein. Turbidite, also Störungen infolge Hochwasser oder anderen Ereignissen traten im betrachteten Kern nicht auf. Unterhalb 19 cm Sedimenttiefe (= ca. 1945) wurde dann unter Annahme von zwei Sedimentationsraten (3.0 und 3.5 mm pro Jahr) das Alter extrapoliert. **Somit ist die Datierung vor 1945 sehr unsicher und alle Altersangaben sind daher mit Vorsicht zu benutzen.** Detailangaben zur Datierung des Kernes TÜR00-2 sind im Anhang B aufgeführt.

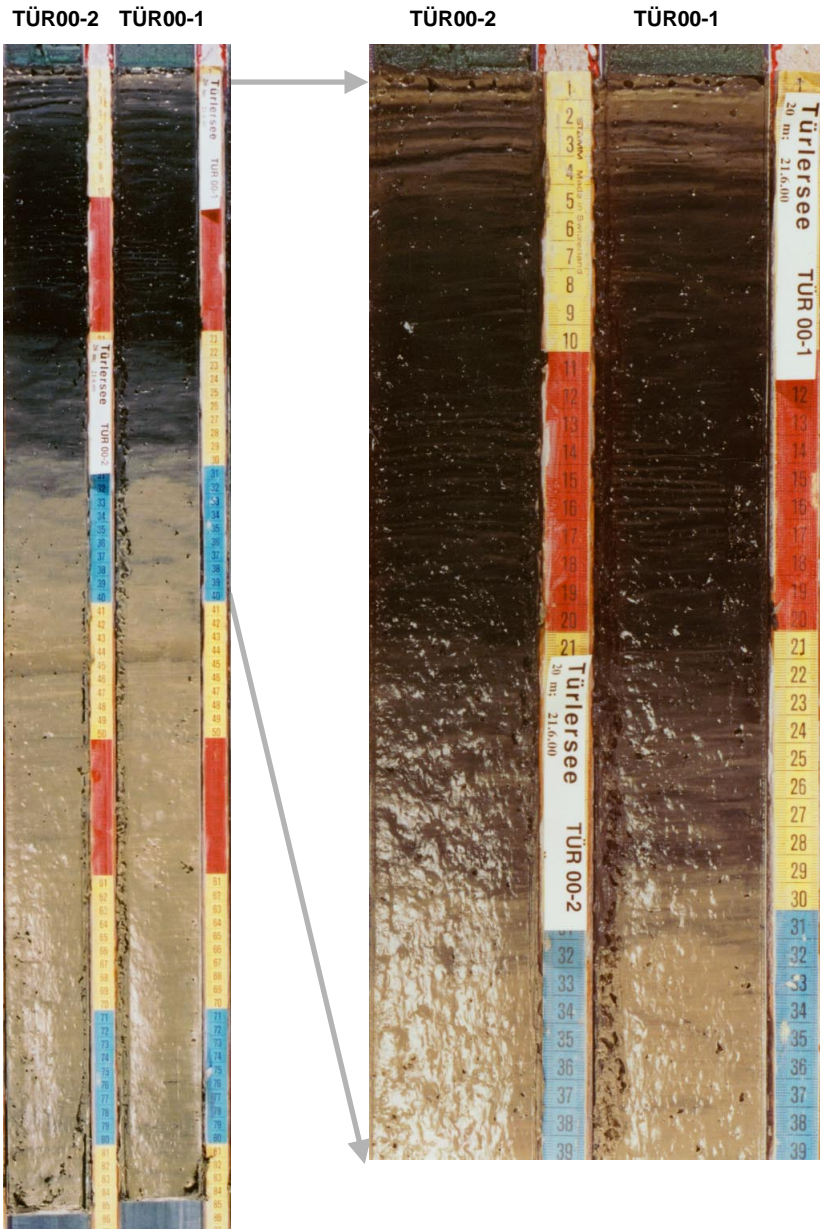


Abb. 2. Fotografische Darstellung von zwei aufgeschnittenen Türlensee-Sedimentkernen. Links: Ganze Kernlänge, rechts: Jahresschichtung der obersten 39 cm. Für die Untersuchungen wurde der Kern TÜR00-2 verwendet, Kernentnahme am 21. Juni 2000.

Fotos und Kernaufbereitung: Dr. Mike Sturm, EAWAG Dübendorf.

4.2 Kieselalgen

Die **Präparation** der Kieselalgen in den 85 Sedimentproben wurde durch AquaPlus durchgeführt. Sie erfolgte mittels Salzsäure (Entkalkung) und Schwefelsäure sowie Kaliumnitrat (Heissoxidation). Nach der Oxidation wurde das Material mit destilliertem Wasser gewaschen. Die präparierten Kieselalgen wurden dann in das Kunstharz Naphrax eingebettet. Alle für die Kieselalgen aufbereiteten Sedimentproben, Präparate sowie allenfalls noch vorhandenes Rohmaterial werden bei AquaPlus archiviert. Dem Auftraggeber wurde eine vollständige Präparateserie übergeben.

Die **Bestimmung** der Arten erfolgte für die centriscen Taxa im Rasterelektronenmikroskop (Aufnahmen durch Herrn dipl. Ing. Rolf Klee, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, D-82407 Wielenbach). 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).

Basierend auf einer **Schnellzählung** (= Anzahl Schalen pro Gesichtsfeld), mit welcher alle vorhandenen 85 Sedimentproben betrachtet wurden, wurde festgestellt, dass die obersten 30 cm Sediment viele Kieselalgen enthielten. Die tieferen Sedimentschichten bis zur Probe 58 wiesen demgegenüber deutlich weniger und die anschliessenden Proben 59 bis 85 (Kernende) sehr wenig Kieselalgenschalen auf (siehe Anhang A, relative Dichte der Kieselalgenschalen pro mikroskopisches Gesichtsfeld und 1-cm-Probe). Basierend auf dieser Kieselalgendichteverteilung, der ebenfalls aufgrund der Schnellzählung festgestellten groben Kieselalgentiefenverteilung sowie der damals erst provisorisch vorliegenden Resultate der Sedimentdatierung wurden 39 der insgesamt 85 Sedimentproben für die Auszählung der Kieselalgen ausgewählt. Die Liste der ausgewählten Sedimentproben kann der Zähl-liste wie auch der Schnellzählung (beides Anhang A) entnommen werden. Die 39 Proben verteilen sich auf den 85 cm langen Sedimentkern, wobei im oberen Drittel (0-30 cm) alle 30 Proben und in den unteren zwei Dritteln (31-85 cm) 9 Proben ausgezählt und für die Rekonstruktion ausgewertet wurden. Der obere Drittel wurde lückenlos ausgewertet, weil aufgrund der Schnellzählung nur in diesen Tiefen Änderungen in der Kieselalgenzusammensetzung zu erwarten waren. Damit stützt sich die Rekonstruktion des Gesamtphosphorwertes und des Trophiegrades auf die ganze Länge des Sedimentkernes mit Schwergewicht auf den oberen relevanten Sedimentbereich ab. Mit den **39 Zählungen** wurden pro Zählung (Probe) mit einer Ausnahme mindestens 500 und maximal 565 Kieselalgenschalen bestimmt und gezählt (Ausnahme Probe 45: 417 Schalen). Die im tieferen Sedimentbereich festgestellte, teilweise geringe Kieselalgendichte dürfte neben der damals sowieso geringeren Primärproduktion auch durch die Auflösung der aus Silikat bestehenden Kieselalgenschalen liegen. Diese findet bei hohen pH-Werten statt, wie sie grundsätzlich in kalkreichen Sedimenten vorkommen können. Schwach verkieselte Kieselalgenschalen werden daher rascher aufgelöst als stark verkieselte. Bei diesem Auflösungsprozess ist zu erwarten, dass aufgrund der selektiven Auflösung nur diejenigen Taxa erhalten bleiben, die stark verkieselt sind. Dies sind in erster Linie Aufwuchsalgen. Da in tieferen Sedimentschichten etliche Schalen von *Cyclotella comensis/pseudocomensis* und *C. cyclo-puncta* erodiert waren, konnte die Bestimmung und Zuordnung nicht immer eindeutig gemacht werden.

Die Zähl-daten für die 39 Proben befinden sich in Anhang A. Aufgrund der Zählresultate wurden die relativen Häufigkeiten (rH) der einzelnen Arten berechnet und darauf beruhend die weiteren Auswertungen durchgeführt:

$$rH_{ij} (\%) = (N_{ij} / N_j) * 100\%$$

Formel 1

rH_{ij} = Relative Häufigkeit der Art i in der Probe j
 N_{ij} = Anzahl gezählte Schalen der Art i in der Probe j
 N_j = Gesamtzahl der gezählten Schalen der Probe j.

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 3) sowie der **Taxazahl** und **Diversität** (Abbildung 4). 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 4 signifikante Kieselalgenzonen, welche mit Tür-1 bis und mit Tür-4 benannt wurden.

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 5 und 6) 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). Die zur Indikation benötigten Angaben sind in Anhang A aufgeführt. Von den 151 in den Zählungen vorhandenen Kieselalgentaxa sind 113 im Kalibrationsset vorhanden (= 75%). Von den fehlenden 38 Taxa (25%), welche für die Rekonstruktion nicht benutzt wurden, haben keine Taxa relative Häufigkeiten, welche einen Einfluss auf die Rekonstruktion haben könnten. Zusätzlich wurde die Fehlerbreite der Rekonstruktion angegeben (TP Tief, TP Hoch). Da das Taxon *Cyclotella cyclopuncta* ($rH_{max} = 68.2\%$) in sehr vielen Sedimentproben gehäuft bis dominierend auftrat, im Kalibrationsmodell aber aufgrund geringer Abundanz eher schwach definierte Optima und Toleranzen aufwies, führt dies in den tieferen Sedimentschichten, wo die genannten Arten häufiger vorkamen, zu einer beachtlichen Fehlerbreite, die sonst im Bereich der Oligo- bis Mesotrophie nicht in diesem Ausmass auftritt.

Die Entwicklung und Eichung des Kalibrationsdatensets beruht auf einem schweizerischen Kleinseen-Datensatz, welcher von Lotter im Zusammenhang mit einer paläolimnologischen Studie erhoben wurde. Der Datensatz umfasste 68 Kleinseen der Schweiz. In jedem Kleinsee wurden die Kieselalgen des Oberflächensedimentes sowie der Wasserchemismus während der Frühjahrszirkulation analysiert. Die anschliessende statistische Analyse ergab für jede Kieselalgenart Gesamtphosphor-Optima und -Toleranzen. Mit der Anwendung der Transferfunktion kann dann basierend auf den gezählten Kieselalgen einer Sedimentprobe die Gesamtphosphorkonzentration berechnet werden.

- 3.) **Rekonstruktion des Gesamtphosphors** (TP) unter **Verwendung der Analogatechnik** mittels der MAT Methode (modern analogue technique) nach S. Juggins (unpubliziertes Programm) (Abbildung 5 und 6). Der dabei verwendete Dissimilaritätskoeffizient war die 'squared Chord distance' nach Overpeck et al. (1985). Das beste Modell war ein nach Ähnlichkeit gewichtetes MAT Modell mit den 6 ähnlichsten Analoga (Bestimmtheitsmass von $r^2 = 0.847$). Die ähnlichen Proben erhielten somit mehr Gewicht als unähnliche Proben. Der Rekonstruktion des Gesamtphosphors basierend auf der Analogatechnik sollte aber wenig Bedeutung geschenkt werden, da kein nur annähernd gutes Analoga gefunden wurden.

Mit der Analogetechnik werden pro Sedimentstufe Paarvergleiche mit dem Kalibrations-Datensatz von Lotter durchgeführt. Aufgrund der besten Seen-Übereinstimmungen (Analoge) wurde dann pro Sedimentstufe die Phosphorkonzentration berechnet, indem die aktuelle Gesamtphosphorkonzentration (Frühjahrszirkulationswert) der besten Analoga gewichtet gemittelt wurden.

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

4.3 Trophiegradbestimmung aus chemischen Daten

Aufgrund der Gesamtphosphor-Konzentration (Frühjahrszirkulationswerte) kann der Trophiegrad abgeschätzt werden. Wir verwenden dazu die Unterteilungen gemäss der OECD-Studie (in Lampert & Sommer 1993, Seite 375). Die Unterteilung lautet wie folgt:

Oligotroph:	P_{tot}	<10 µg P/l
mesotroph:	P_{tot}	10 - 30 µg P/l
eutroph:	P_{tot}	30 - 100 µg P/l
hypereutroph:	P_{tot}	>100 µg P/l

5. Resultate

5.1 Kieselalgen-Stratigraphie

Im 85 cm langen Sedimentkern TÜR00-2 wurden 39 Sedimentproben mit einer Schichtdicke von 1 cm Mächtigkeit untersucht. Die Häufigkeiten der wichtigsten Kieselalgenarten sind in Abbildung 3 im Sedimentprofil graphisch dargestellt. Die zeitliche Abfolge der vorgefundenen Kieselalgen illustriert als Ganzes die zivilisationsbedingte Eutrophierung des Türlersees, welche in der 2. Hälfte des 20. Jahrhundert auftrat.

Im Sedimentkern können vier deutlich unterscheidbare Kieselalgenzonen charakterisiert werden. Die unterste, d. h. älteste **Zone Tür-1 (ca. 1750 - ca. 1965)** umfasst die Sedimentschichten unterhalb rund 14 cm Sedimenttiefe bis zum Kernende in 85 cm Sedimenttiefe.

Die Kieselalgenzone Tür-1 wird im wesentlichen durch zwei *Cyclotella*-Arten, nämlich *Cyclotella comensis/pseudocomensis* und *C. cyclopuncta* dominiert. Es handelt sich um meso- bis oligotrophente Vertreter. Bei *Cyclotella comensis* dürfte es sich nach den Bestimmungsmerkmalen von Scheffler (1994) zu einem sehr grossen Teil um *Cyclotella pseudocomensis* handeln. Dieses Taxon tritt vom Frühjahr bis im Sommer im Plankton von Seen auf. Ebenso enthält *Cyclotella cyclopuncta* wahrscheinlich zu einem eher kleinen Teil das Taxon *Cyclotella wuethrichiana*, wobei versucht wurde, die beiden soweit möglich abzugrenzen. Da etliche Schalen von *Cyclotella comensis/pseudocomensis* und *C. cyclopuncta* aneroziert waren, konnte die Bestimmung und Zuordnung nicht immer eindeutig gemacht werden, wobei wahrscheinlich der Anteil von *C. cyclopuncta* eher unter- als überschätzt wurde. Von den anderen in dieser Zone Tür-1 vorhandenen Kieselalgentaxa ist die eutrophente *Asterionella formosa* erwähnenswert. Sie trat mit geringem Anteil immer auf, nahm aber ca. 1915 (Probe 29, 28-29 cm) schwach erstmals und dann um 1935 (Probe 22, 21-22 cm) erneut für eine kurze Zeit deutlich im prozentualen Anteil zu. *Asterionella formosa* tritt unter stärker mesotrophen bis eutrophen Verhältnissen gehäuft auf und ist bei hohen Silizium zu Phosphor-Verhältnissen (Si:P) konkurrenzfähig. Sie kommen somit bei tiefen Phosphorkonzentrationen noch vor, falls zugleich hohe Siliziumkonzentrationen vorherrschen. Dieses häufigere Aufkommen von *Asterionella formosa* ab ca. 1915 und dann stärker um 1935 dürften erste Anzeichen sein für die damals beginnende Verschlechterung des Trophiegrades.

Die obere Begrenzung der Zone Tür-1 wird durch die starke Abnahme von *Cyclotella cyclopuncta* sowie durch das vermehrte Aufkommen von *Fragilaria ulna*, *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella formosa* geprägt. Beim Taxon *Fragilaria ulna* handelt es sich weitgehend um die sehr lange dünn-schalige *Fragilaria ulna angustissima*-Sippen sensu Krammer & Lange-Bertalot 1991, welche planktisch lebt. *Fragilaria crotonensis* ist wie *Asterionella formosa* auch konkurrenzstark bei hohen Silizium zu Phosphor-Verhältnissen (Si:P). Das Aufkommen dieser drei Taxa sowie das Zurückdrängen von *Cyclotella cyclopuncta* ab der Probe 16 (15-16 cm, ca. 1955) weist eindeutig auf die zunehmende Verschlechterung des Trophiegrades im Türlersees hin.

In der Zone Tür-1 trug das Plankton den grössten prozentualen Anteil bei. Die Aufwuchsalgen erreichten demgegenüber nur einen kleinen prozentualen Anteil.

Die Zone Tür-1 ist geprägt durch eine hohe Stabilität in der Kieselalgenzusammensetzung. Die zwei dominierenden *Cyclotella*-Taxa lassen erkennen, dass sich der Türlersees im 17. und 18. Jahrhundert und bis anfangs des 20. Jahrhunderts in einem **stabilen schwach mesotrophen Zustand** befand.

Anschliessend sind ab 1915 schwach und ab 1935 deutliche Anzeichen vorhanden, dass sich der Trophiegrad verschlechterte und den **schwach eutrophen Zustand** erreichte.

Die **Zone Tür-2 (ca. 1965 - ca. 1979)** umfasst mit den Sedimenttiefen von 14 bis 9 cm eine nur kurze Zeit. In dieser Zone gab es im Vergleich zur vorher besprochenen Zone Tür-1 einen charakteristischen Wechsel in der Kieselalgenzusammensetzung. Die Zone Tür-2 kann als Übergangszone bezeichnet werden, da keine der Arten nur in dieser Zone über längere Zeit stabil vorkam. Am ehesten typisch für nur diese Zone ist das Aufkommen von *F. ulna angustissima* Sippen. Die Zone Tür-2 ist aber insofern eine Übergangszone, weil der relative Anteil der Taxa *Cyclotella comensis/pseudocomensis* und *Cyclotella cyclopuncta* sehr stark zurück ging und die Arten *Fragilaria ulna* var. *acus*, *F. ulna angustissima* Sippen, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Cyclotella ocellata* und *Stephanodiscus minutulus/parvus* an Bedeutung gewannen. Diese Artabfolge und das Ablösen der *Cyclotella*-Dominanz durch Arten der erwähnten Gattungen wurde auch in anderen Schweizer Seen (z.B. Rotsee: Lotter (1988), Baldeggersee: Lotter (1998)) festgestellt und als Zeichen der Eutrophierung interpretiert. Am prägnantesten von all den erwähnten Taxa trat im Türlerseer zu diesem Zeitpunkt *Asterionella formosa* auf, eine nach Krammer & Lange-Bertalot (1991) in eutrophen Seen vorkommende Kieselalge. Das zu Beginn dieser Zone Tür-2 (ca. 1965) bereits eutrophe Verhältnisse den Türlerseer prägten, indizieren neben *Fragilaria crotonensis* auch das Vorhandensein von *Cyclotella ocellata* sowie das Aufkommen von *Stephanodiscus minutulus/parvus*. Am Ende der Zone Tür-2 (ca. 1979) dürften dann deutlich eutrophe bis hypereutrophe Bedingungen vorgeherrscht haben. Die Zone Tür-2 illustriert den **Wechsel von schwach eutroph zum hoch eutrophen, allenfalls bis zum hypereutrophen Milieu**.

Die **Zone Tür-3 (ca. 1979 - ca. 1995)** umfasst die Sedimentschichten von 9 bis ca. 3 oder 2 cm. In dieser Zone prägen *Asterionella formosa* und *Stephanodiscus minutulus/parvus* zusammen mit *Fragilaria crotonensis* und *Cyclotella ocellata* das Plankton. Alle Taxa sind typisch für eutrophe Bedingungen, wobei *Stephanodiscus minutulus/parvus* hypereutrophe Verhältnisse bevorzugt, planktisch lebt und v.a. im Frühjahrespilankton während wenigen Wochen in riesigen Massen (Zelldichten) auftritt und damit einen Grossteil zum Total der pro Jahr sedimentierten Kieselalgenschalen beiträgt. Offenbar aber ist der Trophiegrad nicht so schlecht wie er in anderen Schweizer Seen beobachtet wurde. Dies daher, weil die eutrophe Bedingungen noch tolerierende *Cyclotella ocellata* während der ganzen Periode vorkam und weil *Aulacoseira granulata*, welche auch hypereutrophe Bedingungen toleriert praktisch nicht vorkam. Das letztgenannte Taxon trat nur in der Probe 14 (ca. 1965) mit 0.4% relativem Anteil auf.

In der Zone Tür-3 wurde der schlechteste Trophiezustand erreicht. Es handelte sich um **hoch eutrophe bis hypereutrophe** Verhältnisse.

Die **Zone Tür-4 (ca. 1995 - 2000)** beinhaltet die obersten rund 2 bis 3 cm Sediment. Für diese Zone charakteristisch ist das erneute Aufkommen der in der Zone Tür-1 bereits vorhandenen *Cyclotella cyclopuncta* und die deutliche Abnahme von *Cyclotella ocellata* und *Stephanodiscus minutulus/parvus*. Offenbar verlor die Frühjahresblüte, welche in der Zone Tür-3 die Kieselalgen-Zelldichte noch wesentlich geprägt haben dürfte, an Bedeutung. Damit kann auch *Stephanodiscus minutulus/parvus* nicht mehr dieselben Zelldichten erreichen wie in der Zone Tür-3. Arten des Sommerplanktons, z.B. *Cyclotella cyclopuncta* gewinnen damit an Bedeutung und vermögen das kieselalgen-spezifische Planktonbild wieder zu prägen. Diese Schlussfolgerungen werden auch durch die Planktonuntersu-

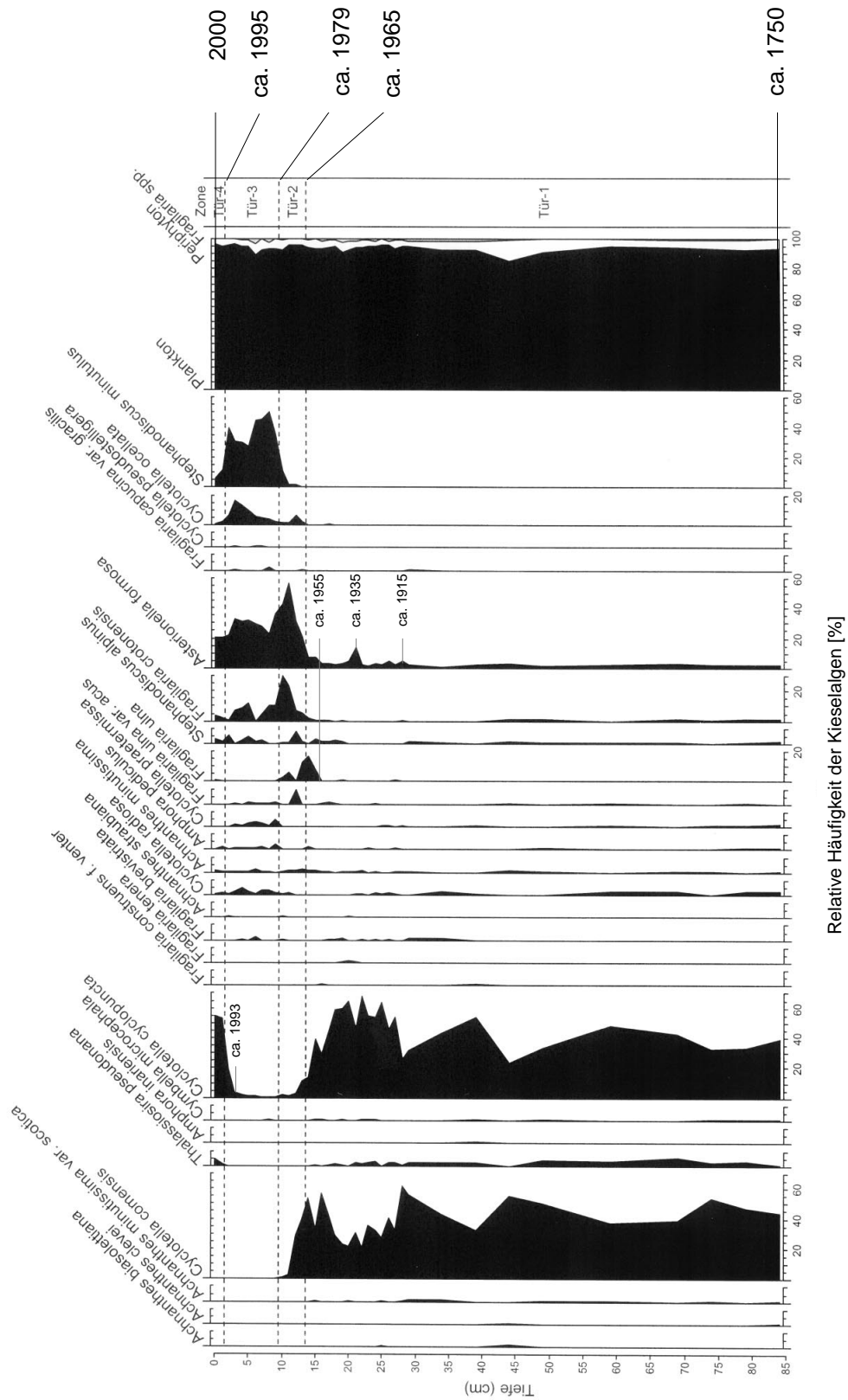


Abb. 3. Kieselalgen im Sedimentkern TÜR00-2 des Türlersees. Darstellung des gesamten Sedimentkernes. Aufgeführt sind nur die prozentual wichtigsten Taxa. Rechts sind die prozentualen Anteile der planktischen (schwarz), periphytischen (weiss) und *Fragilaria*-Arten (grau) im Tiefenprofil aufgeführt sowie die aufgrund der Kieselalgenegenschaften erhaltene Einteilung (stratigraphische Kieselalgenzonen TÜR-1 bis TÜR-4). Kernentnahme am 21. Juni 2000.

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

chungen des Kantons Zürich (AWEL) bestätigt. So sank gemäss Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (1994, 1996, 1998) die Phytoplanktonbiomasse markant und die Frühjahresblüte trat seit rund 1993 nicht mehr auf.

Dieser Artwechsel illustriert sehr schön eine deutliche Verbesserung des Trophiegrades. Somit prägen in dieser Zone Tür-1 nicht mehr eutrophe, sondern **mesotrophe Verhältnisse** den Türlersees.

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. 4). Es gilt aber zu berücksichtigen, dass die im Sediment beobachteten Taxazahlen und Diversitäten durch Akkumulation (und anderen nicht immer bekannten Prozessen) entstanden sind und nicht denjenigen effektiv im See (Freiwasser und Uferbereich) vorhandenen Werten entsprechen.

Vor dem 20. Jahrhundert schwankte die Artenvielfalt (Taxazahl) zwischen 20 und 37 Taxa, während die Diversität recht stabil um 2.3 bis 2.7 war. Damit wurden nicht sonderlich hohe Werte erreicht. Da eine hohe Taxazahl in erster Linie von der Zahl der Uferalgen abhängig ist, dürfte der Türlersees arm an Uferalgen gewesen sein (Bewaldung, hohe Beschattung) und/oder aber die Uferalgen gelangten mangels Strömung (windgeschützte Lage des Türlersees, kleine Zuflüsse) nicht an die tiefste Stelle. Im 20. Jahrhundert waren die Taxazahlen recht stabil (Mittelwert 22, Minimum 16, Maximum 31 Taxa), während die Diversität von rund 1.7 auf 2.9 anstieg. Daraus kann geschlossen werden, dass die Kieselalgenzusammensetzung im Laufe des 20. Jahrhunderts ausgeglichener wurde und einzelne Arten weniger prägnant dominierten.

5.3 Gesamtphosphor-Rekonstruktion

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

Die Rekonstruktion des Gesamtphosphors wurde mittels zwei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt (Phosphor-Transferfunktion und Analogatechnik, siehe Kapitel 4.2). Die Resultate der zwei Verfahren sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Da mit dem Verfahren der Analogatechnik keine guten Analoga gefunden werden konnten, wird dieses nicht besprochen. Die im folgenden diskutierten Phosphorwerte beruhen daher ausschliesslich auf dem Rekonstruktionsverfahren (Kalibrationsdatenset) von Lotter et al (1998).

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.

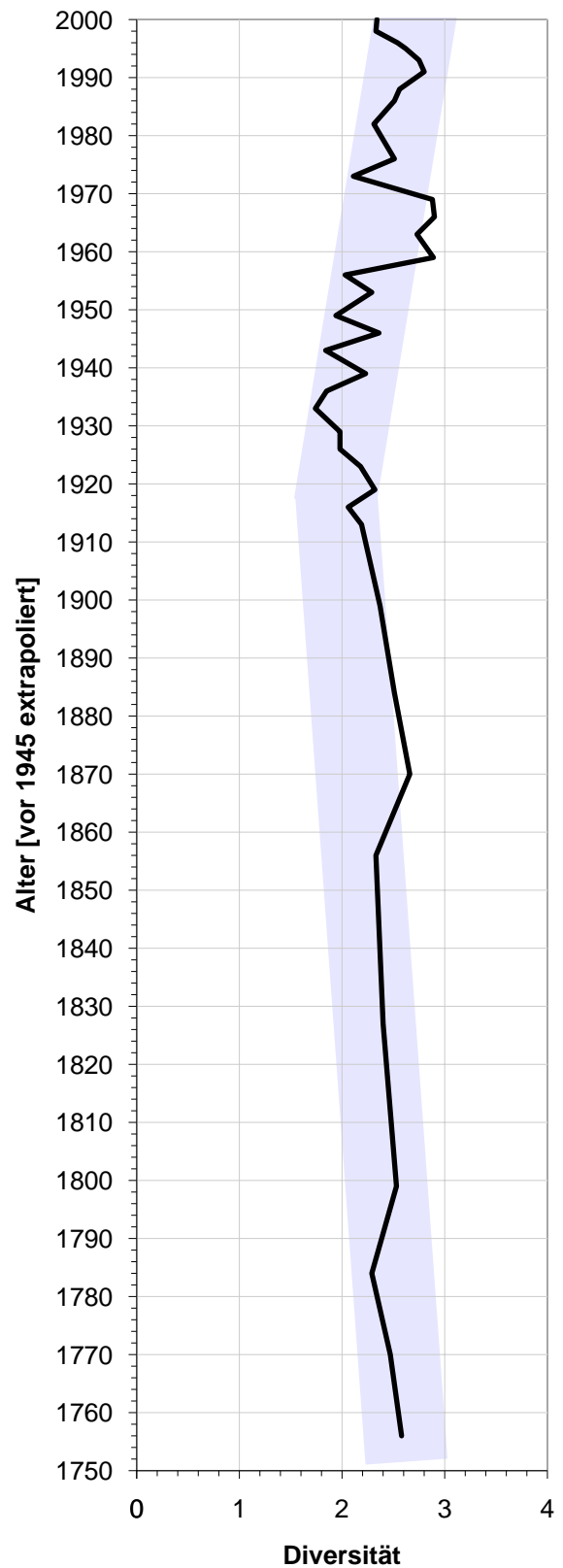
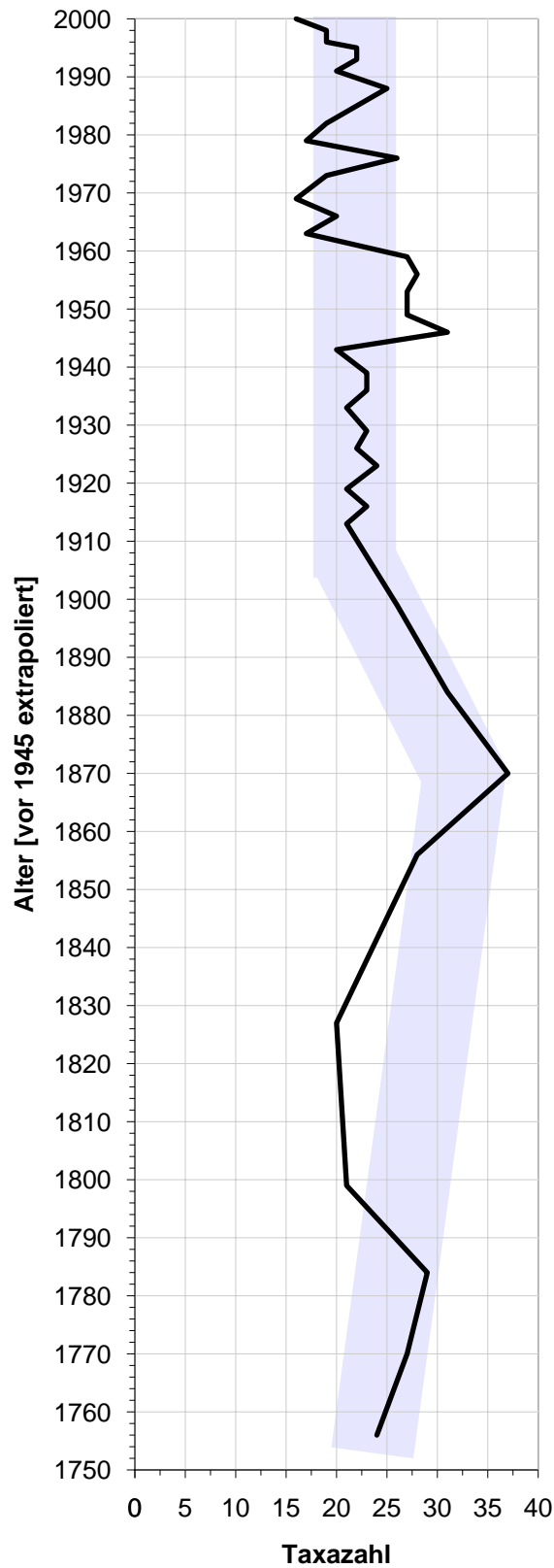


Abb. 4. Entwicklung der Kieselalgen-Taxazahl und der Kieselalgen-Diversität im Türlersee (Sedimentkern TÜR00-2) von 1750 bis 2000.

Hellblaue Fläche = Trend.

Zeitabschnitt von ca. 1750 bis ca. 1950

In diesem Zeitabschnitt von rund 200 Jahren befand sich der Türlerseer See in einer **stabilen Mesotrophie**. Der mit den Kieselalgen rekonstruierte Gesamtphosphor betrug **im Mittel 16 µg P/l**. Die im Zeitverlauf des 18. und 19. Jahrhunderts festgestellten Schwankungen im Gesamtphosphor können nicht interpretiert werden und dürften zu vernachlässigen sein. Offenbar stieg der Gesamtphosphor im Türlerseer See bis 1950 nicht merklich, obwohl Thomas (1948) bereits 1943 erhöhte Ammoniumkonzentrationen über Grund feststellte (siehe auch Kapitel 3.2). Es kann daher angenommen werden, dass vor 1950 in unmittelbarer Sedimentnähe die Gesamtphosphorwerte bereits erhöht waren. Im lichtdurchfluteten Epilimnion aber, wo die Phytoplankter sich befinden, dürfte damals die Gesamtphosphorkonzentration noch tief gewesen sein.

Die in Kapitel 5.1 besprochene Stratigraphie der Kieselalgen ergaben aber, dass im Türlerseer See **erste Anzeichen einer Eutrophierung ab ca. 1915** erfolgten. Diese ersten Anzeichen verstärkten sich dann um 1935 und flachten während des 2. Weltkrieges wieder ab.

Zeitabschnitt von ca. 1950 bis ca. 1975

In diesem Zeitabschnitt erfolgte im Türlerseer See **die starke Eutrophierung**. Sie begann somit in vollem Ausmass erst nach dem 2. Weltkrieg und erreichte bezüglich den rekonstruierten mittleren Gesamtphosphorwerten den **Maximalwert in den 1970er Jahren** (1973: rekonstruierter Mittelwert 109 µg P/l, oberer Fehler 180 µg P/l, unterer Fehler 66 µg P/l). Aufgrund der Rekonstruktion befand sich der Türlerseer See somit gegen Ende der 1960er Jahre in einem **hypereutrophen Zustand**.

In der selben Zeitperiode liegen bereits Messungen des Gesamtphosphors vor, wobei in den 1960er Jahren praktisch keine uns bekannten Messdaten vorliegen (siehe Kapitel 3.3 und Abbildungen 1 und 6). Die vorhandenen Messungen zeigen aber mehr oder weniger denselben Verlauf wie derjenige der rekonstruierten Gesamtphosphorkurve.

Zeitabschnitt von ca. 1975 bis 2000

Die letzte Periode von rund 25 Jahren illustriert eindrücklich die Abnahme des Gesamtphosphors und damit die Verbesserung des Trophiegrades (Oligotrophierung). Während um 1975 der mittlere Gesamtphosphorgehalt noch weit im hypereutrophen Milieu lag, sank er bis zum Jahr 2000 aufgrund der Rekonstruktion **im Mittelwert auf 23 µg P/l** (unterer Fehler: 11 µg P/l, oberer Fehler 51 µg P/l). Damit dürfte sich der Türlerseer See in einem **mesotrophen Zustand** befinden. Im Vergleich zu den gemessenen Gesamtphosphorwerten liegen somit die rekonstruierten Gesamtphosphorkonzentrationen noch etwas höher (gemessener und volumengewichteter Jahresmittelwert 2000: 15 µg P/l). Dieses Phänomen ist bekannt und lässt sich insofern erklären, dass sich die eutraphente Kieselalge *Stephanodiscus minutulus/parvus* trotz deutlich verbessertem Seezustand noch - wenn auch mit geringem Anteil - während der Frühjahresentwicklung im Türlerseer See halten kann. Die zu diesem Zeitpunkt (Frühjahr) entwickelten Zelldichten sind im Vergleich zu den restlichen zu irgendeinem Zeitpunkt (Sommer, Herbst, Winter) vorhandenen Zelldichten anderer Kieselalgenarten (z.B. *Cyclotella*) immer noch beachtlich gross, dass sie die Resultate der Rekonstruktion im Sinne mit 'zu hohen' Gesamtphosphorwerten zu beeinflussen vermögen. Da aber die Frühjahresblüte seit 1993 nicht mehr ausgeprägt auftritt, dürfte *Stephanodiscus minutulus/parvus* in den nächsten Jahren immer mehr verdrängt werden.

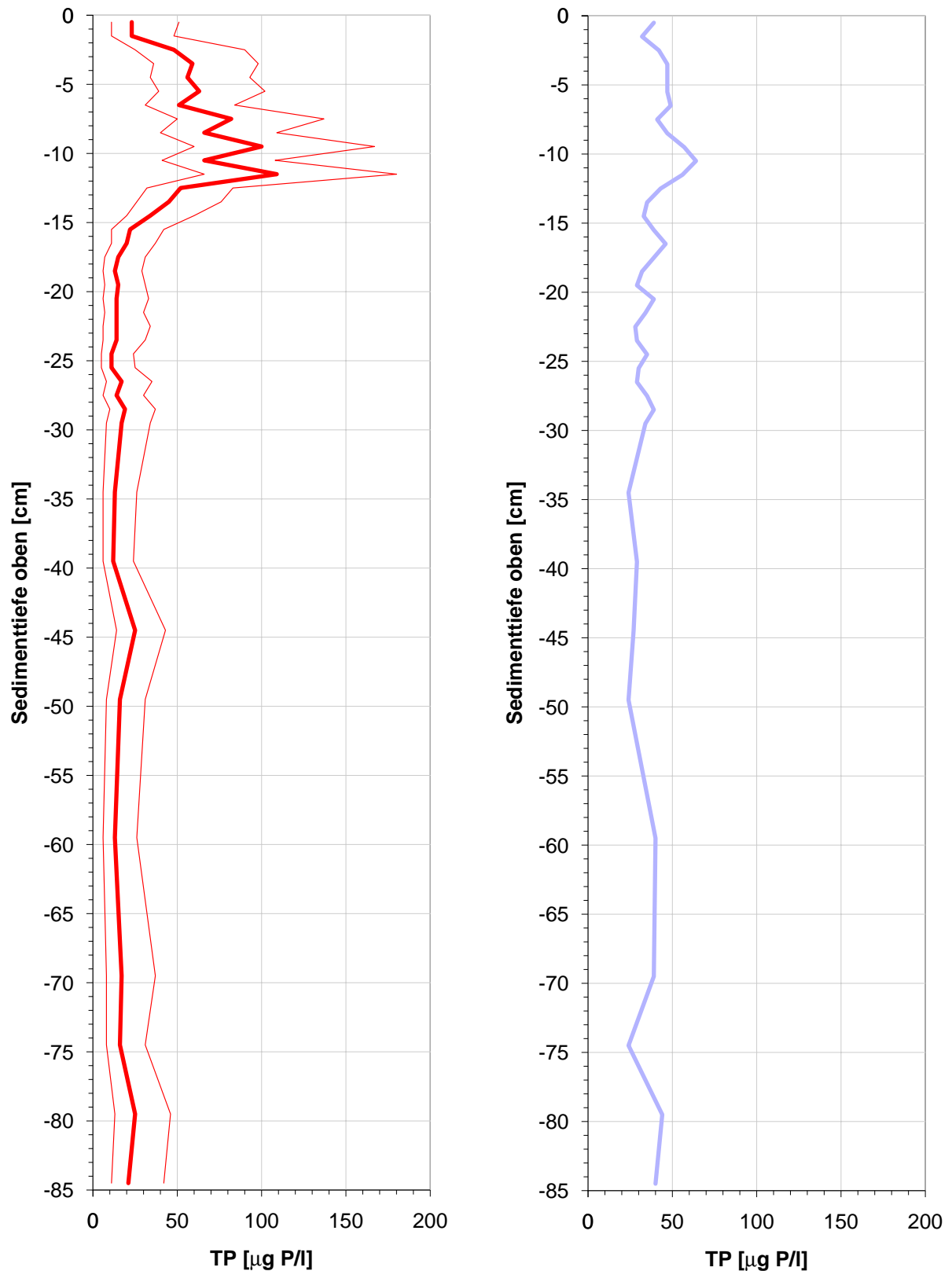


Abb. 5. Rekonstruktion der Entwicklung des Gesamtphosphors (TP) im Türlerseer See mit Hilfe von Kieselalgen im Sedimentkern TÜR00-2. Dargestellt mit der Sedimenttiefenachse.

Links: Rekonstruktion mittels Kalibrationsdatenset von Lotter et al. (1998); Mittelwert sowie oberen und unteren Fehler.
 Rechts: Rekonstruktion mittels Analogatechnik MAT, die Rekonstruktion basiert nur auf schlechten Analoga (hellblaue Linie). Die TP-Rekonstruktion mittels Analogatechnik sollte demnach nicht berücksichtigt werden.

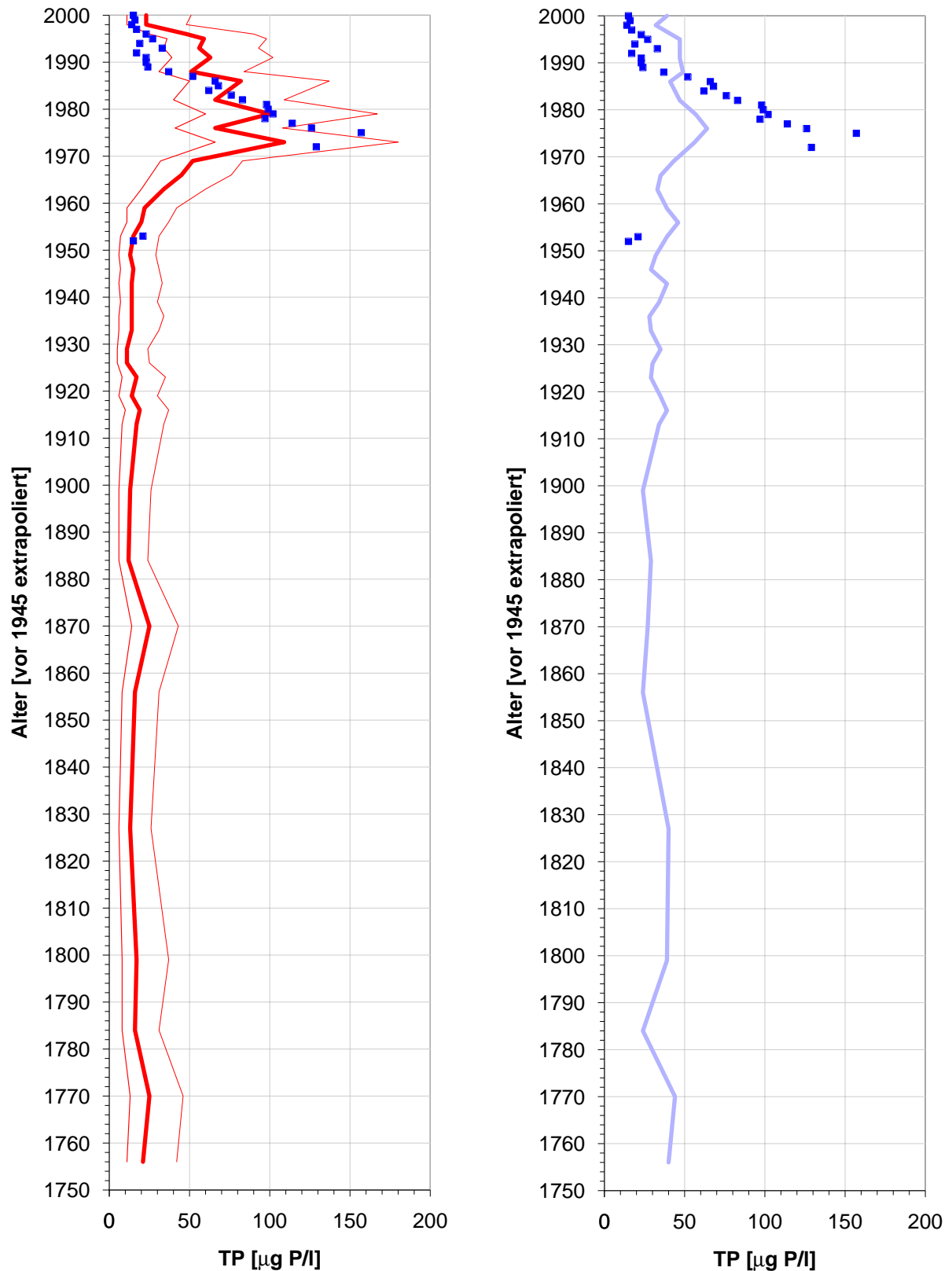


Abb. 6. Rekonstruktion der Entwicklung des Gesamtphosphors (TP) im Türlerseer See mit Hilfe von Kieselalgen im Sedimentkern TÜR00-2. Dargestellt mit der Zeitachse.

Links: Rekonstruktion mittels Kalibrationsdatenset von Lotter et al. (1998) mit Angabe eines oberen und unteren Fehlers.

Rechts: Rekonstruktion mittels Analogatechnik MAT, die Rekonstruktion basiert nur auf schlechten Analoga (hellblaue Linie). Die TP-Rekonstruktion mittels Analogatechnik sollte demnach nicht berücksichtigt werden.

Blaue Punkte: Gemessener Gesamtphosphor (volumengewichtete Jahresmittelwerte).

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie über die 'Rekonstruktion der Trophiegeschichte des Türlersees mittels Kieselalgen' hatte zum Ziel, die Trophiegrad- und die Gesamtphosphor-Entwicklung des Türlersees mindestens bis ins 19. Jahrhundert zu ermitteln. Die Untersuchung ist von Interesse, weil der Türlensee im 20. Jahrhundert anthropogen bedingt eine bezüglich des Trophiegrades starke Veränderung durchgemacht hat und heute mittels internen und externen Sanierungsmassnahmen erfolgreich der Trophiegrad verbessert wurde. Neben diesem reinen Rekonstruktionsaspekt sollen mit den Untersuchungen zusätzlich chemische und biologische Sanierungsziele abgeleitet werden.

Entwicklung der Gesamtphosphor-Konzentration und des Trophiegrades (Abbildung 7)

Aufgrund der im Sediment vorgefundenen Kieselalgen kann abgeleitet werden, dass sich der Türlensee während des 18. und des 19. Jahrhunderts in einer stabilen Mesotrophie (Mittelwert um 16 $\mu\text{g P/l}$) befand. Erste Anzeichen einer Eutrophierung, die sich auf die Kieselalgenzusammensetzung auswirkten, traten um 1915 erstmals und um 1935 erneut auf. Diese Eutrophierung war zu diesem Zeitpunkt noch schwach und dürfte nach Thomas (1948) im wesentlichen durch Jauche und Käsereiabwasser verursacht worden sein. In den 1950er Jahren verschlechterte sich dann der Trophiezustand massiv. Der rekonstruierte Gesamtphosphor stieg innerhalb von 20 Jahren von 15 $\mu\text{g P/l}$ (1953) auf über 100 $\mu\text{g P/l}$ (1973), was einer jährlichen P-Zunahme von 4 bis 5 $\mu\text{g P/l}$ entspricht. Ab den 1970er Jahren verringerte sich der Gesamtphosphor aufgrund der Rekonstruktion wie auch aufgrund der Messungen im See kontinuierlich, so dass im Jahr 2000 wiederum mesotrophe Verhältnisse vorlagen (rekonstruierter mittlerer Gesamtphosphor 23 $\mu\text{g P/l}$, gemessener und volumengewichteter Jahresmittelwert 15 $\mu\text{g P/l}$).

Sanierungsziele

Die Rekonstruktion ergab, dass sich der Türlensee im 18. und 19. Jahrhundert in einer stabilen Mesotrophie befand. Die zu diesen Zeitpunkten rekonstruierte Gesamtphosphorkonzentration betrug 16 $\mu\text{g P/l}$ (<20 $\mu\text{g P/l}$). Dieser festgestellte mesotrophe Zustand, charakterisiert durch oligo- bis mesotraphente *Cyclotella*-Arten (*C. comensis/pseudocomensis* sowie *C. cyclopuncta*) stellen hinsichtlich der Kieselalgen ein anzustrebendes biologisches Ziel dar.

Aufgrund des gemessenen Gesamtphosphors (volumengewichteter Jahresmittelwert) wurde dieser Wert von weniger als 20 $\mu\text{g P/l}$ seit 1992 bereits sechsmal unterschritten. Diese tiefen Werte haben in den letzten Jahren auch im Plankton Auswirkungen gezeigt. So verlor die Frühjahresblüte und damit auch *Stephanodiscus minutulus/parvus* an Bedeutung und *Cyclotella cyclopuncta* konnte aufkommen. Mit dem Beibehalten dieses tiefen Gesamtphosphorwertes von < 20 $\mu\text{g P/l}$ dürfte die heute noch vorhandene *Asterionella formosa* weiter verdrängt werden, so dass im Türlensee wiederum, wie im 18. und 19. Jahrhundert schon vorhanden, eine **Dominanz oligo- bis mesotraphenter *Cyclotella*-Taxa** (z.B. *C. cyclopuncta*, *C. comensis/pseudocomensis*) vorherrscht.

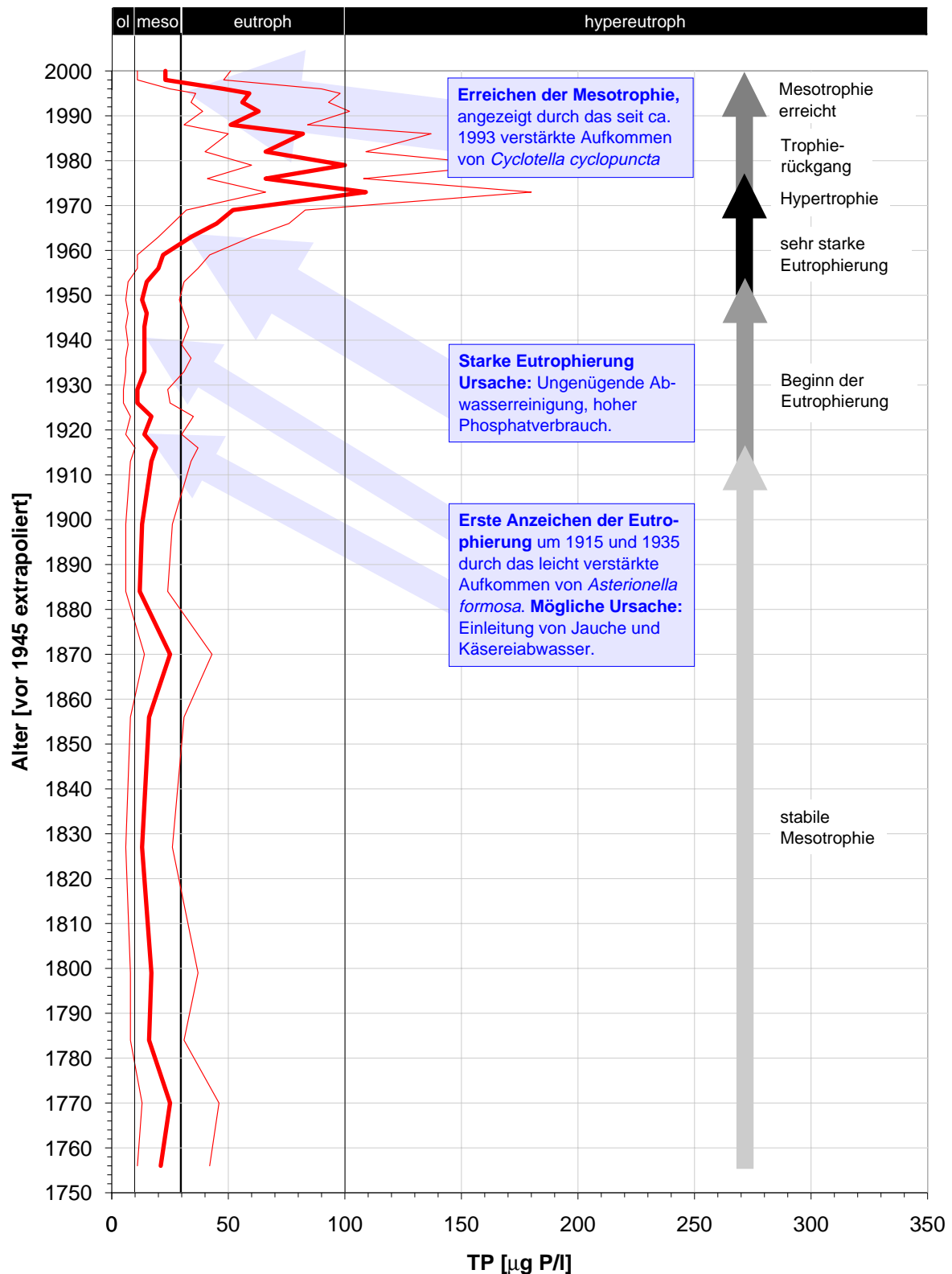


Abb. 7. Zusammenfassende Darstellung der trophischen Entwicklung im Türlersee.

Rote Kurven: Rekonstruktion der Gesamtphosphor-Konzentration basierend auf dem Kalibrationsset nach Lotter et al. (1998), Trophieangaben nach OECD-Studie (aus Lampert & Sommer 1993, Seite 375), basierend auf der Gesamtphosphor-Konzentration während der Frühjahrszirkulation. Die angegebenen Trophiephasen und -zustände (schwarze und graue Pfeile) beziehen sich nicht nur auf den Gesamtphosphor, sondern auch auf die im Sediment vorgefundenen Artenabfolgen der Kieselalgen.

7. Literaturverzeichnis

- Aeberli, B. & Keller, P. 1995: Untersuchungen des Sauerstoffhaushaltes und der Sedimente im Türlersee im Hinblick auf die Beurteilung der Auswirkungen der Zirkulationsunterstützung. 75 S. + Anhang.
- Ambühl, H. 1989: "Auf ein Wort" in Nr. 12, 1989. Schweiz. Fischereizeitung 41 (1): 9.
- Baudirektion Zürich 1998: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Hrsg.) 67 S.
- Bennett, K., 1996: Determination of the number of zones in a biostratigraphical sequence. *New Phytologist* 132: 155-170.
- Birks, H.J.B., Gordon, A.D. 1985: Numerical methods in Quaternary pollen analysis. Academic Press, London, 317 Seiten.
- Bürkli-Ziegler, A. 1876: Bericht über Anlage und Organisation städtischer Wasserversorgungen mit Aufstellung verschiedener Projekte für die Wasserversorgung der Stadt Zürich. Gutachten zitiert in E.A. Thomas, 1948: Limnologische Untersuchungen am Türlersee. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 11 (1/2), 90-177.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich 1992: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.) 75 S.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich 1994: Oberflächengewässer und Kläranlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.) 69 S.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich 1996: Oberflächengewässer und Abwasserreinigungsanlagen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.) 69 S.
- Heierle, O. & Kübler, H. 1911: Pfahlbauten im Türlersee. *Zürcher Wochenchronik* vom 18. November und 16. Dezember 1911.
- Keller, H. 1823: Beschreibung des Rigiberges, aller auf denselben führenden Wege und der berühmten Kulmaussicht. Füessli und Comp., Zürich.
- Keller, R. 1988: Tiefer Atemzug tut Türlersee gut. *Tages-Anzeiger* vom 7.11.88.
- 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.
- Lampert, W., Sommer, U., 1993: Limnoökologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1-440.
- 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.
- Oehen, B. & Stalder, S. 1989: Untersuchung von Planktonwanderungen und abiotischen Faktoren im Türlersee. Kurs in Hydrobiologie, Berichte der Gruppenarbeiten, Hydrobiologisch-limnologische Station, Kilchberg, 10 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.

- Soraccrepa, B. 1978: Jahreszeitliche Veränderungen von Wasserchemismus und Phykozöosen in zehn Seen der Umgebung von Zürich. Vierteljahrsschr. Naturforsch. Ges. Zürich, 123,161-235.
- ter Braak, C.J.F, Juggins, S., 1993: Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved methode for reconstructing environmental variables from species assemblages. Hydrobiologia 269/270: 485-502.
- Thomas, E.A. 1948: Limnologische Untersuchungen am Türlensee. Schweiz. Z. Hydrol., 11 (1/2), 90-177.
- Thomas, E.A. 1956: Sedimentation und Stoffhaushalt im Türlensee. Monatsbulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern 12, 1-11.
- Thomas, E.A. 1967: Die Phosphat-Hypertrophie der Gewässer. Notwendigkeit und technische Möglichkeit der Zufuhr-Drosselung. Chemisch Weekblad 63 (26/27), 305-319.
- 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).

Anhang A

Resultate der Schnellzählung und Auflistung der ausgezählten Proben

Relative Kieselalgenschalendichte pro 1-cm-Sedimentschicht

Kieselalgen-Zählresultate

Eichdatensatz: TP Training Set 72 Seen von Prof. Lotter

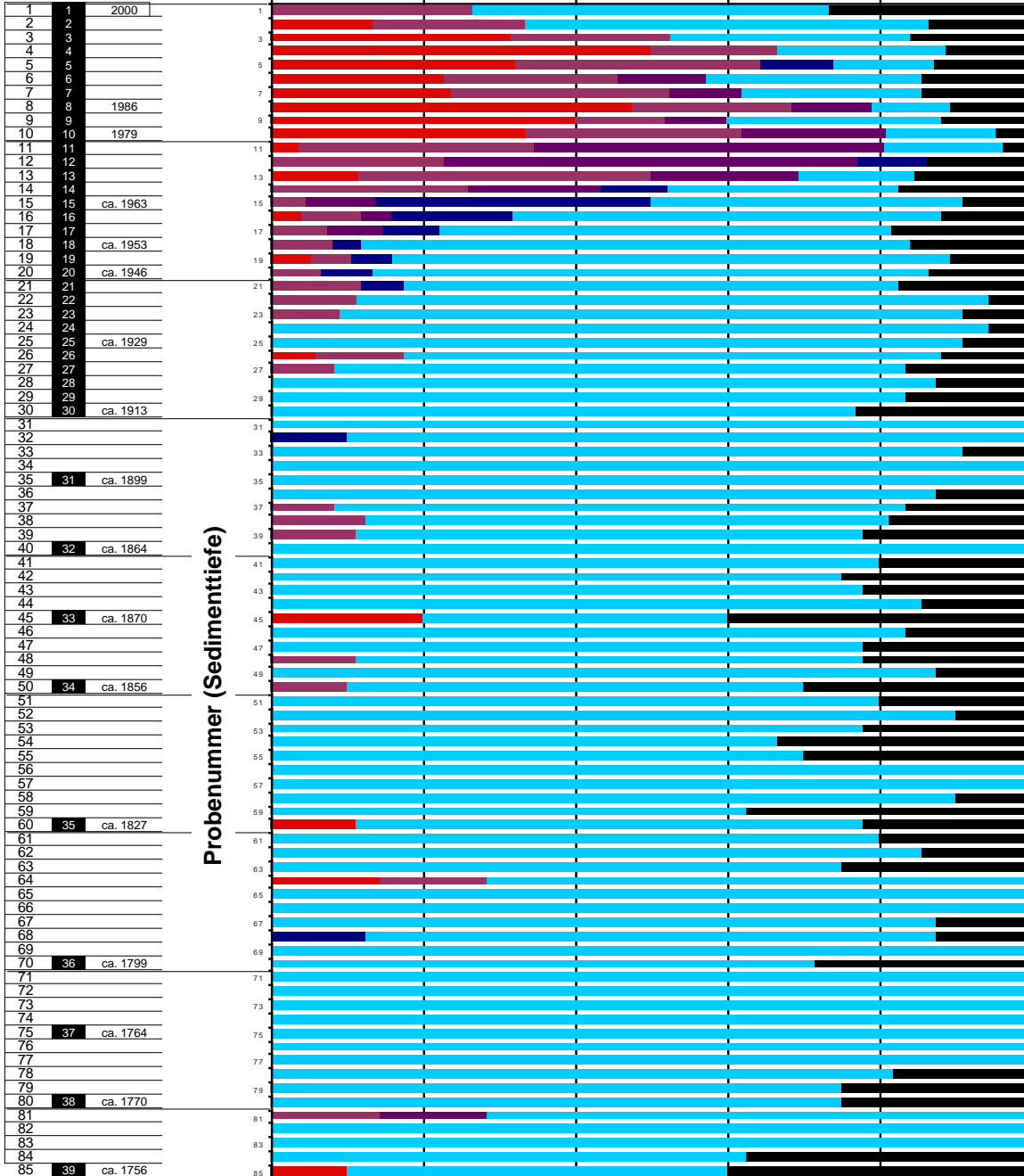
Türlerseer

Probennummer
39 Proben gezählt

Sedimentalter

Relative Häufigkeit [%]

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

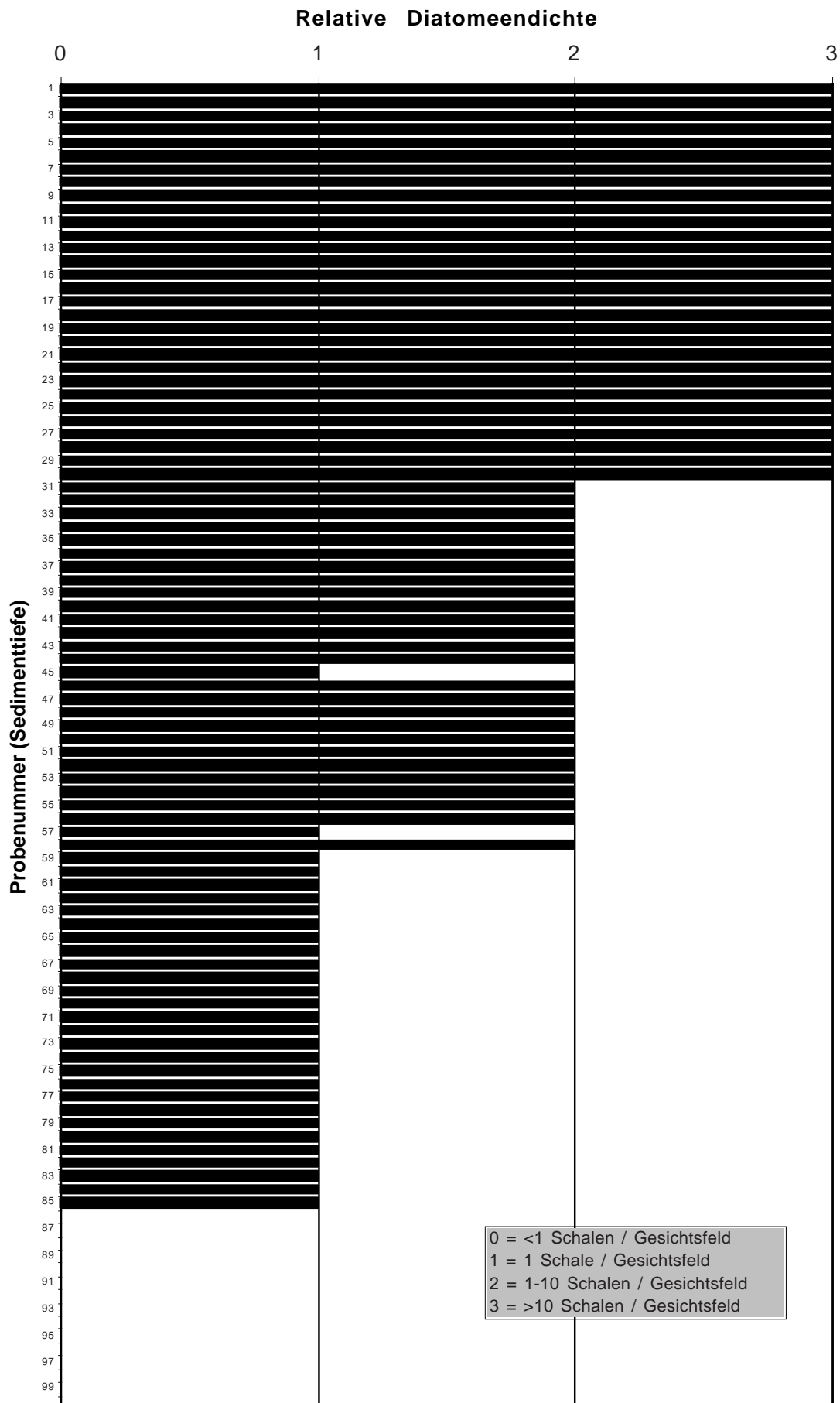


- Stephanodiscus
- Cyclostephanos
- Aulacoseira
- Asterionella formosa
- Tabellaria
- Fragilaria crotonensis
- Fragilaria
- Thalassiosira pseudonana
- Melosira varians
- Cyclotella
- Stephancostis chantaicus
- Pennales Rest

Probennummer (Sedimenttiefe)

1	1	2000
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	1986
9	9	
10	10	1979
11	11	
12	12	
13	13	
14	14	
15	15	ca. 1963
16	16	
17	17	ca. 1953
18	18	
19	19	ca. 1946
20	20	
21	21	
22	22	
23	23	
24	24	
25	25	ca. 1929
26	26	
27	27	
28	28	
29	29	
30	30	ca. 1913
31	31	
32	32	
33	33	
34	34	
35	35	ca. 1899
36	36	
37	37	
38	38	
39	39	
40	40	ca. 1864
41	41	
42	42	
43	43	
44	44	
45	45	ca. 1870
46	46	
47	47	
48	48	
49	49	
50	50	ca. 1856
51	51	
52	52	
53	53	
54	54	
55	55	
56	56	
57	57	
58	58	
59	59	
60	60	ca. 1827
61	61	
62	62	
63	63	
64	64	
65	65	
66	66	
67	67	
68	68	
69	69	
70	70	ca. 1799
71	71	
72	72	
73	73	
74	74	
75	75	ca. 1764
76	76	
77	77	
78	78	
79	79	
80	80	ca. 1770
81	81	
82	82	
83	83	
84	84	
85	85	ca. 1756

Türlersee



Eichdatensatz: TP Training Set 72 Seen von Prof. A. Lotter

WA-PLS Statistik, siehe auch: ter Braak & Juggins (1993), Hydrobiologia 269/270, 485-502.

Taxa Cost	Beta ("Optima")	SE of Beta	N	Max. Vorkommen	N2
ABIA	1.2312	0.175	38	2.27	27.853
ABIO	0.926	0.6624	1	0.69	1
ACLE	2.2289	1.2236	4	0.45	3.931
ACON	1.6091	0.2936	22	1.48	18.0592
ACUR	1.4241	1.779	2	1.62	1.5158
ADAO	0.5969	0.3948	5	1.06	4.4834
ADEL	0.6498	0.9224	1	0.45	1
ADID	0.926	0.6624	1	0.49	1
ADST	0.926	0.6624	1	0.49	1
AEXG	1.4744	0.7079	3	1.16	2.5621
AEXI	0.3432	0.2047	5	1.17	4.7936
AFLE	0.3514	0.3226	2	0.45	1.9446
AHEL	-0.7191	2.2541	1	0.88	1
AHIN	0.4292	1.1133	1	0.44	1
AHOS	3.5132	0.4241	4	0.45	3.9996
AJOU	-0.7191	2.2541	1	0.44	1
ALVU	0.926	0.6624	1	1.1	1
ALVS	1.361	0.2891	14	1.15	12.3829
ALBP	0.0654	1.4809	1	0.62	1
ALFR	0.9481	0.2045	23	1.8	19.0012
ALAN	1.3192	0.5355	11	0.62	10.7155
ALAR	1.4367	0.5178	14	0.62	13.653
ALAU	6.745	5.2529	1	0.45	1
ALVD	1.1751	0.5175	5	1.9	3.8239
ALUT	-0.0816	1.6422	1	0.45	1
AMAR	-0.00469	0.2181	2	0.44	2
AMSC	1.0539	0.4465	7	1.96	5.8024
AMAF	2.2327	0.7233	1	1.05	1
AMGR	1.4645	0.4977	6	0.98	5.5143
AMJA	0.7177	0.2206	18	1.38	15.7839
AMMA	4.1266	2.5956	1	0.62	1
AMIN	1.2842	0.087	68	6.57	42.635
AMSA	0.4514	0.4382	3	0.62	2.9268
AMIA	1.2988	0.5263	11	1.52	9.7769
AOBG	3.6052	0.8054	2	0.45	1.9997
AOST	2.1148	1.6851	2	0.49	1.9942
APET	1.3148	1.3848	2	0.62	1.9508
AROK	1.0933	0.7265	2	1.55	1.6897
ASCL	0.6018	0.7402	2	2.3	1.8853
ASAT	0.901	0.4361	4	1.09	3.6277
ASUC	0.926	0.6624	1	1.7	1
ATAE	1.4474	0.2533	1	0.62	1
ATRI	0.137	1.4092	1	0.45	1
AZIE	1.3871	0.3762	10	1.18	8.4357
APEL	0.9715	0.3064	12	3.84	5.3236
AMFO	1.2327	0.6911	4	0.62	3.9296
AINA	1.398	0.3479	5	0.98	4.2413
ALIB	1.4363	0.2485	24	4.73	12.0341
AMMO	-0.0748	1.6096	1	0.62	1
AOVA	1.2266	0.2971	18	3.16	11.3645
APED	1.6017	0.1921	52	3.37	33.0616
ATHU	0.5672	0.5209	5	0.88	4.5676
AVIT	0.8227	0.2346	18	1.98	13.2421
AFOR	2.0587	0.1903	64	6.55	45.1687
AAMB	1.8559	1.2479	5	4.65	3.2569
AUGR	2.9258	0.54	33	6.4	15.7613
AMUZ	1.6139	1.4256	4	1.76	3.299
CBAC	1.0891	0.2762	22	2.26	17.4565
CHYA	2.2807	0.7919	1	0.63	1
CSHU	1.9651	0.5231	2	1.08	1.9413
CSIL	1.3522	0.3056	15	0.89	14.0911
CHIB	1.6996	0.2872	1	1.25	1
CLVD	1.6996	0.2872	1	2.42	1
CNRC	1.6996	0.2872	1	0.62	1
CPLA	5.6116	2.3771	2	0.45	1.9976
SCPE	1.964	0.4369	2	0.62	1.9999
CPED	-0.1321	0.8074	2	0.45	1.9976

Taxa Cost	Beta ("Optima")	SE of Beta	N	Max. Vorkommen	N2
CPLA	1.2126	0.1851	32	0.76	30.655
CDUB	2.1725	0.3973	17	5.32	9.8244
CINV	2.9453	0.2821	23	2.55	16.9057
CATO	1.6445	0.2808	1	0.44	1
CBOA	0.0597	1.4996	1	0.44	1
CCMS	1.4948	0.1548	38	9.09	20.6509
CCCP	0.1996	0.9784	3	2.07	2.6026
CDTG	1.0589	0.4257	9	4.54	4.0722
CDUN	1.1823	0.2179	49	7.61	25.7711
CKRM	1.6481	0.2426	24	1.66	20.2499
CMEN	2.1714	0.6333	7	2.81	3.7482
COCE	1.4654	0.1945	46	8.24	25.0222
CPRA	1.4715	0.2249	31	2.37	23.7905
CPST	1.5628	0.1241	53	3.98	36.8251
CRAD	1.1652	0.0959	47	7.01	27.5005
CROS	1.3661	0.2389	23	1.91	18.6629
CSTE	1.1746	0.7684	5	2.7	3.4033
CWUE	1.9085	0.5823	6	0.45	5.9969
CELL	3.2173	1.6986	1	0.45	1
CSOL	0.2943	0.2479	3	1.77	1.8668
CAFF	0.7692	0.2432	18	1.08	16.4813
CAPH	0.9601	0.5773	6	0.63	5.8312
CANG	1.5471	1.4573	2	1.48	1.8189
CCAE	0.5939	0.4371	7	1.6	5.3981
CCES	1.8574	0.3528	7	0.63	6.6769
CCUS	1.061	0.6143	5	0.69	4.9047
CCYM	0.2351	1.3044	1	0.62	1
CDEL	0.8661	0.653	4	0.77	3.8599
CEHR	1.0401	0.3645	5	0.98	4.4378
CFAL	1.6506	0.8718	2	0.61	1.9765
CGRA	0.7986	0.2783	10	0.88	9.0851
CHEL	1.1262	0.4474	6	0.89	5.5573
CHUS	1.6785	0.9848	2	0.88	1.9417
CLEP	1.5716	0.2015	1	0.77	1
CMIC	1.151	0.1137	45	2.89	33.8038
CMSE	0.9661	0.2296	12	1.51	10.6663
CMIN	1.3559	0.1933	38	1.68	30.6807
CNAV	-0.2333	1.7709	1	0.44	1
CPUS	0.926	0.6624	1	0.69	1
CREI	1.0764	0.4998	1	0.97	1
CSLE	1.1108	0.1911	21	1.51	17.3591
CSIN	2.0705	1.0963	9	0.89	8.5898
CSAE	1.9438	1.0216	4	0.63	3.9998
CTLA	2.1129	0.6362	1	0.44	1
DKUE	2.2327	0.7233	1	0.61	1
DTEN	1.0884	0.197	32	4.33	19.6449
DMES	0.6208	0.2264	11	1.54	9.1291
DMON	1.461	0.4791	5	1.44	3.841
DITE	1.6609	0.5179	17	2.56	10.8559
DVUL	3.1124	1.2324	7	0.62	6.7763
DELL	1.572	0.7868	2	0.56	1.96
DMAR	1.8195	0.365	1	0.76	1
DMOD	1.8195	0.365	1	0.62	1
DOBL	0.6053	0.2164	11	5.53	4.6997
DOCU	1.3227	0.1862	19	3.22	11.3488
DOVA	1.1215	0.229	25	3.54	12.5325
DPAR	1.6408	0.9739	2	0.98	1.9685
EADN	2.7225	0.7103	2	0.63	1.9999
EBIL	0.6993	0.6497	3	0.62	2.9213
EGLA	-0.0748	1.6096	1	0.44	1
EUIN	1.4474	0.2533	1	0.62	1
EMIN	1.2563	0.9581	3	0.88	2.6765
EPRA	-0.0748	1.6096	1	0.44	1
ESOL	1.0727	0.5165	3	0.75	2.7976
ESUB	0.6863	0.9365	2	0.62	2
FBRE	0.8721	0.1201	39	5.76	21.952
FPCO	0.8016	0.5605	5	1.66	4.3677
FCON	0.8796	0.2057	29	4.08	20.5133
FELL	0.512	1.0388	1	0.63	1
FLAP	4.1266	2.5956	1	0.62	1

Taxa Cost	Beta ("Optima")	SE of Beta	N	Max. Vorkommen	N2
FPIN	0.8748	0.113	44	7.69	25.3698
FARC	1.0531	0.3858	9	1.73	6.8616
FCAH	0.9227	0.9867	2	0.89	1.6368
FCAU	1.0167	0.4803	7	2.09	5.0623
FCRU	-0.7151	2.2536	1	0.45	1
FCAP	1.9728	0.3253	17	1.23	15.2341
FCGR	1.4422	0.2963	21	1.62	18.1944
FCME	1.5041	0.4657	10	0.87	9.301
FCVA	1.6313	0.3387	25	1	22.4926
FCBI	0.7982	0.2561	13	2.44	9.1308
FCVE	0.9868	0.1143	47	4.04	33.3646
FCRO	2.9637	0.2685	43	6.47	27.451
FEXI	3.0953	1.5797	1	0.45	1
FFAM	0.6111	0.9505	1	0.62	1
FFAS	1.359	0.2518	1	1.49	1
FLAT	3.3138	1.7861	1	0.44	1
FLEP	1.1395	0.7183	4	1.74	3.2117
FLMA	0.7103	0.308	6	1.74	4.3867
FMON	-0.2062	0.4869	2	0.44	2
FNAN	1.2129	0.2232	30	5.67	18.2079
FPAR	1.4378	0.212	12	5.56	5.1386
FPSC	2.3765	0.8242	4	0.49	3.9918
FPIT	0.897	0.6612	1	0.32	1
FREI	-0.0816	1.6422	1	0.63	1
FROB	1.4731	0.8371	8	3.84	3.1582
FTEN	0.897	0.6612	1	0.32	1
FULN	1.9719	0.1238	53	1.26	47.1968
FUAC	1.6304	0.1293	60	5.97	37.165
FZEL	2.6068	1.139	1	0.62	1
FRSA	1.4474	0.2533	1	0.45	1
FVUL	0.7069	2.0433	2	1.6	1.5113
GACU	2.3626	0.3729	2	0.45	1.9997
GANG	1.6189	1.6146	3	0.62	2.9327
GANT	2.1889	0.5547	8	0.63	7.8583
GCLA	2.7795	1.3311	1	0.62	1
GGLI	4.3039	2.8388	1	0.62	1
GGRA	1.5892	0.4632	3	0.62	2.9354
GGRO	-0.0748	1.6096	1	0.44	1
GMIC	0.4547	0.5414	4	0.63	3.8896
GOLI	2.613	0.9932	8	0.76	7.6542
GPXS	0.7199	0.4596	3	0.98	2.7433
GPAR	1.774	0.8055	5	0.88	4.6791
GPUM	0.9363	0.3149	11	1.89	8.6261
GTER	0.00418	0.581	2	1.34	1.7701
GTRU	1.7983	0.5927	6	0.75	5.6893
GYAC	1.0878	0.1624	28	2.19	21.7038
GYAT	1.8195	0.365	1	0.76	1
HAMP	1.1529	1.2485	3	0.61	2.9384
MVAR	1.1235	0.5077	10	0.96	9.0295
MCIR	1.7662	0.3315	27	1.26	24.1321
NABL	1.4854	0.2135	1	0.62	1
NACO	2.1149	2.3112	2	0.45	1.9931
NAER	1.0764	0.4998	1	0.56	1
NATO	6.745	5.2529	1	0.77	1
NBAC	0.5112	0.5335	2	0.44	2
NBRY	1.2339	1.4585	2	0.44	2
NCAP	1.478	1.0239	4	0.62	3.9036
NCIN	7.3139	5.8112	1	0.45	1
NCTT	0.1255	1.4156	1	0.32	1
NCOC	0.574	0.9715	1	0.45	1
NCOH	0.0678	1.4853	1	0.44	1
NCOF	1.4474	0.2533	1	0.62	1
NCON	4.7781	2.6585	2	0.63	1.9999
NCOS	1.6996	0.2872	1	1.53	1
NCRC	-0.0816	1.6422	1	0.63	1
NCRY	1.191	0.2766	25	5.75	10.6887
NCTE	1.3868	0.1728	48	1.18	41.7809
NCUS	1.4163	0.9261	3	0.69	2.8622
NDET	1.1945	0.4201	2	0.69	1.9067
NDIG	1.0764	0.4998	1	0.4	1

Taxa Cost	Beta ("Optima")	SE of Beta	N	Max. Vorkommen	N2
NELG	3.6103	0.4079	2	0.62	1.9995
NEXG	1.359	0.2518	1	0.44	1
NEXP	1.4474	0.2533	1	0.88	1
NGPE	0.2568	0.8477	2	0.63	1.9692
NGOE	3.6711	1.1573	2	0.62	1.9439
NGOT	2.9518	1.4339	1	0.44	1
NGRO	0.9573	0.7456	2	0.44	2
NGRE	2.3069	0.9795	11	0.99	10.0897
NHAL	1.0764	0.4998	1	0.56	1
NINO	4.1266	2.5956	1	0.44	1
NIAC	-0.7151	2.2536	1	0.62	1
NIPA	3.0953	1.5797	1	0.62	1
NINS	0.926	0.6624	1	0.49	1
NJAR	0.8641	0.4621	2	0.63	1.9459
NKRA	0.926	0.6624	1	0.49	1
NLAE	1.4474	0.2533	1	0.77	1
NLAN	1.1381	0.1891	31	1.58	27.2019
NLAP	0.367	0.7155	2	0.62	1.9729
NLTK	2.7795	1.3311	1	0.44	1
NLEN	1.7761	0.4558	5	6.55	1.8531
NLUN	1.3765	0.8875	4	0.77	3.845
NMED	-0.0748	1.6096	1	0.62	1
NMEN	1.3141	0.1995	40	3.63	21.3128
NMIN	0.9927	0.3413	11	1.09	10.3863
NMIS	0.7419	0.5059	5	0.61	4.8019
NMNO	1.4097	0.241	6	1.7	4.4179
NMOD	1.5056	0.9497	5	0.62	4.8887
NMLF	-0.1234	0.2539	2	1.3	1.6182
NMUT	0.655	0.8893	1	0.62	1
NOBL	2.7013	0.4993	6	0.62	5.8373
NPEL	0.349	0.539	2	0.62	1.9439
NPHY	0.8665	1.1942	2	0.45	1.9446
NPLA	1.5735	0.7321	2	0.88	1.6423
NPRA	0.655	0.8893	1	0.87	1
NPRO	-0.0748	1.6096	1	0.62	1
NPAG	2.3423	0.8549	1	0.62	1
NPSC	1.3998	0.6163	3	0.45	2.9976
NPVE	-0.7191	2.2541	1	1.25	1
NPUP	1.0374	0.1674	38	2.08	28.6982
NPAQ	1.1751	0.7553	4	3.35	2.4324
NPUM	1.0526	0.2648	4	1.47	3.4845
NPPP	1.7635	0.5041	2	0.88	1.9466
NRAD	0.3344	0.6348	2	0.44	1.9514
NRFA	1.1901	1.0913	3	0.89	2.7936
NRCH	1.5819	0.7747	5	0.45	4.9899
NRHY	1.3395	0.1919	22	2.53	14.1781
NRTD	1.6982	0.7982	3	0.76	2.796
NSMM	0.6047	0.791	2	1.84	1.7729
NSCH	1.0342	1.2231	4	0.99	3.6846
NSEM	1.4786	0.4173	15	1.39	13.1012
NSTR	1.8924	0.5633	1	0.32	1
NSCS	2.0028	2.2698	2	0.62	1.9439
NSBH	2.4617	1.5969	2	0.62	1.9508
NSLU	0.137	1.4092	1	0.77	1
NSBM	2.1947	0.9166	4	0.89	3.7773
NSBP	0.655	0.8893	1	0.87	1
NSBR	0.1309	0.3529	5	1.25	4.5501
NTPT	3.0153	0.8973	11	0.89	10.1045
NTRV	1.1075	0.4659	8	1.16	7.4297
NTOL	0.1255	1.4156	1	0.82	1
NTUS	1.2767	2.7674	2	0.45	1.9997
NTMI	0.512	1.0388	1	0.63	1
NUTE	1.1388	0.4228	15	1.32	13.0617
NVEN	0.205	0.4587	3	0.44	3
NVIR	4.1266	2.5956	1	0.62	1
NVTB	0.3279	0.6678	11	4.13	4.9376
NVIO	4.1266	2.5956	1	0.44	1
NWIL	1.638	0.449	8	2.98	4.9716
NEAM	2.2559	0.2619	2	0.62	2
NEDU	0.7436	0.2826	8	0.62	7.7766

Taxa Cost	Beta ("Optima")	SE of Beta	N	Max. Vorkommen	N2
NIRI	3.2173	1.6986	1	0.45	1
NACI	1.0474	1.485	2	0.44	2
NAGN	0.926	0.6624	1	0.98	1
NAMP	2.744	0.7231	4	0.87	3.656
NIAN	0.9792	0.4706	10	1.1	8.6543
NAGF	2.1543	0.4929	3	3.89	1.6551
NIAR	2.6988	1.0281	6	0.63	5.9206
NBCL	0.064	0.2071	5	1.39	4.4837
NCPL	2.4875	0.631	3	0.74	2.7701
NDIS	1.9943	0.2792	39	1.65	33.5304
NDME	1.8993	1.032	10	0.77	9.4256
NELE	1.6156	0.2488	1	0.44	1
NFON	1.5725	0.3997	15	0.77	14.2894
NIFR	0.9731	0.254	13	0.77	12.4608
NIGF	2.0114	0.3738	5	1.32	4.6266
NIGR	1.4253	0.3954	9	1.16	8.0054
NHEU	1.1709	0.4411	6	0.45	5.9306
NICN	0.2218	0.4687	5	0.45	4.9994
NINC	0.4364	0.2766	2	0.45	2
NILA	1.3162	0.1812	25	1.58	21.0891
NLBT	2.2807	0.7919	1	0.63	1
NLIN	1.3619	0.5686	8	0.93	7.2294
NLSU	2.8942	1.3834	1	0.45	1
NPAL	1.5529	0.898	6	0.88	5.5481
NPAD	-0.0748	1.6096	1	1.15	1
NPAE	1.9859	0.3893	14	1.68	10.2481
NIPM	0.6659	0.9344	2	1.15	1.9986
NIPR	0.3056	0.2764	8	0.63	7.8064
NIPU	1.9041	0.7712	8	0.88	7.5254
NREC	2.0062	0.7148	9	0.62	8.8696
NSIO	0.5764	1.0266	1	0.44	1
NSDE	0.897	0.6612	1	0.32	1
NSOC	0.8807	0.6401	6	0.62	5.8386
NSUA	1.4854	0.2135	1	0.62	1
NZSU	1.1272	0.3694	6	1.39	5.3182
PINT	1.6177	0.2703	3	1.52	2.3568
PLAP	0.655	0.8893	1	0.44	1
PMAJ	1.1248	1.4355	3	0.44	3
PMIC	1.1533	0.4198	20	4.34	9.8549
POBS	3.2173	1.6986	1	0.45	1
PSCA	0.926	0.6624	1	0.49	1
PSRO	2.2807	0.7919	1	0.63	1
PVIR	1.5045	1.4784	2	0.63	1.8075
RABB	5.4317	3.0976	2	0.62	1.9439
RGIB	0.5355	0.4021	3	0.45	2.9924
SIDE	2.032	0.2945	4	1.41	3.1995
SAGR	0.7004	0.3622	6	0.88	5.6172
SPHO	0.8396	0.8542	2	0.44	1.9514
SPRO	-0.4316	0.6436	2	0.62	1.8151
SSMI	1.7483	0.4864	7	0.62	6.7065
SALP	1.9034	0.2808	23	2.07	17.754
SHAN	2.6969	0.2487	25	3.44	17.7845
SMED	3.3138	1.7861	1	0.44	1
STMI	2.2064	0.3582	12	0.77	11.4858
SPAV	2.5007	0.2063	56	9.05	33.6885
SANG	2.7538	0.422	4	0.61	3.8857
SBRE	1.3237	0.8042	5	0.63	4.8469
SLIN	1.5425	0.328	8	1.26	6.4316
SUMI	2.2807	0.7919	1	0.45	1
SURO	1.0581	1.1268	2	1.07	1.997
SSPI	1.6996	0.2872	1	0.62	1
TFEN	2.5251	0.7196	7	2.27	5.238
TFLO	1.1118	0.4935	9	1.94	6.8694
TPSN	0.9512	0.3845	21	5.24	11.1314

Beta: eigentlichen Optima, aber nicht mit WA-Optima vergleichbar

SE: Standard Error der Betas, durch jackknifing errechnet

N: Anzahl vorkommen der Art im Training set

Max. Vorkommen: maximales Prozentuales Vorkommen im Training set

N2: Diversitäts Mass nach Hill (1973), Ecology 54, 427-432. Mass für die Anzahl häufiger Arten

Anhang B

Unterlagen zur Datierung des Sedimentkernes TÜR00-2 Isotopenmessungen

Projekt : Türlensee 2000
Station : TÜR00-2, tiefste Stelle
Wassertiefe: 20 m
Probenahmedatum : 21. Juni 2000
EAWAG corer Ø63mm: entnommen durch A.Zwyszig
Auswertung: M.Sturm / 28.3.2001

Probe-Nr.	Profundität		Sedimentation		Alter		Isotopenmessungen	⁷ Be, ¹³⁷ Cs Maximum	Lithologie	Bemerkungen	
	oben [cm]	unten [cm]	[mm/y]	[y/cm]	oben	unten					
00-2_00	1	0	1	5.7	1.8	2000	1998	7Be,137Cs,210Pb	2000/ ⁷ Be	dunkelgrau/lamin.	
00-2_00	2	1	2	5.7	1.8	1998	1996	137Cs,210Pb		dunkelgrau/lamin.	
00-2_00	3	2	3	5.7	1.8	1996	1994	137Cs,210Pb		dunkelgrau/lamin.	
00-2_00	4	3	4	5.7	1.8	1995	1992	137Cs,210Pb		dunkelgrau/lamin.	
00-2_00	5	4	5	5.7	1.8	1993	1989	137Cs,210Pb		dunkelgrau/lamin.	
00-2_00	6	5	6	4.1	2.4	1991	1987	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	7	6	7	4.1	2.4	1988	1984	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	8	7	8	4.1	2.4	1986	1981	137Cs,210Pb	1986/ ¹³⁷ Cs	schwarz	
00-2_00	9	8	9	3	3.3	1982	1978	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	10	9	10	3	3.3	1979	1975	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	11	10	11	3	3.3	1976	1971	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	12	11	12	3	3.3	1973	1968	137Cs,210Pb		schwarz	
00-2_00	13	12	13	3	3.3	1969	1965	137Cs		schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	14	13	14	3	3.3	1966	1961	137Cs,210Pb		schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	15	14	15	3	3.3	1963	1958	137Cs,210Pb	1963/ ¹³⁷ Cs	schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	16	15	16	3	3.3	1959	1955	137Cs		schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	17	16	17	3	3.3	1956	1951	137Cs		schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	18	17	18	3	3.3	1953	1948	137Cs		schwarz/±Varven	unsichere V.-Zählung
00-2_00	19	18	19	3	3.3	1949	1945	137Cs		schwarz	Extrapolation
00-2_00	20	19	20	3	3.3	1946	1941	137Cs		schwarz	Extrapolation
00-2_00	21	20	21	3	3.3	1943	1938			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	22	21	22	3	3.3	1939	1935			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	23	22	23	3	3.3	1936	1931			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	24	23	24	3	3.3	1933	1928			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	25	24	25	3	3.3	1929	1925			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	26	25	26	3	3.3	1926	1921			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	27	26	27	3	3.3	1923	1918			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	28	27	28	3	3.3	1919	1915			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	29	28	29	3	3.3	1916	1912			dunkelgrau	Extrapolation
00-2_00	30	29	30	3.5	2.9	1913	1909			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	31	30	31	3.5	2.9	1910	1906			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	32	31	32	3.5	2.9	1907	1903			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	33	32	33	3.5	2.9	1904	1901			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	34	33	34	3.5	2.9	1902	1898			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	35	34	35	3.5	2.9	1899	1895			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	36	35	36	3.5	2.9	1896	1892			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	37	36	37	3.5	2.9	1893	1890			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	38	37	38	3.5	2.9	1890	1887			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	39	38	39	3.5	2.9	1887	1884			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	40	39	40	3.5	2.9	1884	1882			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	41	40	41	3.5	2.9	1882	1879			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	42	41	42	3.5	2.9	1879	1876			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	43	42	43	3.5	2.9	1876	1873			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	44	43	44	3.5	2.9	1873	1870			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	45	44	45	3.5	2.9	1870	1867			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	46	45	46	3.5	2.9	1867	1864			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	47	46	47	3.5	2.9	1864	1862			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	48	47	48	3.5	2.9	1862	1859			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	49	48	49	3.5	2.9	1859	1856			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	50	49	50	3.5	2.9	1856	1853			hellgrau	Extrapolation

Probe-Nr.	oben		unten [cm]	Sedimentation		Alter		Isotopen-messungen	⁷ Be, ¹³⁷ Cs Maximum	Lithologie	Bemerkungen
	[cm]	[cm]		[mm/y]	[y/cm]	oben	unten				
00-2_00	51	50	51	3.5	2.9	1853	1850			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	52	51	52	3.5	2.9	1850	1847			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	53	52	53	3.5	2.9	1847	1844			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	54	53	54	3.5	2.9	1844	1842			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	55	54	55	3.5	2.9	1842	1839			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	56	55	56	3.5	2.9	1839	1836			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	57	56	57	3.5	2.9	1836	1833			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	58	57	58	3.5	2.9	1833	1830			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	59	58	59	3.5	2.9	1830	1827			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	60	59	60	3.5	2.9	1827	1824			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	61	60	61	3.5	2.9	1824	1822			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	62	61	62	3.5	2.9	1822	1819			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	63	62	63	3.5	2.9	1819	1816			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	64	63	64	3.5	2.9	1816	1813			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	65	64	65	3.5	2.9	1813	1810			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	66	65	66	3.5	2.9	1810	1807			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	67	66	67	3.5	2.9	1807	1804			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	68	67	68	3.5	2.9	1804	1802			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	69	68	69	3.5	2.9	1802	1799			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	70	69	70	3.5	2.9	1799	1796			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	71	70	71	3.5	2.9	1796	1793			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	72	71	72	3.5	2.9	1793	1790			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	73	72	73	3.5	2.9	1790	1787			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	74	73	74	3.5	2.9	1787	1784			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	75	74	75	3.5	2.9	1784	1782			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	76	75	76	3.5	2.9	1782	1779			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	77	76	77	3.5	2.9	1779	1776			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	78	77	78	3.5	2.9	1776	1773			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	79	78	79	3.5	2.9	1773	1770			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	80	79	80	3.5	2.9	1770	1767			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	81	80	81	3.5	2.9	1767	1764			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	82	81	82	3.5	2.9	1764	1762			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	83	82	83	3.5	2.9	1762	1759			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	84	83	84	3.5	2.9	1759	1756			hellgrau	Extrapolation
00-2_00	85	84	85	3.5	2.9	1756	1745			hellgrau	Extrapolation

Projekt :		Türlensee													
Station :		TÜR00 -2													
Probenahmedatum :		21.06.2000/20 m; Zwyszig, Hürlimann, Niederhauser													
Messblatt γ-Messung:		EAWAG													
Probe Nr.	Tiefe		Gew. [g]	Be-7		K-40		Cs-137		Pb-210					
	oben [cm]	unten [cm]		[Bq/kg]		[Bq/kg]		[Bq/kg]		[Bq/kg]					
00-2_00 1	0	1	3.1837	61	±	74	516	±	151	72	±	14	293	±	220
00-2_00 2	1	2	3.0804				458	±	142	96	±	18	263	±	214
00-2_00 3	2	3	3.5595				490	±	113	155	±	25	227	±	158
00-2_00 4	3	4	2.9061				497	±	153	186	±	32	291	±	248
00-2_00 5	4	5	3.7158				476	±	123	289	±	47	217	±	178
00-2_00 6	5	6	3.1557				403	±	127	281	±	47	203	±	203
00-2_00 7	6	7	3.0886				466	±	107	282	±	45	132	±	143
00-2_00 8	7	8	3.2595				440	±	128	503	±	81	216	±	204
00-2_00 9	8	9	3.3001				352	±	112	159	±	27	294	±	213
00-2_0 10	9	10	3.1705				469	±	134	70	±	14	152	±	203
00-2_0 11	10	11	3.5644				414	±	129	65	±	13	113	±	161
00-2_0 12	11	12	4.6482				535	±	128	72	±	13	113	±	146
00-2_0 13	12	13	4.1581				277	±	277	87	±	16		±	
00-2_0 14	13	14	4.171				383	±	91	205	±	33	111	±	128
00-2_0 15	14	15	4.359				293	±	112	376	±	62		±	
00-2_0 16	15	16	0				357	±	107	99	±	18		±	
00-2_0 17	16	17	0				329	±	103	69	±	13		±	
00-2_0 18	17	18	0				405	±	117	24	±	6		±	
00-2_0 19	18	19	0					±			±			±	
00-2_0 20	19	20	0				409	±	116	2	±	2		±	

Tab. B1: Isotopenmessungen Türlensee-Sedimentkern TÜR00-2.