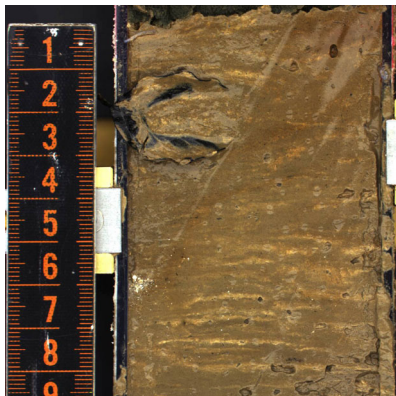
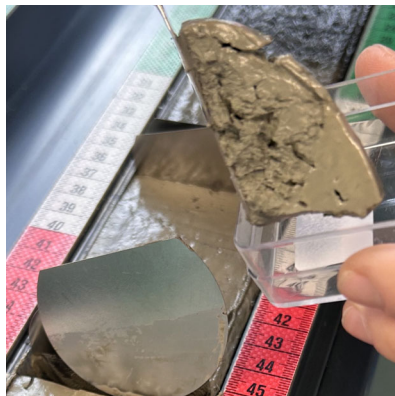


Rekonstruktion des Gesamtphosphors im Türlerseer See anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen

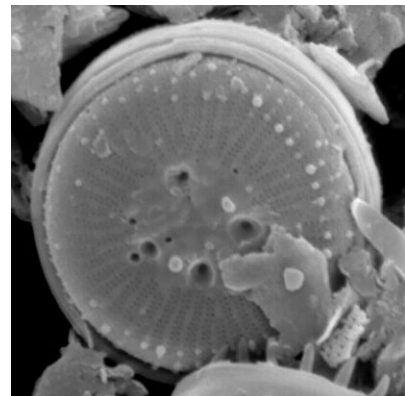
Entwicklung seit dem Jahr 2000



Oxidierter Kern TUR23-04B
Bild EAWAG



Entnahme der Sedimentproben
Bild AquaPlus AG



Kieselalge *Cyclotella ocellata*
Bild Rolf Klee

Bericht Nr. 2355-B-03
Datum Entwurf: 27.11.2023
Datum Endfassung: 4.12.2023

Impressum

Auftraggeber: Kanton Zürich Baudirektion · Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) · Gewässerschutz
Hardturmstrasse 105 · CH-8005 Zürich
Dr. Pius Niederhauser

Auftragnehmer: AquaPlus AG
Gotthardstrasse 30 · CH-6300 Zug

Projektleitung: Barbara Imhof

Mitarbeiter: Yvonne Bernauer · Joachim Hürlimann · Christa Gufler ·
Margrit Ensner Egloff

Zitiervorschlag: AquaPlus 2023: Rekonstruktion des Gesamtphosphors im Türlersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Entwicklung seit dem Jahr 2000. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Hardturmstrasse 105, CH-8005 Zürich. 31 Seiten, Bericht und Anhang.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	1
1 Ausgangslage und Auftrag	2
2 Grundlagen und Methoden	2
3 Sedimentkern TUR23-04	4
4 Ergebnisse und Diskussion	5
4.1 Limnologie des Türlersees	5
4.2 Kieselalgen	7
4.3 Rekonstruktion des Gesamtphosphors	13
5 Fazit	15
6 Literatur	17
<hr/>	
ANHANG	19
ANHANG A: Datierung Sedimentkern TUR23-04	20
ANHANG B: Charakterisierung des Türlersees	21
ANHANG C: Zählraten der Kieselalgen (15 Proben)	27
ANHANG D: Bilder typischer Gesichtsfelder zweier Tiefenstufen	31

Zusammenfassung

Auftrag	<p>Der Auftrag 'Rekonstruktion des Gesamtphosphors des Türlersees mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen' wurde am 27.2.2023 an die Firma AquaPlus AG in Zug von der Abteilung Gewässerschutz des AWEL, Kanton Zürich (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) erteilt. Mit dem Auftrag sind folgende Fragestellungen verknüpft, bezogen auf die letzten rund 20 Jahre:</p> <ul style="list-style-type: none">- Darstellung der planktischen Kieselalgen-Lebensgemeinschaften,- Entwicklung des trophischen Zustandes,- Entwicklung des rekonstruierten Gesamtphosphors.
Datierung des Kernes	<p>Der verwendete Sedimentkern TUR23-04 des Pfäffikersees wurde durch die EA-WAG am 12.5.2023 an der tiefsten Stelle entnommen. Die Sedimentationsrate der letzten ca. 7-8.5 cm (ca. 20 Jahre) betrug rund 3-3.7 mm/Jahr. Der Kern war nicht geschichtet, was zu Unsicherheiten bei der Datierung führt.</p>
Limnologie	<p>Der Türlersee ist heute mit einem Gesamtphosphorgehalt von rund 18 µg P/l ein stabil mesotrophes Gewässer, wobei der mesotrophe Zustand schon mehr wie 20 Jahre andauert. Das Tiefenwasser weist während der Stagnation regelmässig keinen Sauerstoff auf, so dass sich Phosphor aus dem Sediment rüchlöst. Diese interne Düngung war in den letzten rund 15 Jahren vermutlich Wetter bedingt erhöht, was zeitweise einen Anstieg des Gesamtphosphors verursachte.</p>
Kieselalgen	<p>Die dominierenden Kieselalgen der letzten 20 Jahre waren die eutraphenten Arten <i>Asterionella formosa</i>, <i>Fragilaria crotonensis</i> und <i>Stephanodiscus parvus</i> (<i>Stephanodiscus parvus/ minutulus</i>), die schwach eutraphente Art <i>Cyclotella ocellata</i> sowie die mesotraphente Art <i>Cyclotella cyclopuncta</i>. Das Aufkommen der eutraphenten Arten während der letzten rund 10 Jahren zeigt, dass sich im Türlersee das Kieselalgen-Plankton stetig änderte und die mesotraphenten Arten zunehmend verdrängt werden. Dieser Aspektwechsel erfolgt basierend auf einer zeitlichen Abfolge mehrerer eutraphenten Arten und indiziert damit eine leichte Eutrophierung, respektive die Abkehr von eindeutig mesotrophen Verhältnissen.</p>
Saisonalität	<p>Basierend auf Planktonzählungen und Auswertungen von Aufwuchsproben des Seeausflusses Reppisch konnten wenige Hinweise zur Saisonalität der dominierenden Taxa eruiert werden. Auf Ebene der Gattungen traten gemäss Planktonzählungen des AWEL die meisten Kieselalgen-Taxa gehäuft von März bis Mai auf. <i>Cyclotella</i> sp., <i>Asterionella formosa</i> und <i>Fragilaria crotonensis</i> erschienen im Frühling gehäuft und dann im Jahresverlauf abnehmend. Diese Abfolge dürfte wesentlich beeinflusst sein durch die interne Düngung und die daher im Winter im Epilimnion höheren Phosphatkonzentrationen.</p>
Biovolumen	<p>Das Biovolumen hat sich in den letzten rund 20 Jahren bis auf wenige Schwankungen in den dominierenden Grössenklassen 100-299 µm³ und 300-599 µm³ nicht gross verändert. Der erwähnte Aspektwechsel bewirkt somit nicht das Aufkommen anderer Grössenklassen.</p>
Rekonstruktion Gesamt-P	<p>Die rekonstruierte Gesamtphosphorkonzentration basierend auf den im Sediment eingelagerten Kieselalgen war für die letzten rund 20 Jahre deutlich höher wie die Messwerte. Die Koexistenz von eutraphenten und mesotraphenten Arten dürfte bedingt sein durch die interne Düngung, was sich auf die Rekonstruktion des Gesamtphosphors auswirkt. Der Klimawandel scheint den Prozess der Oligotrophierung infolge zu bremsen.</p>

1 Ausgangslage und Auftrag

Der Auftrag 'Rekonstruktion des Gesamtphosphors des Türlersees mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen' wurde am 27.2.2023 an die Firma AquaPlus AG in Zug von der Abteilung Gewässerschutz des AWEL, Kanton Zürich (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) erteilt.

Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber (AWEL, Herr Dr. Pius Niederhauser, Frau Dr. Barbara Känel), der EAWAG (Frau Prof. Nathalie Dubois, Frau Anita Schlatter, Frau Irene Brunner) und Prof. André Lotter, Luzern.

Die Rekonstruktion der Kieselalgen im Sediment des Türlersees seit den letzten rund 20 Jahren hat folgende Ziele:

- Darstellung der planktischen Kieselalgen-Lebensgemeinschaften der letzten rund 20 Jahre. Dies als Ergänzung zu den Planktondaten des AWEL Zürich, welches seit 2003 nur noch halbquantitative Schätzungen der Planktonmischproben zur Charakterisierung der Algenzusammensetzung durchführt. Entsprechend werden beim AWEL die Kieselalgentaxa auch nicht genauer bestimmt.
- Entwicklung des trophischen Zustandes,
- Entwicklung des Gesamtphosphors.

2 Grundlagen und Methoden

Die folgenden Grundlagen und Methoden sind für das Projekt relevant:

- Kernentnahme am 12.5.2023 durch Frau Anita Schlatter, EAWAG und Herrn Dr. Pius Niederhauser (AWEL) (Kern TUR23-04, Koordinaten 2'680'525 / 1'235'825 / 644 m ü. M.).
- Kernaufbereitung und Beprobung durch EAWAG (Öffnen des Kernes, Fotografie, Gefriertrocknung der entnommenen Proben) und AquaPlus AG (Auswahl und Entnahme von 21 Proben). Kern und Auswahl der Proben siehe Anhang A.
- Präparation der gefriergetrockneten Kieselalgenproben durch das Amt für Verbraucherschutz des Kantons Zug (Säurepräparation mit Salzsäure, Schwefelsäure und Endoxidation mit Kaliumnitrat, Einbettung in Naphrax zu Dauerpräparaten).
- Bestimmung der Arten und Zählung von 500 Schalen pro Probe durch AquaPlus AG (Frau Margrit Ensner Egloff, Joachim Hürlimann). Ausgewertet wurden 15 Proben (Auswahl und Tiefenstufen siehe Anhang A). Die Bestimmungen erfolgten mit den gängigen Bestimmungsbüchern Mitteleuropas (Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991), Hofmann et al. (2013)) und vor allem gemäss den Bestimmungen zum Zeitpunkt der Erhebungen des Eichdatensatzes (Lotter et al. (1998)). Bei der Bestimmung des Taxons *Stephanodis-*

scus minutulus orientierten wir uns vor allem an den REM-Aufnahmen von Rolf Klee anlässlich der letzten Untersuchung (AquaPlus 2001). Da wir im Vergleich zur Untersuchung des Jahres 2000 überschneidende Sedimentkerne und -proben haben, nahmen wir an, dass es sich bei den vorgefundenen kleinen *Stephanodiscus*-formen ($< 10 \mu\text{m}$ Durchmesser) um dieselbe Art handelt wie in den jüngsten Schichten des Kernes aus dem Jahr 2000. Ganz sicher sind wir natürlich nicht, da aktuell keine REM-Aufnahmen gemacht wurden. Da die beiden Formen zwar unterschiedliche Optima beim Gesamtphosphor haben, haben wir die Bestimmungen im Lichtmikroskop so gut wie möglich gemacht. Je nach Situation ist es aber angebracht vom Taxakomplex *Stephanodiscus parvus/minutulus* zu sprechen. Bei den kleinen Formen der Gattung *Cyclotella* mit einem Durchmesser von ca. 5 bis $10 \mu\text{m}$ war die Bestimmung nicht immer eindeutig durchführbar (Bruchstücke, Erosion der Schale, Kümmerformen etc.). Die Bestimmung wurde dann jeweils in Anlehnung an in der Probe bereits vorhandene Taxa durchgeführt. Es muss daher angenommen werden, dass insbesondere kleine Formen von *C. atomus*, *C. cyclopuncta*, *C. delicatula*, *C. hinziae* und *C. wuethrichiana* nicht immer eindeutig bestimmbar waren. Grundsätzlich werden die grossen Formen eher in der Häufigkeit unterschätzt. Es sind dies bei den zentrischen Arten *Cyclotella praetermissa* und *Stephanodiscus alpinus*. Bei *Asterionella formosa* (Köpfe gezählt) und *Fragilaria crotonensis* (Mitte gezählt) war dies vermutlich weniger der Fall, da diese oft auch in zählbaren kleineren Bruchstücken vorlagen.

- Datierung und Bestimmung der Sedimentationsrate durch AquaPlus AG; siehe dazu Kapitel 3 und Anhang A.
- Rekonstruktion des Gesamtphosphors durch Herrn Prof. Andy Lotter, Luzern 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 121 in den Zählungen vorhandenen Kieselalgentaxa konnten deren 92 im Kalibrationsset zugeordnet werden (= 76 %). Bei den 29 Taxa, welche für die Rekonstruktion nicht benutzt werden konnten, handelt es sich bis auf 3 planktisch lebende *Cyclotella*-Arten alles um benthische Arten (Aufwuchs). Diese vielen Arten nahmen pro Probe zusammen gezählt aber bloss relative Häufigkeiten zwischen 0 und 4.8 % ein (Mittelwert: 1.8 %). Die meisten Arten traten pro Probe mit ≤ 2 Schalen auf und waren daher für die Rekonstruktion ohne Bedeutung. Arten mit einem Anteil von ≥ 1 % erreichten nur *Cyclotella rossii* (maximale relative Häufigkeit: 2.8 %, in 8 von 15 Proben vorhanden) und *Fragilaria cyclosum* (2.2 %, in 7 von 15 Proben).
- Archivierung der präparierten Proben und Präparate bei AquaPlus AG. 1 Set Präparate wurde dem Auftraggeber übergeben. Die Zählraten wurden dem Auftraggeber elektronisch zugestellt. Sie befinden sich auch in Anhang C.
- Angaben zur Limnologie des Türlersees (Tiefenprofile Gesamtphosphor, Sauerstoff, Temperatur, Massnahmen etc.) ab Website des AWEL¹, gemäss AWEL (2023) sowie Angaben von Herrn Dr. Pius Niederhauser und Frau Dr.

¹ <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/messdaten/gewaesserqualitaet-seen.html>

Barbara Känel, beide AWEL Zürich (volumengewichtete Monatswerte, Planktondaten AWEL).

3 Sedimentkern TUR23-04

In Abbildung 3.1 befindet sich der Kern TUR23-04 des Türlersees, welcher für die Untersuchungen am 12.5.2023 durch die EAWAG entnommen wurde. Zudem befindet sich in Abbildung 3.1 die Datierung der obersten 10 cm sowie die Angaben zu den 15 entnommenen Proben (Sedimenttiefe, Sedimentmächtigkeit, berechnetes Alter). Da auch im oxidierten Kern keine Jahresschichten erkennbar waren, musste der Kern im Vergleich mit dem Kern aus dem Jahr 2000 optisch eingeschätzt werden (siehe dazu Anhang A). Basierend auf dieser Einschätzung ergab sich für die letzten rund 23 Jahre eine Sedimentationsrate von 3-3.7 mm/Jahr. Demnach sind seit der letzten Rekonstruktion des Gesamtphosphors basierend auf dem damaligen Kern TÜR00-2 um 7-8.5 cm Sediment hinzugekommen. Damals war die Sedimentationsrate je nach Tiefe mit 3 bis 5.7 mm/Jahr etwas hö-

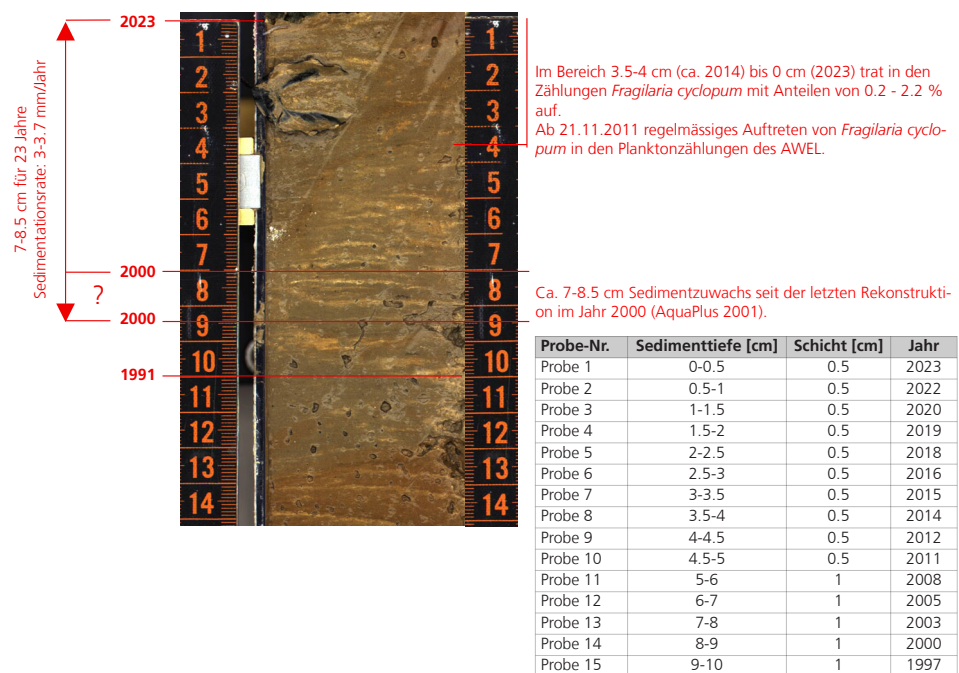


Abbildung 3.1: Sedimentkern TUR23-04B des Türlersees im oxidierten Zustand mit Angaben zur Datierung (Zählung der Warven) und Hinweise aus den Planktonzählungen des AWEL. Beprobt wurde die andere Hälfte des Kernes (TUR23-04A).

Tabelle rechts: Datierung der 15 untersuchten Sedimentproben basierend auf der Sedimentationsrate von 3.7 mm/Jahr für die obersten 10 cm. Die Proben 13 bis 15 dürften sich ab rund 7-8 cm mit dem Kern TÜR00-2 aus dem Jahr 2000 überschneiden.

Foto Sedimentkern: EAWAG, Dübendorf.

her (2000-1990: 5.7 mm/Jahr, 1990-1980: 4.1 m/Jahr, vor 1980-1915 um 3 mm/Jahr). Wir haben daher die Sedimentationsrate mit 3.7 mm/Jahr angesetzt.

Zur Plausibilisierung der Datierung verwendeten wir Planktondaten sowie den Vergleich der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften der aktuellen mit denjenigen der früheren Untersuchung aus dem Jahr 2000 (Ähnlichkeitsberechnungen). Die Planktondaten des Pfäffikersees, erhoben durch das AWEL, wiesen am 21.11.2011 regelmässig das unverwechselbare Taxon *Fragilaria cyclosum* mit geringer Häufigkeit (oft vereinzelt) nach. In unseren Zählungen fanden auch wir in der Probe 8 (3.5-4.0 cm Tiefe, ca. Jahr 2014) und jünger (bis Probe 1, 0-0.5 cm, Jahr 2023) das Taxon *Fragilaria cyclosum* mit geringen Anteilen (von 0.2 bis 2.2 % (Abb. 3.1, Abb. 4.1). Wir gehen davon aus, dass es sich bei der Zählung des AWEL und unseren Zählungen um dasselbe Taxon handelt. Somit dürfte der Tiefenbereich um 3.5-4 cm in etwa dem Jahr 2011 oder etwas jünger entsprechen; was einer Sedimentationsrate um 3.5 mm/Jahr entspricht.

Kern 2023	Kern 2000				
	2000	1998	1996	1995	1993
2008	61	62	48	44	43
2005	64	65	45	42	40
2003	74	74	41	29	28
2000	78	77	44	30	31
1997	74	74	42	28	27

Zahlen: Ähnlichkeiten zweier Proben nach Renkonen (1938).
 ≥ 60 % bedeutet sehr hohe Ähnlichkeit. Gelb markiert: ≥ 70 % Ähnlichkeit. Rote Rahmen: in etwa zeitgleiche Probenpaare.

Die Vergleiche der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften (Ähnlichkeitsberechnungen, Paarvergleich nach Renkonen (1938)) zwischen den Zählungen des Kernes aus dem Jahr 2023 und denjenigen des Kernes aus dem Jahr 2000 ergaben, dass die untersten 3 Proben des Kernes aus dem Jahr 2023 (Tiefen 7-10 cm, Jahre ca. 1997 bis 2003) sehr hohe Ähnlichkeiten hatten mit den jüngsten 2 Proben des Kernes aus dem Jahr 2000 (Tiefen 0-2 cm, Jahre ca. 1998 bis 2000). Die Übereinstimmung der zeitgleichen Proben der beiden sich überlappenden Kerne betrug 74 bis 78 % (siehe Tabelle nebenan). Aus unserer Erfahrung mit der Dominanz-Identität nach Renkonen (1932) wissen wir, dass Ähnlichkeiten zwischen zwei Kieselalgen-Lebensgemeinschaften von ≥ 60 % von derselben Probe stammen könnten. Diese hohe bis sehr hohe Übereinstimmungen erfolgten vor allem durch die Taxa *Stephanodiscus minutulus*, *S. alpinus*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella cyclopuncta* und *C. ocellata*. Interessant und auffällig ist, dass auch Proben der Jahre 2003-2008 des jüngeren Kernes 2023 hohe Ähnlichkeiten zeigen mit Proben der Jahre 2000 und 1998 des Kernes 2000. Offenbar änderte sich die Lebensgemeinschaft auch in den Folgejahren nicht wesentlich.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Limnologie des Türlersees

Der Türlersee ist heute mit einem Gesamtphosphorgehalt von 18 µg P/l ein deutlich mesotrophes Gewässer. Während der letzten 20 Jahre betrug der über die Tiefenstufen volumengewichtete jährliche Mittelwert 18 µg P/l und variierte von Jahr zu Jahr von 15 bis 25 µg P/l (siehe auch Kastentext unten). Das Tiefenwasser weist aber trotz dieser deutlichen Verbesserung während der Stagnation regelmässig keinen Sauerstoff auf, sodass sich Phosphor aus dem Sediment rücklöst

Zitat aus dem Gewässerbericht 2022 (AWEL 2023, Seite 94): Der Türlersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum, der aufgrund seiner windgeschützten Lage höchstens alle paar Jahre vollständig zirkuliert. Das Tiefenwasser des Sees dürfte ursprünglich immer knapp sauerstoffhaltig gewesen sein, da der See bis 1900 sehr geringe Phosphorkonzentrationen aufwies.

(interne Düngung). Diese interne Düngung war möglicherweise in den Jahren 2007 bis 2010 und 2014 bis 2017 leicht erhöht, was einen leichten Anstieg des Gesamtphosphors auf > 20 bis 25 µg P/l hervorrief (siehe auch Abb. 4.5). Dieser Sachverhalt wurde im Gewässerbericht 2022 des AWEL für den Greifensee beschrieben. Im Greifensee führten erhöhte Wassertemperaturen des Oberflächenwassers im Herbst jeweils zu einer verlängerten Stagnationsphase, was wiederum die interne Düngung begünstigte. Wir gehen davon aus, dass im Türlersee derselbe Effekt auch auftrat.

Im Anhang B befinden sich diverse Zusammenstellungen zum Zustand des Türlersees und den getroffenen internen und externen Massnahmen. Sie wurden der Website des AWEL entnommen¹.

Gemäss Messungen des Gesamtphosphors (regelmässig seit 1952) und der Rekonstruktion des Gesamtphosphors (seit 1750, AquaPlus (2001)) kann der Türlersee im Sinne eines anzustrebenden Referenzzustandes als mesotrophes Gewässer eingestuft werden. Das AWEL definiert das ökologische Ziel für den Türlersee mit 25 µg P/l. Damit wird das ökologische Ziel seit vielen Jahren eingehalten.

Die seit dem Jahr 1987 installierte interne Zirkulationsunterstützungsanlage, welche jeweils im Winter in Betrieb war, wurde im Frühling 2020 definitiv abgestellt. Gemäss Einschätzung von Pius Niederhauser, AWEL (siehe Kastentext nebenan) bewirkte die Ausserbetriebnahme der Zirkulationsunterstützungsanlage, die inzwischen kürzeren Phasen mit Eisbedeckung wie auch die in den letzten Jahren bereits im Februar sonnig-warmen Tage bessere Wachstumsbedingungen.

Eine kurze Sichtung der Planktondaten des Türlersees (Periode 2003-2021, Daten vom AWEL zur Verfügung gestellt) zeigte wenig Auffälligkeiten, wobei uns das Plankton der Kieselalgen zur Verfügung stand. Die einzelnen Taxa variierten wenig in den Abundanzen, wurden doch 90 % aller Vorkommen der erfassten Plankter die Häufigkeitsklassen (HK) 4 (23%, selten), 4.5 (13%, selten-vereinzelt) und 5 (54 %, vereinzelt) zugewiesen. Sehr häufig (HK 2) wurde nur bei 1 % aller Taxaerfassungen eruiert und dominierend (HK 1) nie. Bei den bestimmten 11 Kieselalgentaxa (*Asterionella formosa*, *Aulacoseira* sp., *Cyclotella bodanica*², *Cyclotella* sp.³, *Diatoma elongata*, *Fragilaria capucina*, *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria cyclopum*, PENNXX (= vermutlich Pennales), *Tabellaria fenestrata* (= vermutlich *Tabellaria flocculosa*) und *Ulnaria* (= *Fragilaria*) *delicatissima*) traten vor allem *Asterionella formosa*, *Cyclotella* als Gattung sowie *F. crotonensis* regelmässig, gehäuft und über die ganze Periode auf. *Stephanodiscus* als Gattung wurde nicht bestimmt^{2,3}. Gemäss Auswertungen des AWEL kam es im Türlersee seit 1992 nur ganz selten zu etwas erhöhten Algenbiomassen. Die Chlorophyllgehalte sind damit seit rund 30 Jahren typisch für wenig bis mittelproduktive Seen (Anhang B).

Die Reppisch ist der Ausfluss des Türlersees. An einigermaßen seenahen Stellen lassen abgeschwemmte Arten aus dem Plankton des Türlersees zu einem gewissen Grad auf die Saisonalität des Planktons des Türlersees schliessen. Die Häufigkeit der Plankter war aber in der Reppisch sehr gering, was vermutlich mit der geringen Produktivität des mesotrophen Türlersees zu tun hat (Tabelle 4.1 und An-

Zwangszirkulation und Eisbedeckung

Gemäss Informationen eines Fischers hat der Türlersee jedes Jahr eine Eisbedeckung. Im Gegensatz zu früher, wo die Eisbedeckung meist von Januar bis in den März dauerte, ist der See nun nur noch ca. 2 bis 4 Wochen gefroren. Die Zwangszirkulation führte jeweils zu einem offenen Bereich um die Anlage. Die Eisbedeckung des Türlersees konnte aber nicht verhindert werden.

In früheren Jahren gab es somit eine Eisbedeckung mit starker Abdunklung und Zwangszirkulation bis anfangs April mit Mischung des Wassers. Mit der Ausserbetriebsetzung der Zwangszirkulation und der kürzeren Zeit mit Eisbedeckung änderten sich zwei wichtige Parameter in den Wintermonaten: Die Abdunklung infolge Eisschicht dauert nun weniger lang und die Mischung unter Eis fehlt. Zudem waren in den letzten Jahren bereits im Februar häufig warme sonnige Tage, also gute Startbedingungen für eutraphente r-Strategen (schnell wachsende Plankter).

Information von Herrn Pius Niederhauser, AWEL.

² Die Kieselalgen wurden nicht mittels Präparation genauer bestimmt. Wir gehen daher davon aus, dass mit *Cyclotella bodanica* grosse centrische Kieselalgen gemeint sind. Dazu dürften auch z. B. *Cyclotella radiosa*, *C. preatermissa*, *Stephanodiscus alpinus* gehören.

³ Wir gehen daher davon aus, dass mit *Cyclotella* sp. kleine centrische Kieselalgen gemeint sind. Dazu dürften auch Taxa der Gattung *Stephanodiscus* gehören (z. B. *Stephanodiscus parvus*, *S. minutulus*, *S. medius*, *S. hantzschii*) sowie kleinere *Cyclotella*-Arten (*C. atomus*, *C. cyclopuncta* etc.).

hang B). Für die Reppisch verfügen wir an drei geeigneten Stellen für die Jahre 2002, 2009, 2015 und 2016 insgesamt 10 Kieselalgen-Zählungen (Monate März, September, Oktober und November). Als planktische Taxa mit einem Anteil von $\geq 1\%$ traten nur *Cyclotella cyclopuncta* am 23.9.2009 sowie *Stephanodiscus minutulus/parvus* am 7.3.2016 auf (Tabelle 4.1). Bei allen anderen Proben gab es keine oder nur ganz wenige planktische Kieselalgen. Damit wird die geringe Kieselalgen-Planktondichte bestätigt, wie es bereits die Planktondaten des AWEL ergaben. Auf die Saisonalität wird im Kapitel 4.2 erneut Bezug genommen.

4.2 Kieselalgen

Im Sediment des Türlersees fanden wir in den 15 untersuchten Proben insgesamt 121 Taxa, wobei pro Probe zwischen 20 und 37 Taxa und im Mittel 28 Taxa vorkamen. Die Diversität H nach Shannon & Weaver (1949) nahm Werte ein von 2.42 bis 3.47 (Mittelwert 2.92). Taxa, die mindestens einmal eine relative Häufigkeit von mehr als 10 % pro Probe erreichten, waren die eutrapihenten Arten *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* und *Stephanodiscus minutulus* (*Stephanodiscus parvus/minutulus*), die schwach eutrapihente Art *Cyclotella ocellata* und die mesotrapihente Art *Cyclotella cyclopuncta*. Das dominierende Taxon, welches in jeder Probe auftrat, war das mesotrapihente Taxon *Cyclotella cyclopuncta*, welches aber über die letzten 20 Jahre an Häufigkeit verlor (Sediment 0-8 cm, ca. 2003-2023, siehe Abb. 3.1). Der mittlere relative Anteil betrug für die letzten 20 Jahre 28 % (siehe Abb. 4.1). Etwas weniger häufig aber auch in allen 15 Proben auftretend waren in den letzten rund 20 Jahren die eutrapihenten Arten *Stephanodiscus minutulus* (*Stephanodiscus parvus/minutulus*, 20 % mittlerer Wert der

Tabelle 4.1: Oben: Plankton der Reppisch, Ausfluss des Türlersees in den Aufwuchsproben seit dem Jahr 2000. Die in der Probe vorhandenen planktischen Formen wurden aus dem Türlersee abgeschwemmt. Sie geben somit einen Hinweis zur Saisonalität des Planktons im Türlersee.

Unten: Plankton der Glatt bei Schwerzenbach, Seeausfluss des eutrophen Greifensees als Vergleich (AquaPlus 2023a).

Angaben als monatliche Mittelwerte der relativen Häufigkeiten pro Taxon. Fettdruck bedeutet maximale Häufigkeit. Daten gemäss Datenbank AquaPlus AG, Zug (Aufträge Kanton Zürich).

Angaben als relative Häufigkeit (monatlicher Mittelwert über die Periode hinweg).

Monat	Periode 2000-2019	März	April	September	Oktober	November
Anzahl Proben Reppisch*		4	-	2	2	2
<i>Stephanodiscus</i>	[%]	0.3	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i>	[%]	<0.2	-	1.0	-	-
<i>Asterionella formosa</i>	[%]	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria crotonensis</i>	[%]	-	-	-	-	-

* Stellen C_Nr. 135: Auslauf Türlersee (ca. 1.4 km Distanz zum See), C_Nr. 136: Stallikon (ca. 7 km), C_Nr. 1054: nach Stallikon (ca. 8 km).

Monat	Periode 2000-2019	März	April	September	Oktober	November
Anzahl Proben Schwerzenbach		6	1	1	3	1
<i>Stephanodiscus</i>	[%]	7.3	3.0	0.0	0.5	0.5
<i>Cyclotella</i>	[%]	0.6	10.0	1.3	1.0	0.3
<i>Asterionella formosa</i>	[%]	1.2	0.0	0.8	3.2	1.0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	[%]	0.0	0.0	0.0	5.1	4.0

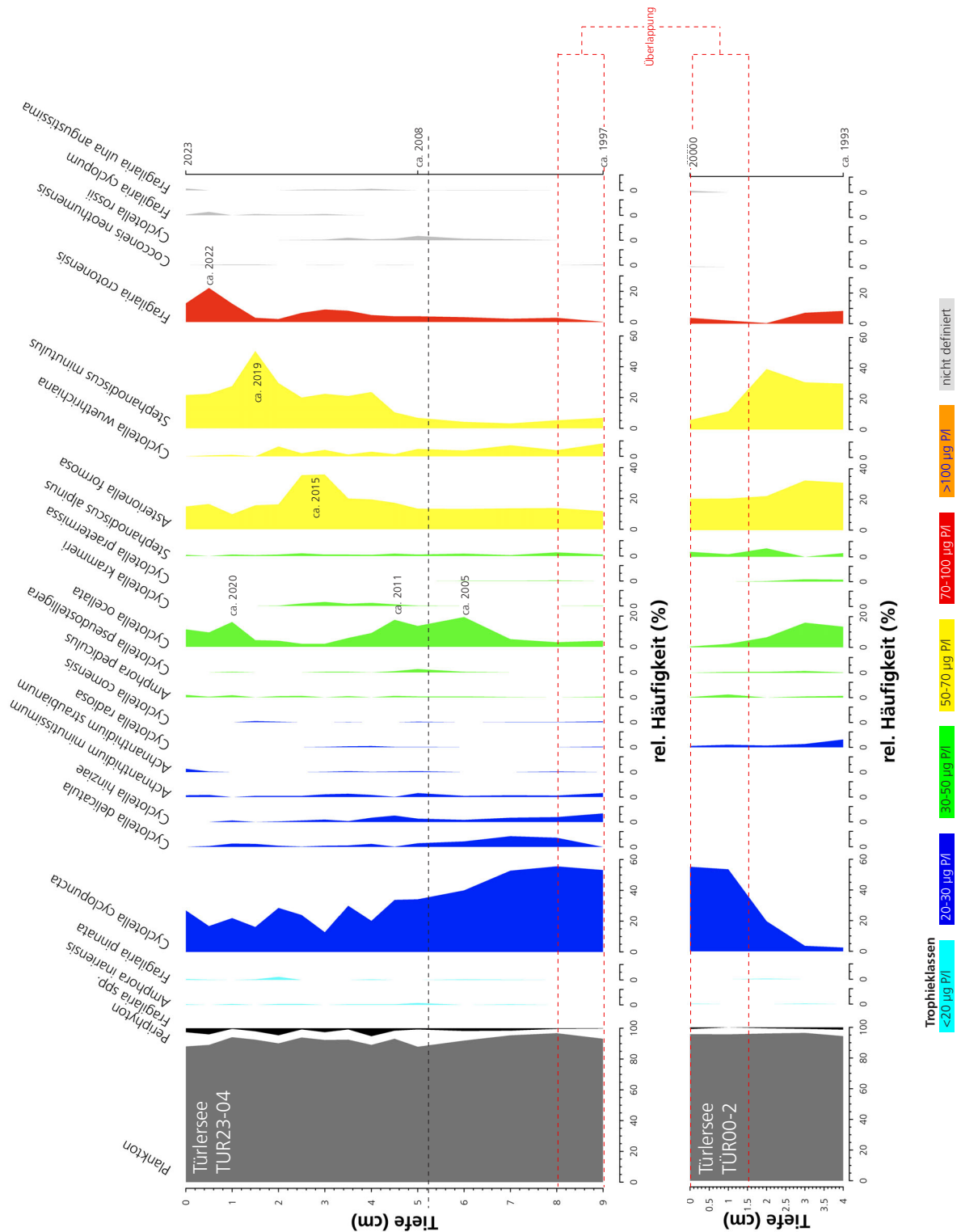
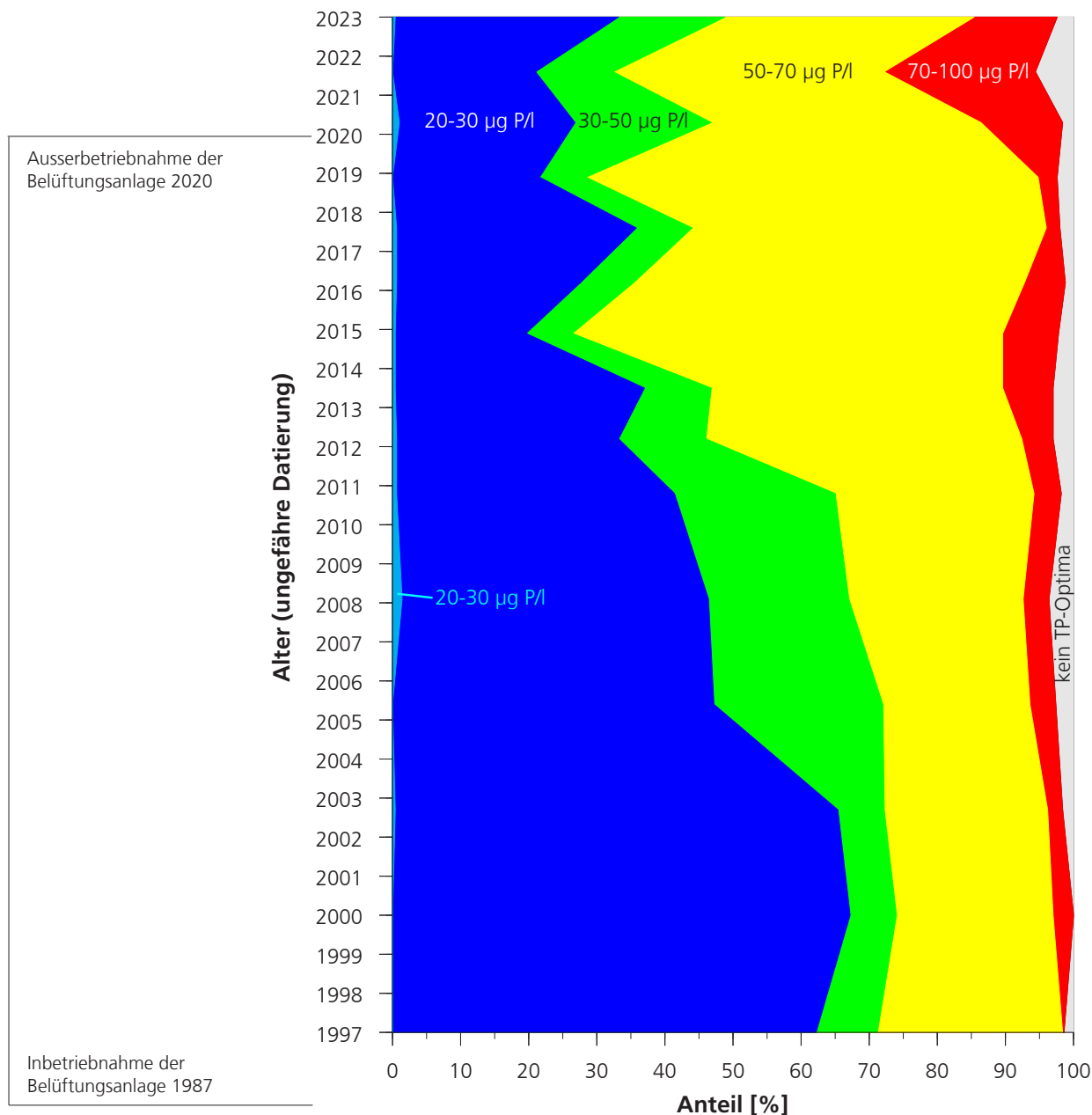


Abbildung 4.1: Oben: Kieselalgen im Sedimentkern TUR23-04 des Türlensees (Kernentnahme 12.5.2023). Aufgeführt sind die prozentual wichtigsten Taxa.

Unten: Kieselalgen im Sedimentkern TÜR00-2 (Kernentnahme 21.6.2000, gemäss AquaPlus (2001)). Dargestellt sind dieselben Taxa wie oben beim Kern TUR23-04, wobei damals in den jüngsten 4 cm Sediment keine anderen Taxa prozentual wichtig waren.

Reihenfolge der Taxa von links nach rechts gemäss den artspezifischen TP-Optima.



Bedeutende Taxa pro Trophieklasse

Trophieklasse	Plankter cf = Bestimmung unsicher	Vorkommen [%] 100 % = 15 Proben	mittlere ¹ / maximale Häufigkeit [%]
<20 µg/l P	<i>Amphora inariensis</i>	60	0.6 / 1.2
20 bis <30 µg/l P	<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	100	31.2 / 55.6
	<i>Cyclotella radiosa</i>	40	0.4 / 0.8
30 bis <50 µg/l P	<i>Cyclotella ocellata</i>	100	8.5 / 19.4
	<i>Cyclotella praetermissa</i>	20	0.3 / 0.4
	<i>Stephanodiscus alpinus</i>	93	1.2 / 2.4
50 bis <70 µg/l P	<i>Asterionella formosa</i>	100	17.7 / 35.6
	<i>Stephanodiscus cf. minutulus</i>	100	18.3 / 50.2
70 bis <100 µg/l P	<i>Fragilaria crotonensis</i>	100	6.2 / 22.2
	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	7	0.2 / 0.2
≥100 µg/l P	keine Plankter	-	- / -

Abbildung 4.2: Anteil der Trophieklassen im Sedimentkern TUR23-04 des Türlersees, basierend auf den artspezifischen Optima des Gesamtphosphors.

¹ die mittlere Häufigkeit bezieht sich auf Proben mit Vorkommen des Taxon.

letzten rund 20 Jahre), *Asterionella formosa* (18 %) und *Fragilaria crotonensis* (7 %). Das schwach eutraphente Taxon *Cyclotella ocellata*, welches als Optimum einen Gesamtphosphorwert von 42 µg P/I (TP-Klasse: 30 - 50 µg P/I) aufwies, trat auch in allen 15 Proben auf (9 %).

In den letzten rund 20 Jahren fällt auf, dass das eutraphente Taxon *Stephanodiscus minutulus* (*Stephanodiscus parvus/minutulus*) in der Tendenz zunahm und die mesotrathente Arte *Cyclotella cyclopuncta* an relativer Häufigkeit abnahm. Dieser Wechsel der Artenzusammensetzung in Richtung eutrophe Verhältnisse erstaunt, ist aber gemäss Abbildung 4.2 (Entwicklung der Trophieklassen) deutlich erkennbar und stützt sich auch auf das Aufkommen mehrerer eutrathenten Arten ab (Abb. 4.2). Es sind dies zudem Arten wie *Cyclotella ocellata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* und *Stephanodiscus parvus/minutulus* die eindeutig zu bestimmende Arten sind. Einzig die Zahl der Individuen ist nicht immer eindeutig eruiert; liegen doch *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* oft in Bruchstücken vor und die feinen *Stephanodiscus parvus/minutulus* sind oft durch andere Partikel überdeckt und es ist auch nicht einfach zu erkennen, ob ein oder zwei Schalen (intakte Zelle) vorliegen. Doch trotz diesen methodischen Schwierigkeiten ist der Trend klar ersichtlich. Im Türlensee haben im Vergleich zur Situation vor rund 20 Jahren die eutrathenten Arten zugenommen.

Obwohl der mittlere Phosphorwert der letzten 20 Jahre 18 µg P/I beträgt, können sich eindeutig eutrathente Arten noch halten. Es dürften dafür ähnliche Faktoren und Prozesse verantwortlich sein wie im Greifensee (AquaPlus (2023a)). Faktoren wie die interne Düngung infolge von Sauerstoffarmut im Sommer und Änderungen in der Dauer der Stagnation; vermutlich auch infolge des Klimawandels. Diese interne Düngung war möglicherweise in den Jahren 2007 bis 2010 und 2014 bis 2017 leicht erhöht, was einen leichten Anstieg des mittleren jährlichen und über die Tiefe gewichteten Gesamtphosphors auf > 20 bis 25 µg P/I bedingte (siehe auch Abb. 4.5). Betrachtet man den Gesamtphosphor oder auch das Phosphat in einzelnen Monaten, dann wird ersichtlich, dass in den Monaten November und Dezember die Phosphorwerte deutlich höher waren wie der gemessene Mittelwert (Abb. 4.3). Insofern dürfte es zumindest in den Wintermonaten genug biologisch verfügbaren Phosphor im Epilimnion geben, so dass sich eutrathente Arten noch halten können. Die Aufwuchsproben der Reppisch zeigen, dass im November und März zwar kaum hohe Dichten an planktischen Arten auftraten (Tab. 4.1), aber das Vorhandensein von *Stephanodiscus minutulus/parvus* (1 % Anteil in der Probe) am 7.3.2016 bestätigt, dass diese Art im See vorkam.

Der Anteil des Periphytons (Aufwuchsarten) war über die ganze Periode (2000 bis 2023) in etwa gleich hoch (Mittelwert 6 %, 6 bis 21 Taxa) und damit ähnlich wie vor dem Jahr 2000.

Saisonalität

Das Auftreten der Arten im Jahresverlauf kann basierend auf den untersuchten Sedimentproben nicht eruiert werden. Diese Information kann aber aus den Plankton-Zählraten des AWEL (2003 - 2021) und den Aufwuchsproben in der Reppisch vage gelesen werden. So erreichten die Kieselalgen in den Planktonproben über aller Jahre hinweg von März bis Mai die grösste mittlere Dichte (HK 4 bis 4.5), während anschliessend oft die Dichte pro Monat geringfügig tiefer war (oft HK 4.5 bis 5)⁴. Die Schwankungen in der Planktondichte waren aber minim.

⁴ Ausgewertet wurden die Häufigkeitsklassen (HK) pro Taxon. Dazu wurde die Skala HK 1 bis HK 5 umgekehrt, das heisst eine HK 1 wurde zu HK 5, eine HK 1.5 zu HK 4.5 etc. bis HK 5 zu HK 1. Damit konnten die HK pro Probe aufsummiert und über den Monat aller Jahre gemittelt werden. Je höher diese Summe war, umso dichter das Plankton.

Auf Ebene der Gattungen traten gemäss Planktonzählungen des AWEL die meisten Kieselalgen-Taxa gehäuft im Frühling auf. Der Winter kann aber nicht gut eingeschätzt werden, da für die Monate Januar und Februar keine Planktondaten vorliegen. *Cyclotella* sp., *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* erschienen im Frühling gehäuft und dann im Jahresverlauf abnehmend. Das Auftreten von *Stephanodiscus minutulus* (*Stephanodiscus parvus/minutulus*) konnte nicht aus den Planktondaten eruiert werden, da dieses Taxon nicht erfasst wird. Wir gehen aber davon aus, dass sich dieses eutraphente Taxon wie im Greifensee auch früh im Jahr entwickelt. Die Aufwuchsproben der Reppisch bestätigen diese Annahme (Tab. 4.1). Damit stellt sich die Frage wie diese Koexistenz der beiden ökologisch unterschiedlichen Taxa (*S. minutulus* und *C. cyclopuncta*) erklärt werden kann. Einerseits ist *Stephanodiscus* als eutraphente Art sehr tolerant und vermag sich auch im mesotrophen Bereich lange zu halten. Demgegenüber kommt *Cyclotella* wohl schon im leicht eutrophen Zustand vor, aber ist vermutlich konkurrenzschwach. Andererseits erscheinen eben zumindest die kleinen Taxa *Stephanodiscus minutulus* und *S. parvus* sehr früh im Jahr, weil dann infolge der Zirkulation

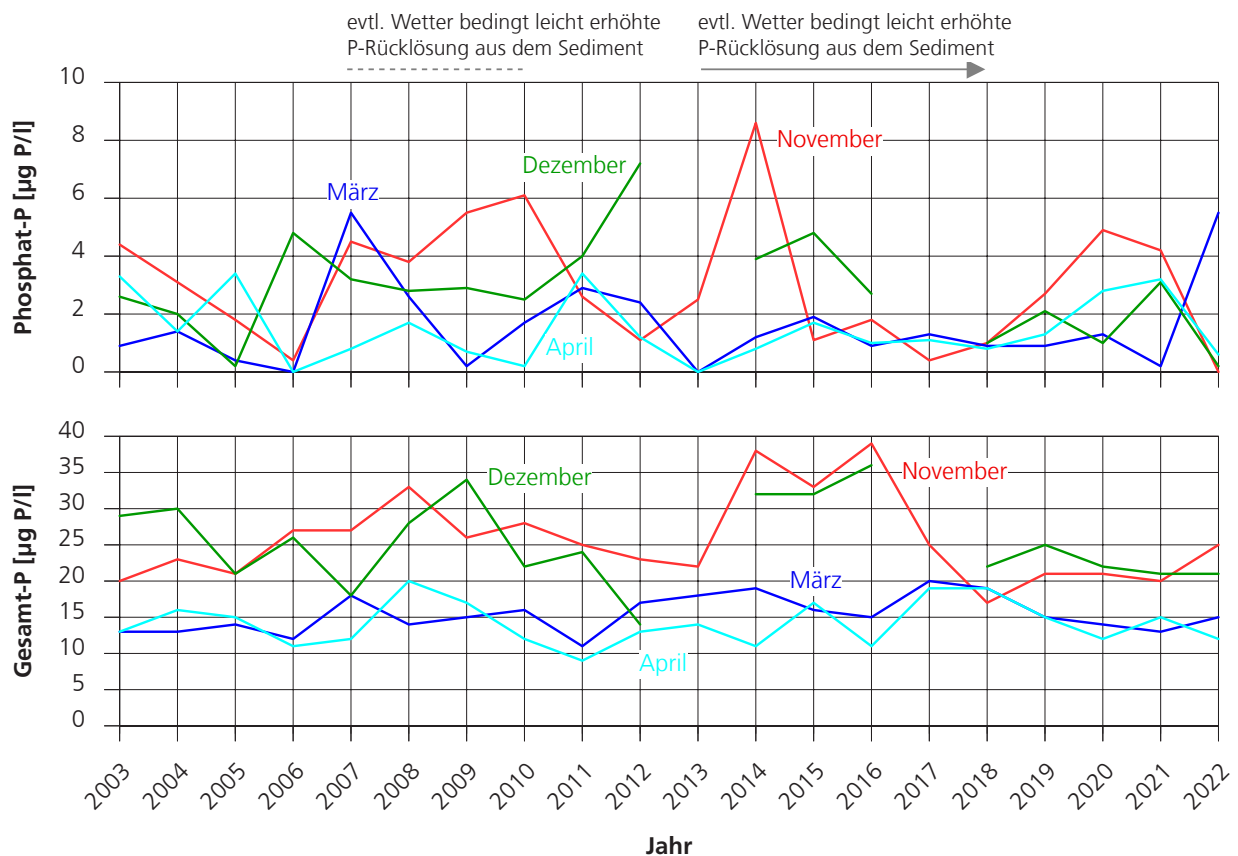


Abbildung 4.3: Oben: Verlauf der pro Monat gemessenen und über die Tiefe volumengewichteten mittleren Phosphatwerte der Periode 2003 bis 2022 im Türlensee.

Unten: Verlauf des Gesamt-Phosphors während derselben Periode.

Gezeigt werden die Monate November und Dezember mit erhöhten Phosphorwerten (oft $< 4 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ [$20\text{-}25 \mu\text{g Ges-P/l}$] aber auch $4\text{-}8 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ [$25\text{-}40 \mu\text{g Ges-P/l}$] sowie März und April mit meist sehr tiefen Phosphatwerten ($< 2 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ [$10\text{-}20 \mu\text{g Ges-P/l}$], ideal für gewisse *Cyclotella* Arten). In den Jahren 2007 bis 2016 waren im November und Dezember der Gesamt-Phosphor wie auch das Phosphat immer wieder deutlich höher wie in den anderen Jahren.

Januar und Februar keine Daten (vermutlich oft infolge Eisbildung).

noch Phosphat im lichtdurchfluteten Epilimnion vorhanden ist. Diese kleinen Formen dürften in der Lage sein, sich innert sehr kurzer Zeit (Wochen) sehr stark zu vermehren und damit den biologisch verfügbaren Phosphorgehalt im Epilimnion stark zu reduzieren. Damit dürften im Epilimnion im Frühling und in den Folge-monaten Verhältnisse mit wenig Phosphat vorhanden sein, so dass die mesotraphen und konkurrenzschwächeren *Cyclotella*-Arten mit geringerer Dichte aufkommen können. Mit Sicherheit spielen aber auch andere Faktoren eine Rolle (Temperatur, Durchmischung, Licht, Zooplankton, Krankheiten etc.). Diese Koexistenz von zwei ökologisch unterschiedlichen Arten beobachteten wir auch in anderen Seen, trotz jahrelangem Zustand der Mesotrophie (Pfäffikersee (AquaPlus 2023b), Fählensee (AquaPlus (2021))). Gemäss den chemischen Messungen des AWEL während der Periode 2003-2022 kann für den Türlensee gezeigt werden, dass in den Herbst- und Wintermonaten November und Dezember (Januar, Februar keine Messwerte; vermutlich infolge Eisbedeckung) der über die Tiefe volumengewichtete mittlere Gehalt an Gesamtphosphor jeweils messbar höher ist wie im März und April (Abb. 4.3). Damit sind im Winter und Vorfrühling nach der Eisschmelze vermutlich Verhältnisse vorhanden, so dass sich im Winter zuerst das eutraphente Taxon *Stephanodiscus parvus / minutulus* entwickeln kann und dann

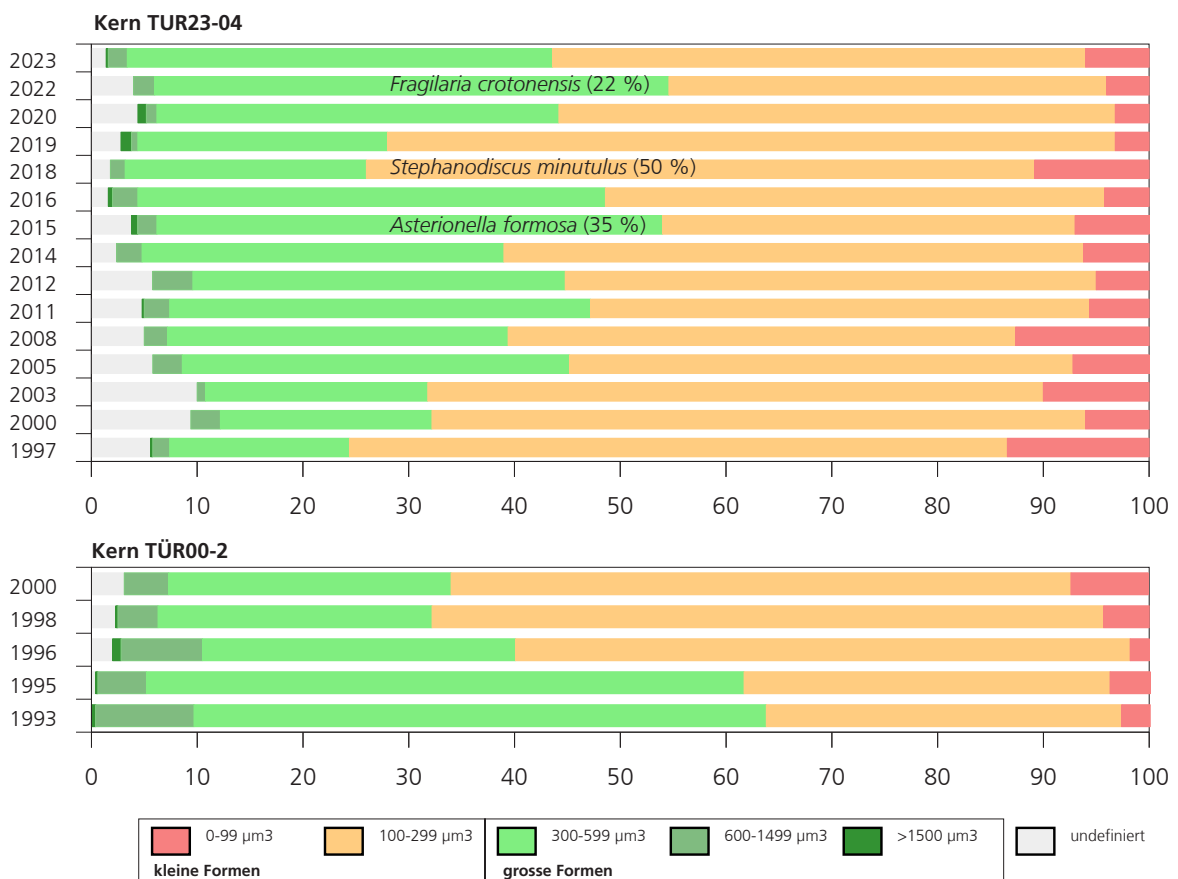


Abbildung 4.4: Entwicklung des Biovolumens nach Rimet (2010) in den Kernen TUR23-04 (Kernentnahme 2023, 15 Proben) und TÜR00-2 (Kernentnahme 2000, obersten 5 Proben). Horizontale Achsen stellen Prozente der Biovolumenklassen dar.

Kleine Formen: *Stephanodiscus parvus*, *S. minutulus*, kleine *Cyclotellen*

Grosse Formen: *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus alpinus*

Undefiniert: *Fragilaria cyclosum*, *Cyclotella delicatula*, *Stephanodiscus medius*

nachher in deutlich anderem trophischen Milieu das mesotrophente Taxon *Cyclotella cyclopuncta*. Im Sediment allerdings erscheinen dann akkumuliert beide Taxa zusammen.

Gemäss Abbildung 4.2 erreichten *Cyclotella ocellata* (Maxima ca. 2005, 2011, 2020) *Asterionella formosa* (Maximum ca. 2015), *Stephanodiscus minutulus* (Maximum ca. 2019) und *Fragilaria crotonensis* (Maximum ca. 2022) nacheinander maximale Anteile. Diese Abfolge unterschiedlicher Dominanzen zeigt, dass der Aspektwechsel sich kontinuierlich über die letzten rund 20 Jahre hinweg vollzogen hat. Ob sich in Zukunft wieder vermehrt mesotrophe Arten Durchsetzen können, dürfte vermutlich stark mit dem Wetter im Herbst zusammenhängen. Denn lange stabile herbstliche Schön- und Trockenwetterphasen führen zu warmem Oberflächenwasser, zu längerer Stagnation und damit zu erhöhter interner Düngung (Phosphoranreicherung im Tiefenwasser), was das Aufkommen eutraphenter Arten fördert.

Biovolumen

⁵ Die Viskosität bezeichnet die Zähflüssigkeit von Flüssigkeiten und Gasen (Fluiden). Je höher die Viskosität ist, desto dickflüssiger (weniger fließfähig) ist das Fluid; je niedriger die Viskosität, desto dünnflüssiger (fließfähiger) ist es (Angaben gemäss: <https://de.wikipedia.org/wiki/Viskosität>). Die Viskosität ist von der Temperatur abhängig. So sinken Partikel (z. B. Plankter) in warmem Wasser schneller ab wie in kaltem und daher zähflüssigerem Wasser. Wärmeres Wasser fördert somit Plankter die dank ihrer Körperform und -grösse, Kolonienbildung, Schwefebefortsetzungen, allenfalls dank aktiver Bewegung oder geringerem spezifischen Gewicht (Öltröpfchen, Gaseinlagerungen in Vakuolen etc.) weinger schnell absinken.

Die Änderungen der Artenzusammensetzungen im Plankton während der letzten rund 20 Jahre bewirkte bis auf wenige Maximalwerte keine eindeutige Änderung in der Grösse der Organismen (Abb. 4.4). Es gilt dabei zu beachten, dass sich die Auswertung der Biovolumen und damit indirekt die Grösse der Organismen gemäss Rimet et al. (2010) auf Standardvolumen bezieht. So nahmen basierend auf dieser Auswertung die Formen mit einem Biovolumen von 100-299 μm^3 und 300-599 μm^3 den grössten Anteil ein. Siehe dazu auch Anhang D, mit zwei typischen Bildern von Gesichtsfeldern der Tiefenstufen 9-10 cm (Probe 15, ca. Jahr 1997) und 0-0.5 cm (Probe 1, 2023). Die effektiven Verhältnisse im lebenden Plankton dürften jedoch etwas deutlicher zu Gunsten der grösseren und Kolonien bildenden Formen ausgefallen sein. Dies weil einige der grösseren Formen wie z. B. *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* im Lebendplankton Kolonien bilden und optisch daher auffallen. In der Rohprobe des Sedimentes und daher auch im Präparat waren diese Kolonien nicht mehr vorhanden oder sie waren zerbrochen. Die kleinen Formen wie z. B. *Stephanodiscus minutulus* bilden aber keine Kolonien. Nebst Änderungen im Phosphorgehalt dürften die Viskosität⁵ des Wassers, der Frassdruck durch das Zooplankton, die Dauer der Stagnationsphase sowie weitere Faktoren Grössenänderungen bedingen. Die kleinen Formen dürften eher schnell vermehrend sein, während die grossen Arten für den Zellaufbau mehr Silizium benötigen und damit vermutlich längere Generationszeiten haben.

4.3 Rekonstruktion des Gesamtphosphors

Die Rekonstruktion des Gesamtphosphors basierend auf den im Sediment eingelagerten Kieselalgen befindet sich in Abb. 4.5. Der Verlauf zeigt, dass seit dem Jahr 2000 bis ins Jahr ca. 2012 die Kieselalgen in etwa immer ähnliche Phosphorwerte indizierten (TP-mittel: 36 $\mu\text{g P/l}$, TP-low 17 $\mu\text{g P/l}$), wobei die Messwerte des Gesamtphosphors recht gut mit der Kurve TP-low übereinstimmt. Anschliessend steigt der rekonstruierte Wert des Gesamtphosphors mit zwei kurzen Zwischenhochs in den Jahren ca. 2016 (56 $\mu\text{g P/l}$) und ca. 2021-22 (63 $\mu\text{g P/l}$) kontinuierlich und beträgt im Jahr 2023 rund 48 $\mu\text{g P/l}$ (TP-mittel: 52 $\mu\text{g P/l}$, TP-low

28 µg P/l). Damit bildet der Verlauf der Rekonstruktion in etwa denselben Trend wie die gemessenen Phosphorwerte ab, aber auf deutlich höherem (eutrophen) Niveau. Es ist aber erstaunlich wie lange sich eutraphente Arten wie z. B. *Stephanodiscus minutulus* auch unter deutlich mesotrophen Verhältnissen halten können. Die aufgrund von Messungen festgestellten schwankenden Phosphorwerte der letzten rund 10 Jahre haben offenbar Auswirkungen auf das Plankton.

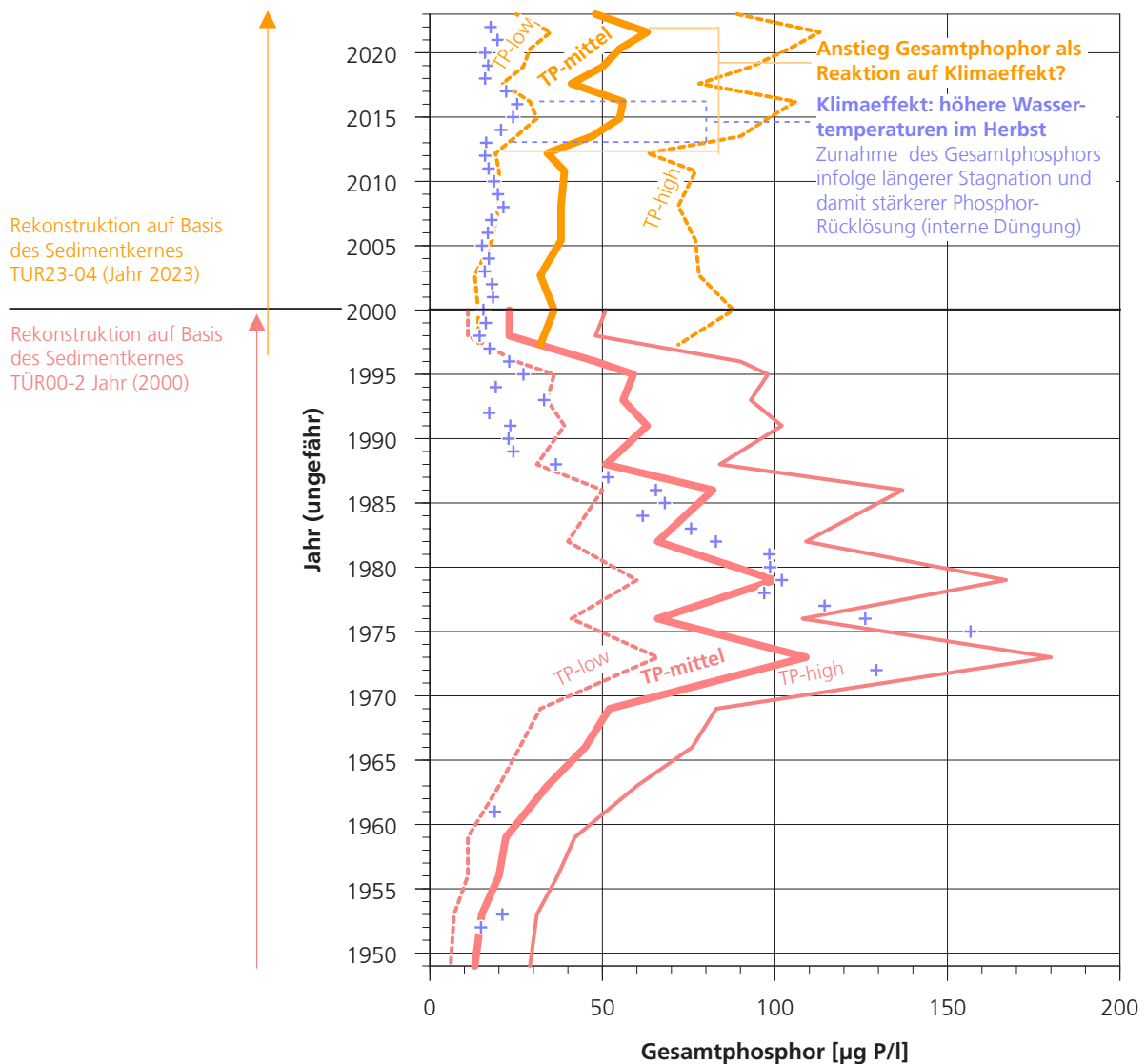


Abbildung 4.5: Rekonstruktion des Gesamtphosphors im Türlerseersee basierend auf im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Gezeigt sind die aktuelle Rekonstruktion der letzten rund 23 Jahre sowie die Rekonstruktion basierend auf dem Kern aus dem Jahr 2000 (AquaPlus 2001).

Messwerte des Gesamtphosphors (blaue Kreuze, gemittelt über Tiefe nach Volumen und über Untersuchungsdaten pro Jahr) gemäss AWEL, TP-Rekonstruktion durch Prof. A. Lotter, Luzern.

5 Fazit

Im Türlersee nahm seit den 1970er Jahren der gemessene Phosphorgehalt mit wenigen Ausnahmen stetig ab. Das Folgejahr wies - mit Ausnahmen vor allem in den letzten rund 15 Jahren oft einen tieferen Phosphorgehalt auf wie das Vorjahr (Abb. 4.5). Die Kieselalgen haben die Eutrophierung wie auch den ersten Teil des Rückgangs des Phosphorgehaltes ('Oligotrophierung') im Grossen und Ganzen gut abgebildet. Dabei passte bei hohen Phosphorwerten der rekonstruierte Wert von TP-mittel und TP-high besser und seit ca. 1990 bei tiefen Phosphorwerten der rekonstruierte Wert von TP-low. In den Jahren ca. 1998 bis ca. 2012 war der gemessene und auch der rekonstruierte Wert des Gesamtphosphor sehr stabil gleichbleibend. Anschliessend passierte etwas im See, denn der gemessene Gesamtphosphor begann zu steigen und schwanken. Die Kieselalgen reagierten darauf, indem der rekonstruierte Gesamtphosphor wieder anstieg. Diese gemäss Kieselalgen 'leichte Eutrophierung' zeigen auch die Trophieklassen gemäss Abbildung 4.2. Diese zeigen seit längerem, dass die eutrapierten Arten zu Gunsten der mesotrapierten Arten zunehmen. Bei der Rekonstruktion prägen damit die eutrapierten Taxa die indizierten Messwerte. Möglicherweise ist dies auch ein Effekt der Eichung, indem gewisse eutrapierte Taxa höher gewichtet wurden wie mesotrapierte Taxa. Die immer noch deutliche Präsenz der eutrapierten Taxa dürfte aber auch andere Gründe haben. Aus Erfahrung mit anderen Seen (Greifensee, Pfäffikersee, Fählensee) - die als Gemeinsamkeit alle ebenfalls im Sommerhalbjahr ein sauerstoffarmes Tiefenwasser aufweisen - beobachten wir eine ähnliche Koexistenz von mesotrapierten und eutrapierten Arten. Es ist also gut möglich, dass die interne Düngung das Vorkommen der eutrapierten Arten trotz gemessener Mesotrophie begünstigt. Wenn dies so ist, dann dürfte der Klimawandel bei der Ausprägung der Kieselalgen-Lebensgemeinschaften eine wesentliche Rolle spielen. Dies weil höhere Lufttemperaturen bis in den Herbst hinein Änderungen in den Wassertemperaturen im Epilimnion bedeuten, was wiederum eine Verlängerung der sommerlichen Stagnationsphase bewirkt. Eine Verlängerung der Stagnationsphase verursacht bei Seen wie dem Türlersee, welcher im Sommer im Tiefenwasser keinen Sauerstoff aufweist, eine länger andauernde Phosphor-Rücklösung. Damit konzentriert sich der Phosphor im Tiefenwasser stärker auf, was bei der winterlichen Zirkulation zu höheren Phosphorgehalten auch im lichtdurchfluteten Oberflächenwasser führt. Infolge milder Wintertemperaturen gibt es vermutlich kaum eine nennenswerte Winterschichtung und die Eisbedeckung, welche für das Algenwachstum hinderlich wäre, dauert vermutlich infolge des Klimawandels gemäss Beobachtungen eines Fischers nur noch 2 - 4 Wochen. Diese Verhältnisse sind dann im Spätwinter (z. B. ab Februar) für r-Strategen ideal, wie z. B. die eutrapierten Kieselalgen *Stephanodiscus parvulus* / *minutus*. r-Strategen sind Arten von kleiner Grösse, die konkurrenzstark sind, sich schnell fortpflanzen, dafür infolge hoher Sterblichkeit eine kurze Lebensdauer haben. Die dominierenden r-Strategen zehren dann im Spätwinter und Anfang Frühling infolge der sehr hohen Zelldichte viel Phosphor weg, so dass im Oberflächenwasser fast kein Phosphat mehr vorhanden ist. Diese nährstoffarmen Bedingungen erlauben es dann ab Frühling Arten wie die mesotrapierte *Cyclotella cy-*

clopuncta aufzukommen, wenn auch in deutlich geringerer Zelldichte. Der seit vielen Jahren dauernde stetige Aspektwechsel bei den planktischen Kieselalgen lässt vermuten, dass die mesotraphenten Arten vermutlich noch länger nicht dominieren werden wie dies um das Jahr 2000 der Fall war.

Damit zeigt sich, dass der Weg der Eutrophierung sich nicht zwingend mit gleicher Geschwindigkeit und derselben Artenabfolge umkehren lässt. Zumindest die Kieselalgen reagieren im Türlensee verzögert, z. T. bedingt durch den Klimawandel. Dies hat zur Konsequenz, dass die Rekonstruktion des Gesamtphosphors wie es das Modell von Lotter et al. (1998) für die Eutrophierung relativ gut ermöglicht, offenbar aber die Oligotrophierung zeitlich nur verzögert nachvollzogen werden kann. Ähnliche Situationen zeigten sich seit rund 20 Jahren im mesotrophen Pääfikersee (AquaPlus 2023b). Die eutraphenten Arten werden vermutlich erst aus dem Gewässer verdrängt, wenn der Gesamtphosphorwert über eine lange Zeit sehr tief ist ($\leq 15 \mu\text{g P/l}$) und gleichzeitig kein sauerstoffloses Tiefenwasser mit Phosphor-Rücklösung vorhanden ist. Im Bodensee zumindest nahm im Sediment unter diesen Umständen ($< 10 \mu\text{g P/l}$, permanent Sauerstoff im Tiefenwasser) das eutraphente Taxon *Stephanodiscus minutulus* massiv ab ($< 5 \%$ Anteil) und das mesotraphente Taxon *Cyclotella cyclotella* deutlich zu ($> 20 \%$ Anteil) (SeeWandel 2023). Der Klimawandel wirkt sicher bremsend auf den Prozess der Oligotrophierung; dies zumindest bei Seen mit sauerstofflosem Tiefenwasser in den Sommermonaten.

6 Literatur

- AWEL (2023): Wasser und Gewässer 2022. Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Dr. Andrew Faeh, Stampfenbachstrasse 14, CH-8090 Zürich. 131 Seiten.
- AquaPlus (2001): Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Rekonstruktion seit ca. 1750. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Hardturmstrasse 105, CH-8005 Zürich. 36 Seiten, Bericht und Anhang.
- AquaPlus (2021): Trophieverhältnisse Fählensee: Entwicklung des Nährstoffgehaltes seit dem 15. Jahrhundert. Untersuchung eines Seesedimentkernes mittels Kieselalgen zur Rekonstruktion des Gesamtphosphors. Fachbericht erstellt im Auftrag des Bau- und Umweltsdepartementes, Kanton Appenzell Innerrhoden, Gaiserstrasse 8, CH-9050 Appenzell. 31 Seiten, Bericht und Anhang.
- AquaPlus (2023a). Rekonstruktion des Gesamtphosphors des Greifensees mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Entwicklung seit dem Jahr 2000. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Hardturmstrasse 105, CH-8005 Zürich. 30 Seiten, Bericht und Anhang.
- AquaPlus (2023b): Rekonstruktion des Gesamtphosphors des Pfäffikersees mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Entwicklung seit dem Jahr 2000. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Hardturmstrasse 105, CH-8005 Zürich. 29 Seiten, Bericht und Anhang.
- Hofmann, G., Werum, M. & Lange-Bertalot, H. (2013): Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie. 2. korrigierte Auflage. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908 Seiten.
- 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.
- 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.
- Renkonen, O. (1938): Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Bot. Fenn. Vanamo*; 6: 1-231.
- Rimet, F., Berthon, V. & Bouchez, A. 2010. Formes de vie, guildes écologiques et classes de tailles des diatomées d'eau douce. INRA-Thonon, Rapport 290/10, 10 Seiten mit Anhängen.

SeeWandel (2023): SeeWandel, Projektzusammenfassung Juni 2023: Leben im Bodensee – gestern, heute und morgen. Vertreten durch PD Dr. Piet Spaak, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf

Shannon, C. & Weaver, W. (1949): The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press. Urbana.

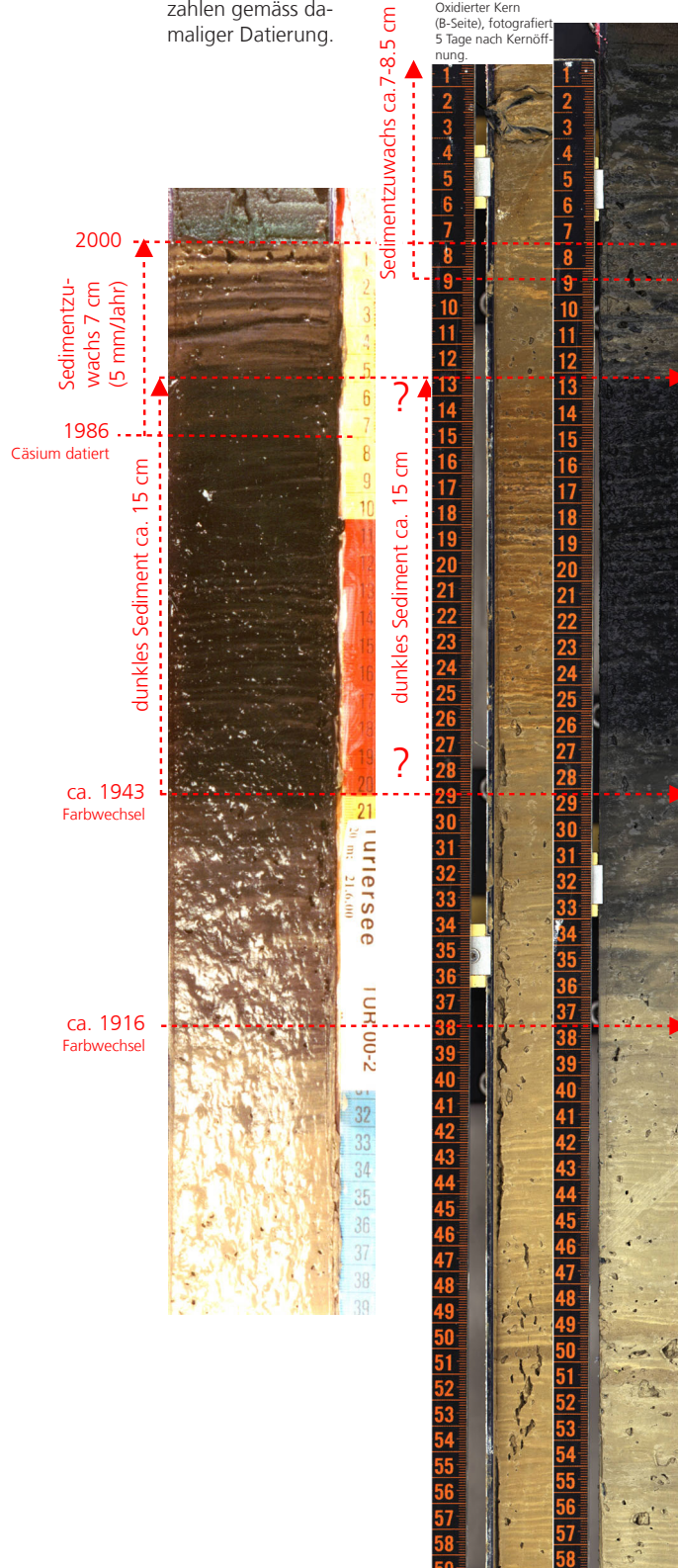
ter Braak, C.J.F. & Juggins, S. (1993): Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved methode for reconstructing environmental variables from species assemblages. *Hydrobiologia* 269/270: 485-502.

Anhang A

Datierung Sedimentkern TUR23-04

TÜR00-2

Dieser Kern wurde für die TP-Rekonstruktion im Jahr 2000 verwendet. Jahreszahlen gemäss damaliger Datierung.

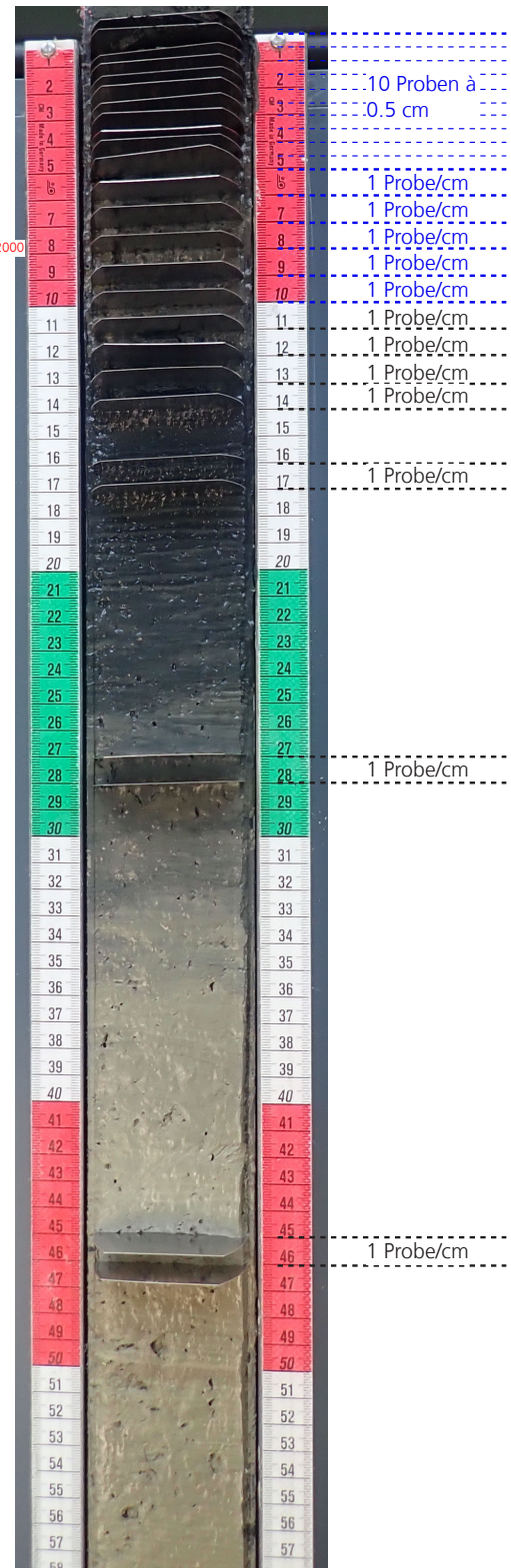


TUR23-04B/A

Der Vergleich der beiden Kerne ist schwierig. Die Warven sind nicht durchgehend ersichtlich. Einen Hinweis gibt der ca. 15 cm mächtige dunkle Bereich. Der Sedimentzuwachs dürfte seit dem Jahr 2000 rund 7-8,5 cm gewesen sein (= 3.0-3.7 mm/Jahr). Es wurden 21 Proben entnommen (blau: Auswahl der untersuchten 15 Proben).



TUR23-04A

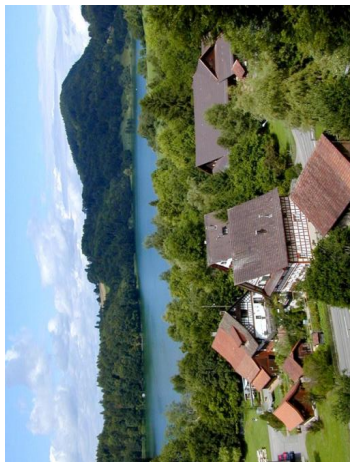


Anhang B

Charakterisierung des Türlensees

- Zustand des Türlensees (1 Seite)
- Beurteilung des Seezustandes (1 Seite)
- Entwicklung des Phosphorgehaltes im Türlensee seit 1750 (1 Seite)
- Entwicklung des Chlorophyllgehaltes (1 Seite)
- Zirkulationsunterstützung Türlensee (1 Seite)

Türlersee



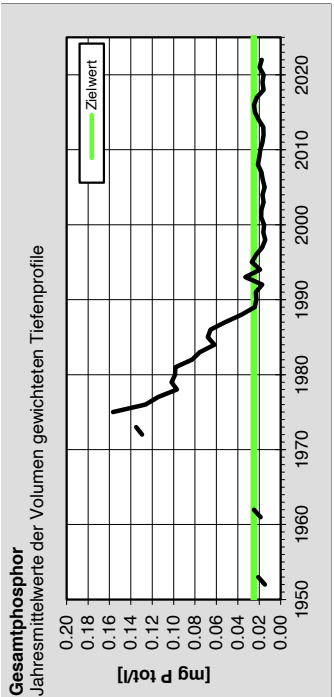
Einzugsgebiet
Fläche total: 5.2 km²

2% unproduktive Flächen
6% Siedlungsflächen
10% Gewässer
35% Wald
47% Landwirtschaft

Quelle: Arealstatistik 99/97/GEOSTAT

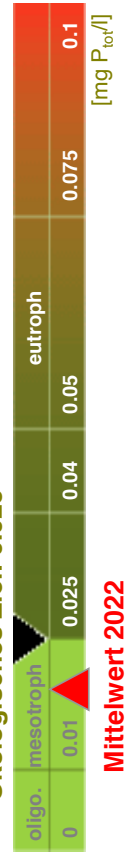
Höhenlage	643 m ü. M.	Seeabfluss	Reppisch
Seeoberfläche	0.497 km ²	C_{mittel}	105 l/s
Maximale Tiefe	22.0 m	Q_{347}	5.7 l/s
Mittlere Tiefe	13.0 m	Aufent-	ca. 730 Tage
Seevolumen	6.485 Mio m ³	haltszeit	

Beurteilungsskala: für Details siehe Mess- und Beurteilungsmethoden Seen
Koordinaten Messstelle (tiefste Stelle) 680 275 / 236 025



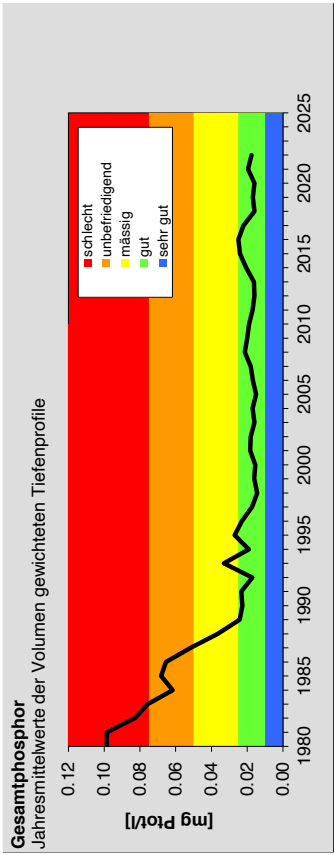
Gesamtphosphor Türlersee

Ökologisches Ziel: 0.025



Handlungsbedarf:
 → Stabilisierung der Gesamtphosphorkonzentration durch Aufrechterhaltung der Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft und Siedlungsentwässerung

- Wichtige Ereignisse:**
- 1942: Forellensterben durch defekte Jaucheleitungen
 - 1944: Schutzverordnung Türlersee
 - zirka 1980-1987: Abwassertechnische Sanierung des Einzugsgebietes: 95% der häuslichen Abwässer werden in den ARA Birmenisdorf und Hausen a. Albis gereinigt
 - November 1987: Inbetriebnahme der seeinternen Zirkulationsunterstützungsanlage
 - November 2020: provisorische Ausserbetriebnahme der seeinternen Zirkulationsunterstützungsanlage für drei Jahre



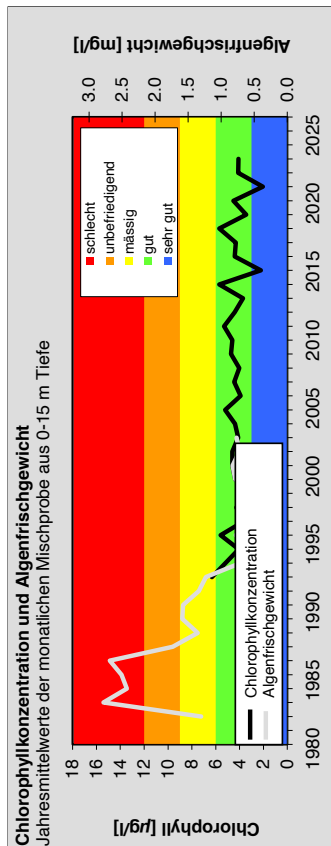
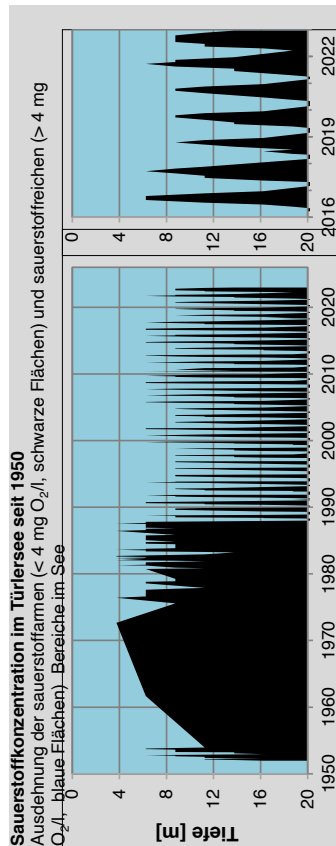
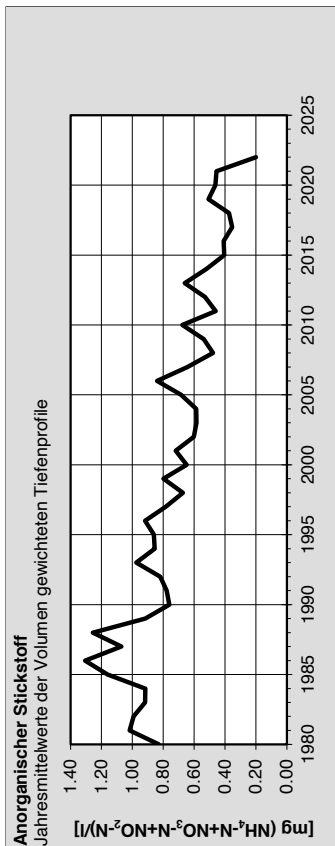
Türlersee: Beurteilung des Seezustands

Die Phosphorkonzentration und die Algenmenge werden heute als gut beurteilt. Die Zusammensetzung der Kieselalgengemeinschaft bestätigt, dass sich der Seezustand stark verbessert hat. Dennoch ist je nach Sommer ab 6 bis 9 m Tiefe nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden.

Der Türlersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum. Aufgrund seiner windgeschützten Lage würde er unter natürlichen Verhältnissen höchstens alle paar Jahre im Winter vollständig zirkulieren. Da der See bis 1900 sehr geringe Phosphorkonzentrationen aufwies, hat der vorhandene Sauerstoff trotz schwacher Mischung ausgereicht, um das absinkende organische Material abzubauen. Das Tiefenwasser des Sees dürfte ursprünglich immer knapp sauerstoffhaltig gewesen sein.

Seit 1987 wird im See eine Anlage zur Unterstützung der Zirkulation betrieben, die im Winter dafür sorgt, dass der See vollständig zirkuliert. Eine Studie der Eawag zeigt, dass auch bei vollständiger Zirkulation im Winter der vorhandene Sauerstoff im See nicht ausreicht, das absinkende organische Material abzubauen. Allerdings ist die Algenmenge im See inzwischen soweit zurückgegangen, dass die obersten 6 m des Sees heute als Lebensraum für Fische wieder ganzjährig zur Verfügung stehen. Auch bei einer unvollständigen Zirkulation werden diese oberflächennahen Schichten jeden Winter vollständig gemischt und mit Sauerstoff angereichert. Ein weiterer Betrieb der Zirkulationsanlage ist deshalb nicht mehr nötig, erhöht aber die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser. Dort sind positive Sauerstoffkonzentrationen erst zu erwarten, wenn die Phosphorkonzentration im See längerfristig unter $0.01 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$ liegt, wie dies um 1900 der Fall war. Dazu müsste der Phosphoreintrag in den See nochmals deutlich reduziert werden, was in Anbetracht des bereits relativ guten Seezustandes kaum umsetzbar ist.

Erfreulich ist, dass auch die Stickstoffkonzentrationen in den letzten 35 Jahren deutlich zurückgegangen sind. Die Belastung der Luft durch Stickoxide aus dem Verkehr hat dank strengerer Abgasvorschriften abgenommen. Dadurch ist der Stickstoffeintrag in die Gewässer über die atmosphärische Deposition zurückgegangen. Ein sorgfältigeres Düngermanagement infolge des ökologischen Leistungsnachweises hat ebenfalls zu einer Reduktion der Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen geführt. Kurzzeitig kommt es jedoch immer wieder zu einem Anstieg der Stickstoffkonzentrationen - auch 2019. Ursache dafür sind Niederschlagsperioden, die auf längere Trockenperioden folgen. Bei Trockenheit wird kaum Stickstoff aus den Böden ausgewaschen. Überschüssiger Stickstoff lagert sich im Boden an und gelangt erst in der nächsten Niederschlagsperiode in erhöhter Konzentration in die Gewässer.





Entwicklung des Phosphorgehaltes im Türlersee seit 1750

Rekonstruktion der Nährstoffbelastung

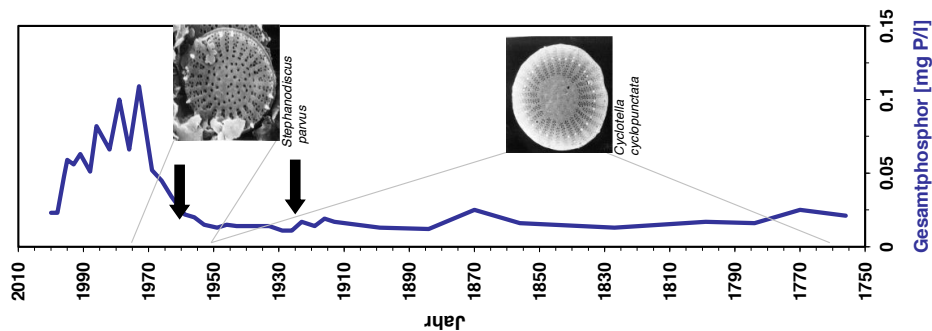
Mit einem 0.85 m langen Sedimentkern konnte anhand der eingelagerten Schalen von toten Kieselalgen die Nährstoffgeschichte der letzten 250 Jahre rekonstruiert werden. Aus der Form der Kieselalgenresten konnte auf die entsprechende Kieselalgenart und daraus auf die zur Lebenszeit der Algen herrschenden Nährstoffverhältnisse geschlossen werden. Dabei ist zu beachten, dass Kieselalgen auf einen Rückgang der Nährstoffverhältnisse verzögert reagieren.

Entwicklung der Nährstoffbelastung

- 1750-1950: stabiler mittlerer Gesamtphosphorgehalt um 0.016 mg P/l
- 1915 und 1935: erste Anzeichen einer Eutrophierung, möglicherweise als Folge von Einleitungen von Jauche und Käseabwässer
- 1950-1975: starke Zunahme der Nährstoffbelastung auf über 0.1 mg P/l (sehr nährstoffreich) durch Einleitung ungenügend gereinigter Abwässer und stetig zunehmender Verbrauch von phosphathaltigen Waschmitteln.
- 1975-2000: Abnahme des Gesamtphosphorgehaltes bis im Jahr 2000 auf im Mittelwert 0.023 mg P/l (schwach nährstoffreich) durch verbesserte Reinigungsleistung der ARA, Phosphatverbot in Waschmitteln und umweltfreundlichere Produktion in der Landwirtschaft

Biologisches Sanierungsziel

Der Türlersee wies im 18. und 19. Jahrhundert einen stabilen mittleren Nährstoffgehalt auf. Charakterisiert wurde dieser Zustand durch Kieselalgenarten, die wenig bis schwach nährstoffhaltige Gewässer bevorzugten. Diese Arten, u.a. mehrere *Cyclotella*-Arten (*Cyclotella comensis*/*pseudocomensis* sowie *C. cyclopunctata*)



stellen hinsichtlich der zukünftigen Kieselalgenzusammensetzung ein anzustrebendes biologisches Ziel dar.

Aktueller Zustand

Der Gesamtphosphorgehalt liegt seit 1997 unter 0.020 mg P/l. Diese tiefen Werte haben in den letzten Jahren auch im Plankton Auswirkungen gezeigt. Die Frühjahrsblüte und damit die nährstoffliebende Frühlingsart *Stephanodiscus minutulus/parvus* verlor an Bedeutung und *Cyclotella cyclopunctata* trat vermehrt auf. Mit dem Beibehalten des tiefen Gesamtphosphorwertes von < 0.02 mg P/l dürfte die im Jahr 2000 noch dominierende *Asterionella formosa* weiter verdrängt werden, so dass im Türlersee wiederum die wenig- bis schwach nährstoffhaltige Gewässer liebenden *Cyclotella*-Arten dominieren.

Wichtige Ereignisse

- 1944: Erlass Schutzverordnung Türlersee
- 1980-1987: Abwassertechnische Sanierung des Einzugsgebietes: 95% der häuslichen Abwässer werden in den ARA Birmensdorf und Hausen a. Albis gereinigt.
- 1986: Phosphatverbot in Waschmitteln
- 1987: Inbetriebnahme der seeinternen Zirkulationsunterstützungsanlage
- seit 1993: keine Massenerkrankungen von Algen mehr

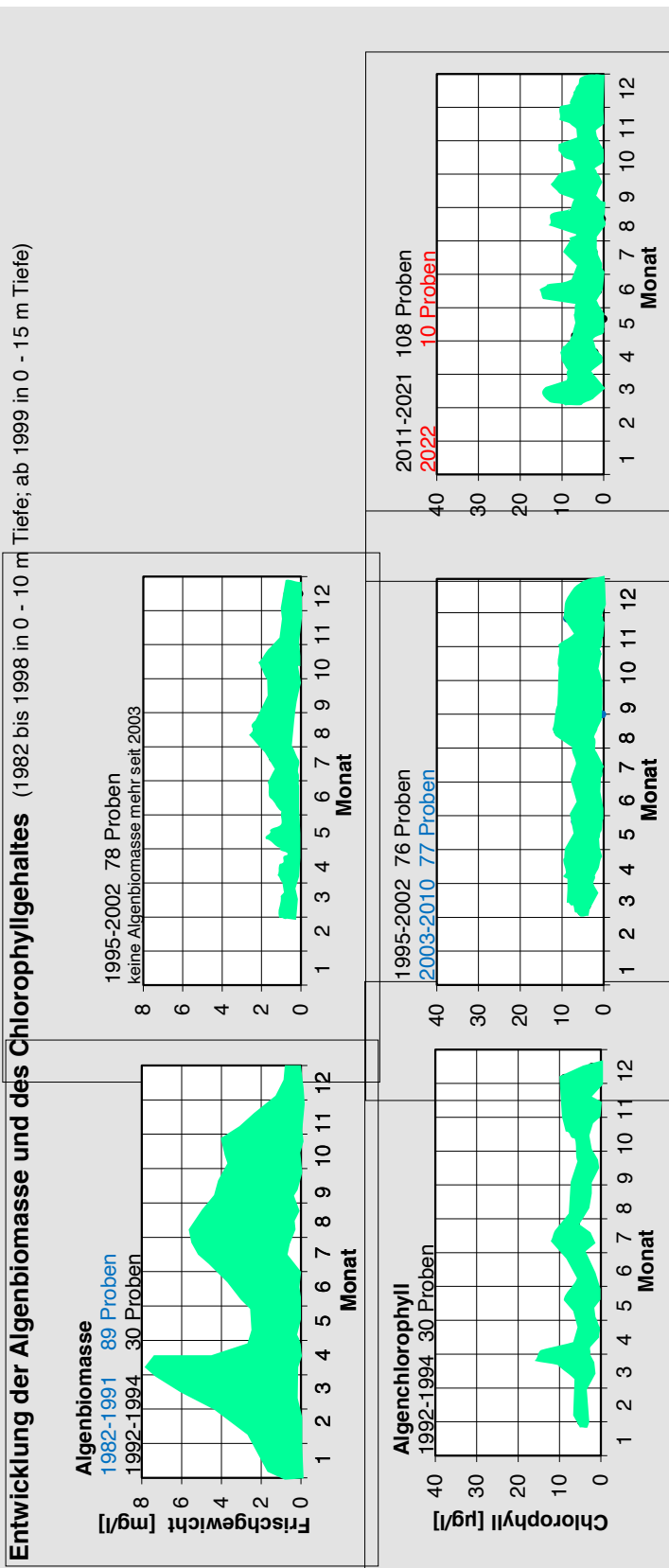
Literatur

Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen: Bericht Aqua Plus 2001.

Fotos

Rasterelektronenmikroskopie: Rolf Klee, Bay. Landesamt für Wasserwirtschaft, Wülfenbach

Türlerseersee



Im Türlerseersee ist die Algenbiomasse seit Beginn der Achtzigerjahre markant gesunken. Gegenüber der Periode von 1982 bis 1994 wurde im Türlerseersee zwischen 1995 und 2002 ein Rückgang der Algen im Frühjahr und Herbst beobachtet. Dies ist auf die geringere Phosphorbelastung zurückzuführen. Der Türlerseersee erfüllt die Zielvorgaben bezüglich

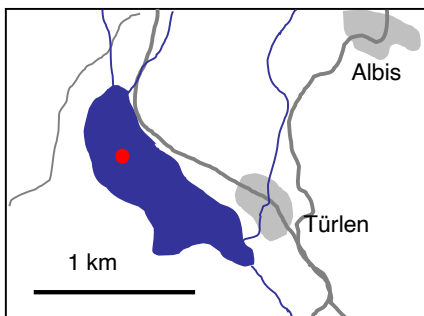
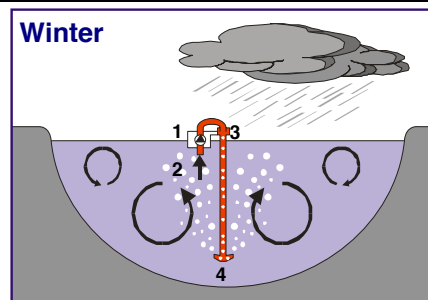
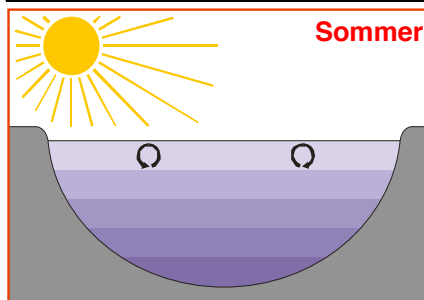
Gesamtphosphorgehalt seit 1989.

Seit 1992 zeigt der Jahresverlauf des Chlorophylls ein Muster, welches typisch ist für wenig bis mittelproduktive Seen: Massenentwicklungen von Algen mit Biomassen über 2 mg/l respektive Chlorophyllgehalten über 10 µg/l treten nur vereinzelt auf. Die Algenproduktion im See kann damit als gut beurteilt werden.

Gleich wie die Chlorophyllkonzentration, die seit 1992 praktisch unverändert geblieben ist, ist auch die Zooplanktondichte seit 1992 nicht mehr wesentlich gesunken.

Zirkulationsunterstützung Türlersee

Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft
Gewässerschutz



Von 1987 bis im Frühling 2020 war im Türlersee jeweils im Winter eine Zirkulationsunterstützungsanlage in Betrieb. Die auf einem stationären Floss installierte Pumpe (1) saugte oberflächennahes Wasser (2) an, in das ein Injektor (3) Luft einmischte. Das Luft-/Wassergemisch wurde ins Tiefenwasser gepresst, wo es aus sternförmig angeordneten Öffnungen austrat (4). Damit wurde eine vertikale Wasserströmung erzeugt. Wasser aus der Tiefe nahm an der Oberfläche Sauerstoff aus der Atmosphäre auf. Dadurch reicherte sich das Wasser im Winter wieder mit Sauerstoff an.

Im Herbst 2020 wurde die Anlage versuchsweise nicht mehr in Betrieb genommen. In den kommenden zwei Jahren soll untersucht werden, wie sich die Sauerstoffverhältnisse im See ohne Zirkulationsunterstützung entwickeln.

24.02.2021

Anhang C

Zähldaten der Kieselalgen (15 Proben)

Gewässer: Türlensee
 Kern: TUR23-04
 Probenahmedatum: 12.5.2023
 Probenehmerin: Anita Schlatter, EAWAG
 Koordinaten: 2'680'525 / 1'235'825
 Meereshöhe: 644 m ü. M.

Stellenliste

Sedimentprobe Nummer	Probe 01	Probe 02	Probe 03	Probe 04	Probe 05
Sedimenttiefe	0-0.5 cm	0.5-1 cm	1-1.5 cm	1.5-2 cm	2-2.5 cm
Zähllistennummer AquaPlus	18990	18991	18992	18993	18994

Sedimentprobe Nummer	Probe 06	Probe 07	Probe 08	Probe 09	Probe 10
Sedimenttiefe	2.5-3 cm	3-3.5 cm	3.5-4 cm	4-4.5 cm	4.5-5 cm
Zähllistennummer AquaPlus	18995	18996	18997	18998	18999

Sedimentprobe Nummer	Probe 11	Probe 12	Probe 13	Probe 14	Probe 15
Sedimenttiefe	5-6 cm	6-7 cm	7-8 cm	8-9 cm	9-10 cm
Zähllistennummer AquaPlus	19000	19001	19002	19003	19004

Sedimentprobe Nummer weitere Angaben siehe Stellenliste	Probe 01	Probe 02	Probe 03	Probe 04	Probe 05	Probe 06	Probe 07	Probe 08	Probe 09	Probe 10	Probe 11	Probe 12	Probe 13	Probe 14	Probe 15
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i> KU-ETZING	1.2	1.4		0.8	0.8	0.8	1.8	2.2	1.4	0.2	2.6	0.8	1.2	1	2.6
<i>Achnantheidium affine</i> (GRUNOW) CZARNECKI					0.6				0.4						0.4
<i>Achnantheidium minutissimum</i> var. <i>jackii</i> (RABENHORST) LANGE-BERTALOT										0.2					
<i>Achnantheidium nanum</i> (MEISTER) NOVAIS et JUETTNER 2015				0.8											
<i>Achnantheidium neomicrocephalum</i> LANGE-BERTALOT & STAAB									0.8						
<i>Achnantheidium polonicum</i> VAN DE VIJVER, WOJTAL, E. MORALES et ECTOR												0.4			
<i>Achnantheidium straubianum</i> (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT	2.2	0.4					0.2	0.6	0.2	0.4	0.6			0.4	
<i>Amphora copulata</i> (KUETZING) SCHOEMAN & ARCHIBALD			0.4			0.4									
<i>Amphora inariensis</i> KRAMMER	0.4		0.6		0.6	0.6		0.4	0.4	0.4	1.2		0.4		
<i>Amphora lange-bertalotii</i> LEVKOV & METZELTIN										0.2					
<i>Amphora ovalis</i> (KUETZING) KUETZING				0.8											
<i>Amphora pediculus</i> (KUETZING) GRUNOW	1.6	0.4	1.4		0.8	1		0.8		1	0.6	0.6	0.2		0.4
<i>Amphora thumensis</i> (MAYER) CLEVE-EULER							0.2								
<i>Asterionella formosa</i> HASSALL	14.8	16.4	9.8	15.6	16.2	35.2	35.6	20	19.4	17.2	13.4	13.2	13.6	13.8	11.8
<i>Brachysira neglectissima</i> LANGE-BERTALOT					0.2							0.2			
<i>Brachysira neoxilis</i> LANGE-BERTALOT									0.2						
<i>Caloneis lancettula</i> (SCHULZ) LANGE-BERTALOT & WITKOWSKI									0.2		0.4				
<i>Cocconeis neothumensis</i> KRAMMER		0.2	0.4	0.4			0.2			0.2					0.4
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> sensu Krammer & Lange-Bertalot 1991 Fig 53/9, 5 und sensu Hofmann et al. 2011 Fig 19/7				0.2											
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (EHRENBERG) VAN HEURCK							0.2								0.2
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (HOHN & HELLERMAN) THERIOT, STOERMER & HAKANSSON														0.2	
<i>Cyclotella comensis</i> GRUNOW				0.8	0.4			0.2			0.4		0.2	0.2	0.6
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> HAKANSSON & CARTER	27	16.8	22	16.2	28.6	24	12.8	30	20.2	33.8	34.2	40	52.8	55.6	53.2
<i>Cyclotella delicatula</i> HUSTEDT		0.6	2.2	2	0.8	0.2	0.8	1	2	0.2	2.4	3.6	7	6	
<i>Cyclotella hinzia</i> HOUK, KOENIG et KLEE			1		0.4	1	1.6	0.6	2.8	4.2	2.2	1.4	2.8	3.2	5.6
<i>Cyclotella krammeri</i> HAKANSSON					0.2	1.6	2.6	1.4	2	1	0.2				0.2
<i>Cyclotella kuetzingiana</i> THWAITES									0.2						
<i>Cyclotella ocellata</i> PANTOCSEK	11.4	9.4	16.2	4.4	4	2	2	5.8	9	17.6	13.6	19.4	5	3	4
<i>Cyclotella praetermissa</i> LUND												0.2	0.2	0.4	
<i>Cyclotella pseudocomensis</i> SCHEFFLER					0.8										1
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> HUSTEDT			0.4				0.4	0.4		0.8	2.2	0.4			
<i>Cyclotella radiosa</i> (GRUNOW) LEMMERMANN							0.2	0.6	0.8	0.2	0.2				0.4
<i>Cyclotella rossii</i> HAKANSSON						0.2	0.4	1.6	0.6	1	2.8	1	0.6		
<i>Cyclotella stelligera</i> CLEVE & GRUNOW								0.4							
<i>Cyclotella stelligerioides</i> HUSTEDT									0.2						
<i>Cyclotella wuethrichiana</i> DRUART & STRAUB		0.6	1		6.4	2	4.2	1.2	3	1.4	4.8	3.8	7.2	4	8.4
<i>Cymbella vulgata</i> KRAMMER		0.2													
<i>Diatoma polonica</i> BAK, LANGE-BERTALOT, NOSEK, JAKUBOWSKA, ZIELBASA								0.2		0.2					
<i>Diploneis minuta</i> PETERSEN												0.2			
<i>Diploneis oculata</i> (BREBISSON) CLEVE	0.2	0.2					0.2	0.2		0.2					
<i>Encyonema minutum</i> (HILSE) D.G.MANN		0.2								0.2	0.2				
<i>Encyonopsis cesatii</i> (RABENHORST) KRAMMER						0.2		0.2							
<i>Encyonopsis subminuta</i> KRAMMER & REICHARDT	0.2	0.4		0.4	0.6		0.2			0.2		0.6	0.8		
<i>Eolimna raederae</i> (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT & KULIKOVSKIY								0.4							
<i>Eolimna subminuscula</i> (MANGUIN) LANGE-BERTALOT															0.2

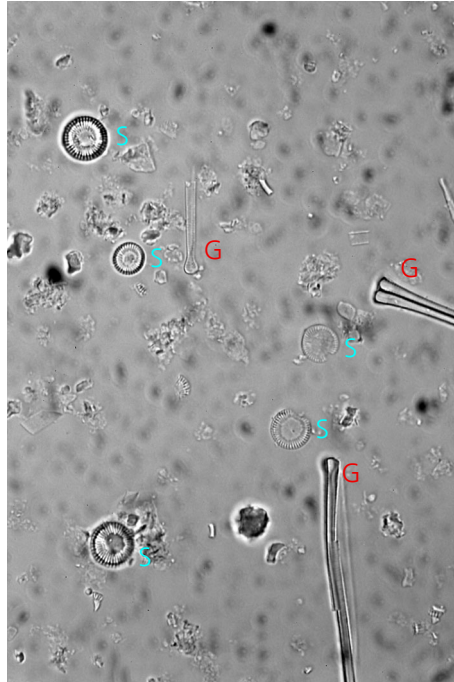
Türlensee - Rekonstruktion des Gesamtphosphors mit Hilfe der Kieselalgen

Sedimentprobe Nummer weitere Angaben siehe Stellenliste	Probe 01	Probe 02	Probe 03	Probe 04	Probe 05	Probe 06	Probe 07	Probe 08	Probe 09	Probe 10	Probe 11	Probe 12	Probe 13	Probe 14	Probe 15
Fallacia lenzii (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT											0.2				
Fallacia subhamulata (GRUNOW) D.G.MANN		0.2				0.2					0.4				0.2
Fragilaria acus (KUETZING) LANGE-BERTALOT							0.8		0.6						0.2
Fragilaria brevistriata GRUNOW	0.2	0.8	0.2										0.2		
Fragilaria candidagilae ALMEIDA et al														0.4	
Fragilaria construens f. construens (EHRENBERG) GRUNOW												0.2			
Fragilaria crotonensis KITTON	12.2	22.2	12	2.8	2	6	8.2	7.4	4.6	3.8	3.8	3.2	2.2	2.8	0.2
Fragilaria cyclopus (BRUTSCHY) LANGE-BERTALOT	0.4	2.2		0.8	0.4	0.4	0.8	0.2							
Fragilaria delicatissima (W.SMITH) LANGE-BERTALOT		0.2													
Fragilaria gracilis OESTRUP		0.2			0.6				0.2	1	0.4	1	0.4		
Fragilaria leptostauron (EHRENBERG) HUSTEDT									1.6	0.2					
Fragilaria mesolepta RABENHORST			0.2												
Fragilaria parasitica var. parasitica (W.SMITH) GRUNOW							0.2								
Fragilaria perminuta (GRUNOW) LANGE-BERTALOT		0.4													
Fragilaria pinnata auct	0.6	0.2		0.4	2				0.4			0.4	0.2		
Fragilaria pinnata var. pinnata auct											0.4				
Fragilaria rumpens (KUETZING) CARLSON									1.4						
Fragilaria subconstricta OESTRUP	0.2														
Fragilaria tenera (W.SMITH) LANGE-BERTALOT				0.8	1.6								0.6		
Fragilaria ulna (NITZSCH) LANGE-BERTALOT							0.2								
Fragilaria ulna angustissima - Sippen sensu KRAMMER & LANGE-BERTALOT	1.2					0.4	0.6	0.4	1	0.4		0.2	0.2		
Fragilaria vaucheriae (KUETZING) PETERSEN								0.2							
Geissleria decussis (OESTRUP) LANGE-BERTALOT & METZELTIN		0.2				0.4									
Karayevia clevei (GRUNOW) BUKHTIYAROVA				0.2		0.2	0.4	0.4			0.4				0.2
Karayevia laterostrata (HUSTEDT) BUKHTIYAROVA										0.2					
Lemnicola hungarica (GRUNOW) ROUND & BASSON											0.2				
Mayamaea alcimonia (E.REICHARDT) C.E.WETZEL, BARRAGAN & ECTOR 2018	0.2														
Navicula antonii LANGE-BERTALOT									0.4		0.4				
Navicula associata LANGE-BERTALOT									0.4	0.2		0.4			
Navicula capitatoradiata GERMAIN					0.2										
Navicula cari EHRENBERG						0.2	0.2		0.2						
Navicula cincta (EHRENBERG) RALFS					0.2										
Navicula cryptocephala KUETZING	0.2						0.2				0.2				
Navicula cryptotenella LANGE-BERTALOT				0.4	0.4					0.2		0.4		0.4	0.2
Navicula gregaria DONKIN								0.2			0.2				
Navicula lacuum LANGE-BERTALOT et al.											0.4				
Navicula oligotraphenta LANGE-BERTALOT & HOFMANN															0.2
Navicula pseudanglica var. signata (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT													0.2		
Navicula radiosa KUETZING			0.4				0.2			0.2					
Navicula reichardtiana LANGE-BERTALOT	0.2	0.4	1	0.4			0.4								
Navicula striolata (GRUNOW) LANGE-BERTALOT	0.2														
Navicula tripunctata (O.F.MUELLER) BORY DE SAINT-VINCENT										0.2		0.6			
Navicula trophicatrix LANGE-BERTALOT	0.2	0.4													
Navicula veneta KUETZING									0.4						
Neidium binodis (EHRENBERG) HUSTEDT		0.2													
Nitzschia alpinobacillum LANGE-BERTALOT									0.2						
Nitzschia dealpina LANGE-BERTALOT & HOFMANN							0.4								
Nitzschia dissipata (KUETZING) GRUNOW		1			0.2						0.4				
Nitzschia fonticola GRUNOW															0.4
Nitzschia lacuum LANGE-BERTALOT					0.4					0.2	0.4			0.4	

Sedimentprobe Nummer weitere Angaben siehe Stellenliste	Probe 01	Probe 02	Probe 03	Probe 04	Probe 05	Probe 06	Probe 07	Probe 08	Probe 09	Probe 10	Probe 11	Probe 12	Probe 13	Probe 14	Probe 15
Nitzschia palea var. debilis (KUETZING) GRUNOW												0.4			0.4
Nitzschia palea var. palea (KUETZING) W.SMITH				0.2						0.4					
Nitzschia paleacea GRUNOW			0.4												
Nitzschia pusilla GRUNOW											0.4				0.4
Nitzschia recta HANTZSCH												0.4			
Nitzschia sociabilis HUSTEDT									0.2						
Nitzschia tenuis W.SMITH											0.2				
Placoneis anglica (RALFS) COX		0.4													
Placoneis pseudanglica (LANGE-BERTALOT) COX	0.6								0.2						
Planothidium frequentissimum (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT							0.2	0.2						0.2	
Planothidium lanceolatum (BREBISSON ex KUETZING) LANGE-BERTALOT	0.4														
Planothidium rostratiformis (LANGE-BERTALOT) WETZEL et al.	0.4	0.2	0.8	0.4		0.6				0.2	1				0.4
Planothidium rostratum (OESTRUP) LANGE-BERTALOT												0.8	0.2		
Platessa conspicua (MAYER) LANGE-BERTALOT				0.4	0.2							0.4		0.2	
Platessa zieglerei (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT	0.2													0.2	
Psammothidium rechtense (LECLERCQ) LANGE-BERTALOT								0.4							
Sellaphora joubaudii (GERMAIN) ABOAL	0.8														
Sellaphora nigri (DE NOTARIS) C.E. WETZEL et ECTOR								0.4							
Sellaphora pupula (KUETZING) MERESCHKOWSKY		0.4									0.2				
Sellaphora saugerresii (DESM.) C.G. WETZEL et D.G.MANN						0.4									
Simonsenia delognei (GRUNOW) LANGE-BERTALOT											0.6				
Stephanodiscus alpinus HUSTEDT	0.8		1	0.6	1	1.8	1	1	0.8	1.6	1	1.6	0.6	2.4	1
Stephanodiscus medius HAKANSSON	0.4	0.8	1.2												
Stephanodiscus minutulus (KUETZING) GRUNOW in CLEVE & MOELLER	21.6	22.4	27.4	50.2	29.4	20	22.4	21	23.6	10.4	6.8	4.2	3.2	5.2	6.8
Surirella brebissonii var. kuetzingii KRAMMER & LANGE-BERTALOT						0.2									
Tabellaria flocculosa (ROTH) KUETZING							0.2								
Anzahl gezählte Schalen	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Taxazahl	28	31	21	23	28	25	33	31	34	35	37	29	23	20	27
Diversität H	3.03	3.07	2.96	2.45	2.96	2.72	3.02	3.07	3.42	3.08	3.47	2.98	2.53	2.42	2.56

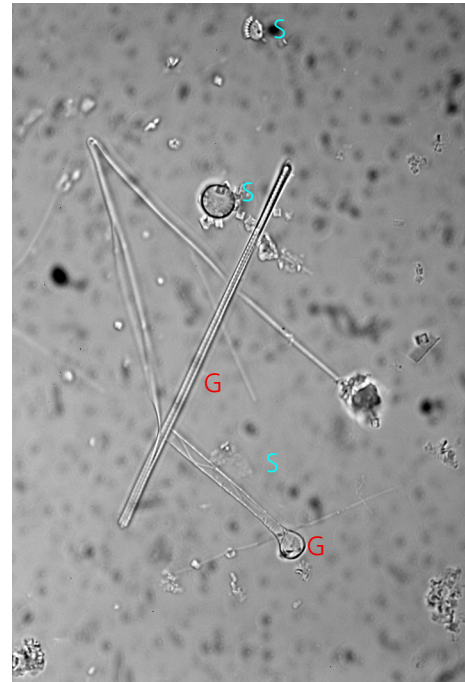
Anhang D

Bilder typischer Gesichtsfelder zweier Tiefenstufen mit unterschiedlich grossen Arten (Biovolumen).



Probe 16 (9-10 cm Tiefe, Jahr ca. 2000)
Viele kleine Formen wie *Cyclotella cyclo-puncta*, markiert mit einem hellblauen 'S'. Einige grosse Formen wie *Asterionella formosa* (zum Teil Bruchstücke), markiert mit einem roten 'G'.

Lichtmikroskope, 100-er Objektiv Ölimmersion, Hellfeld.



Probe 1 (0-0.5 cm Tiefe, Jahr 2023)
Grosse Formen wie *Fragilaria* (Bruchstück) und *Asterionella formosa* (Bruchstück), markiert mit einem roten 'G' und wenige kleine Formen wie *Stephanodiscus parvus / minutulus* und *Cyclotella ocellata* (Bruchstück), markiert mit einem hellblauen 'S'.

Lichtmikroskope, 100-er Objektiv Ölimmersion, Hellfeld.