

Zitationsvorschlag:

Teubner K, Dokulil MT (2000) Statistische Langzeitanalyse österreichischer Seen. Technical Report, Nationalbank, Jubiläumsfonds-Projekt 6762: 9 pages.

Statistische Langzeitanalyse österreichischer Seen

Jubiläumsfonds-Projekt 6762

Katrin Teubner & Martin T. Dokulil

Datenumfang

In dieser Studie wurden die langjährigen Meßdatenserien von insgesamt 18 Seen analysiert (Tabelle 1). Der Seenvergleich bezieht 6 Seen aus dem Salzkammergut (See 1-6), 11 Kärntner Seen (7-17) sowie den Neusiedler See ein.

Tabelle 1: Untersuchte Seen und Retentionszeiten sowie Angaben zu den Zeitabschnitten der analysierten Daten. Retentionszeiten aus „Kärntner Seenforschungsbericht 1997“ und „Seenreinhaltung in Österreich“ 1989.

Datenherkunft: Limnologisches Institut der ÖAW Mondsee: See 4, 5, 18; Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Scharfling: See 1 bis 6; Kärntner Institut für Seenforschung Klagenfurt: See 7-17; Biologische Station Illmitz: Neusiedler See: See 18.

lfd. Nr.	See	Retentionszeit in Jahren	Daten
1	Attersee	7	1989-98
2	Wolfgangsee	3,9	1973-97
3	Irrsee	1,7	1975-99
4	Mondsee	1,7	1977-98
5	Traunsee	1	1974-94
6	HallstätterSee	0,5	1975-98
7	Klopeiner See	11,5	1987-98
8	Laengsee	10,6	1987-98
9	Woerther See	10,5	1987-98
10	Weissensee	9,6	1987-98
11	Millstaetter See	7	1987-98
12	Ossiacher See	2	1987-98
13	Keutschacher See	0,8	1987-98
14	Faaker See	0,65	1987-98
15	Hafnersee	0,15	1987-98
16	Flatschacher See	0,1	1987-98
17	Haidensee	0,05	1987-97
18	Neusiedlersee	1	1983-90

Für die Trophieindikation nach FORSBERG & RYDING (1980) wurden die Proben 0 bis 15 m über die Sommermonate Juni bis September für den Untersuchungszeitraum gemittelt (Abb. 2). Daher entspricht die Trophieabschätzung nicht der aktuellen Seensituation sondern einem langjährigen Mittel. Der Hauptkomponentenanalyse liegen Langzeit-Jahresmittelwerte der 0-15m Schicht zugrunde (Abb. 3). Für die Darstellung der N:P:Si-Verhältnisse wurden langzeitige Jahresmittel je Tiefenstufe erfaßt (Abb. 4).

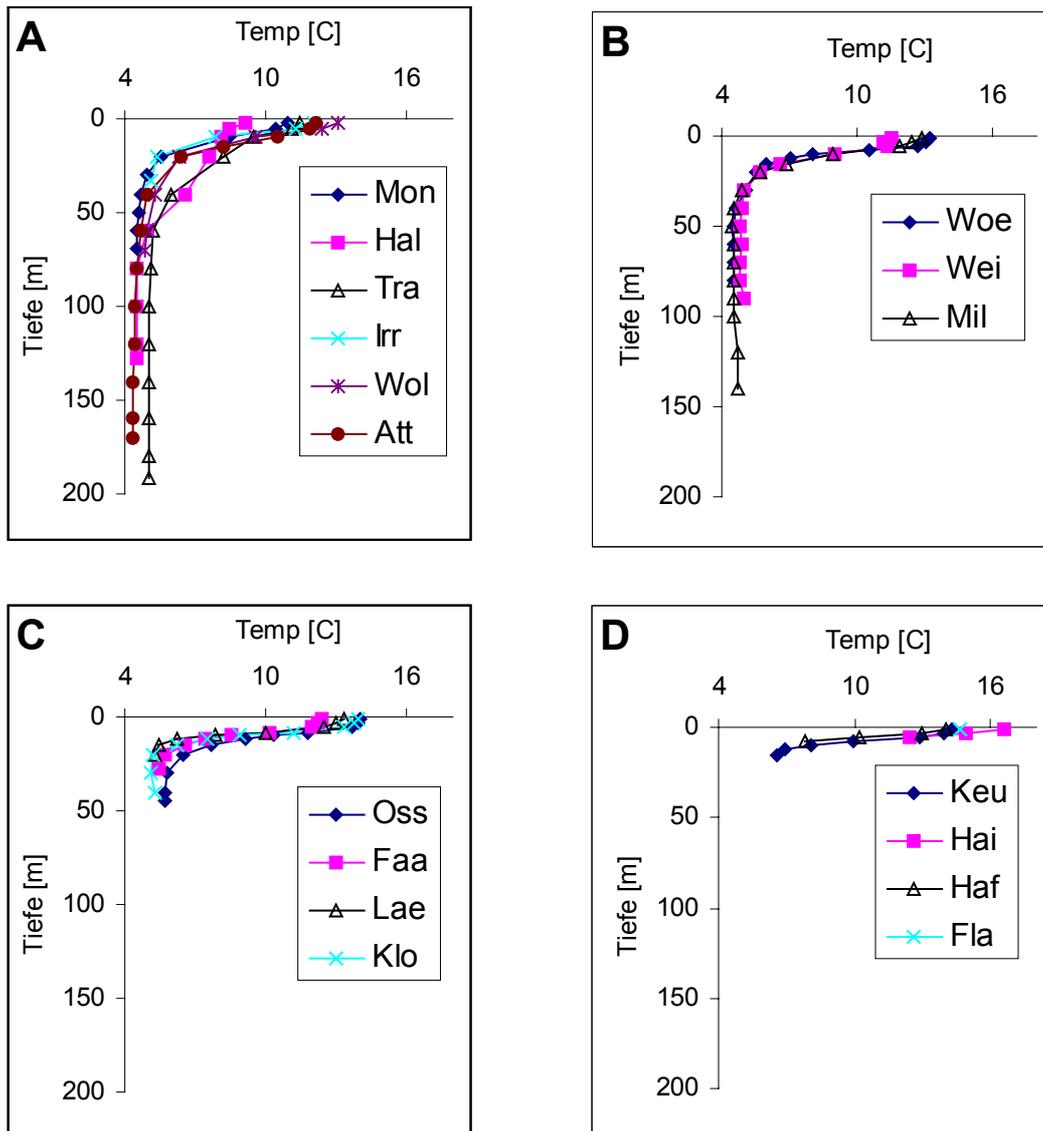


Abb. 1: Langjährig gemittelte Temperaturtiefenprofile der tiefen Salzkammergutseen (A), der tiefen (B), mitteltiefen (C) und flachen (D) Kärntner Seen (Zeitintervalle der Untersuchungen s. Tabelle 1).

Abkürzungen für die Seen: **Att**-Attersee, **Faa**-Faaker See, **Fla**-Flatschacher See, **Haf**-Hafnersee, **Hai**-Haidensee, **Hal**-Hallstätter See, **Irr**-Irrsee, **Keu**-Keutschacher See, **Klo**-Klopeiner See, **Lae**-Laengsee, **Mil**-Millstätter See, **Mon**-Mondsee, **Oss**-Ossiacher See, **Tra**-Traunsee, **Wei**-Weissensee, **Woe**-Woerthersee, **Wol**-Wolfgangsee.

Ergebnisse

Die untersuchten Seen des Salzkammergutes sind durchweg tiefe Seen, wogegen bei den Kärntner Seen sowohl tiefe als auch flache Seen vertreten sind (Abb. 1). Eine vergleichbare Beurteilung der Salzkammergutseen mit einer Reihe von Kärntner Seen ergibt sich allein in der Trophieeinschätzung nach der Gesamtphosphorkonzentration und den Sichttiefeverhältnissen. Sommerliche Werte der Sichttiefen über 4m und einer Gesamtphosphorkonzentration unter $19\mu\text{g/l}$ (entspricht $0,6\mu\text{mol/l}$) ordnen sämtliche Salzkammergutseen und

Kärntner Seen wie den Weissensee, Faaker See, Millstättersee, Ossiacher See, Klopeiner See, Keutschacher See und Längsee als oligo- bis schwach mesotrophe Seen ein (Abb. 2, oben). Die Verhältnismäßigkeit von Sichttiefe und Phosphor zeigt auch, daß die zeitweise auftretende zusätzliche Trübe durch biogene Kalzitfällung in einigen Seen sich nicht wesentlich auf das langjährige Mittel der Sichttiefe auszuwirken scheint.

Die Trophieeinschätzung nach dem Stickstoff (Abb. 2, unten), die multivariate morphologisch-limnologische Seencharakterisierung (Abb. 3) und das Verhältnis zwischen N, P und Si als wesentlicher Parameter der relativen Nährstoffverfügbarkeit in der Phytoplanktongemeinschaft (Abb. 4) zeigen, daß die 6 Salzkammergutseen sich als homogene Gruppe gegenüber den Kärntner Seen abgrenzen lassen.

So haben die Salzkammergutseen trotz niedriger Gesamtposphorkonzentrationen verhältnismäßig hohe Konzentrationen an anorganischem Stickstoff (Abb. 2, unten). Auch anhand der N:P:Si-Verhältnisse zeigt sich eine überproportionale Verfügbarkeit von Stickstoff gegenüber Phosphor und Silikat (Abb. 4). Im langfristigen Jahresmittel ergibt sich hier für sämtliche oberflächennahen Schichten eine Präferenz für eine starke Phosphorlimitation bei zugleich schwacher Silikatlimitation (Salzkammergutseen liegen in Abb. 4A im Sektor 2).

Ebenso lassen sich die Salzkammergutseen aufgrund der niedrigen Gesamtposphorkonzentrationen in Kombination mit typischen Eigenschaften tiefer Seen (relativ niedrige Temperaturen an der Oberfläche, niedrige Verhältnisse zwischen mittlerer Durchmischungstiefe und maximaler Seentiefe) als einheitlicher Seetyp eingrenzen. Der Unterschied zu anderen tiefen Seen wie dem Millstätter See, Weissensee, Woerthersee und Klopeiner See in Kärnten ergibt sich jedoch vor allem in den vergleichsweise kurzen Retentionszeiten (Abb. 3, Retentionszeiten s. auch Tabelle 1).

Bei den Kärntner Seen lassen sich bereits aufgrund ihrer sehr unterschiedlichen Tiefe (Abb. 1) und einem relativ weiten Trophiespektrum (Abb. 2, oben) verschiedene Gewässertypen herausarbeiten. Die tiefen Kärntner Seen Millstätter See, Weissensee, Woerthersee und Klopeiner sind insbesondere durch sehr lange Retentionszeiten mit ausgesprochen niedrigen Verhältnissen von Sichttiefe zu maximaler Seentiefe und pH-Werten um 8,2 gekennzeichnet (Abb. 3). Dagegen sind der Keutschacher See, Hafner See, Flatschacher See und Haidensee flache Seen mit ausgesprochen kurzen Retentionszeiten, Sichttiefen gleich oder nahezu gleich der durchmischten Tiefe, mit fast immer vollständig durchmischten Wasserkörpern und niedrigeren pH-Werten um 7,9. Der Haidensee ist außerdem durch eine relativ hohe Gesamtposphorkonzentrationen ausgewiesen (Abb. 3, s. auch Abb. 2). Die übrigen Kärntner

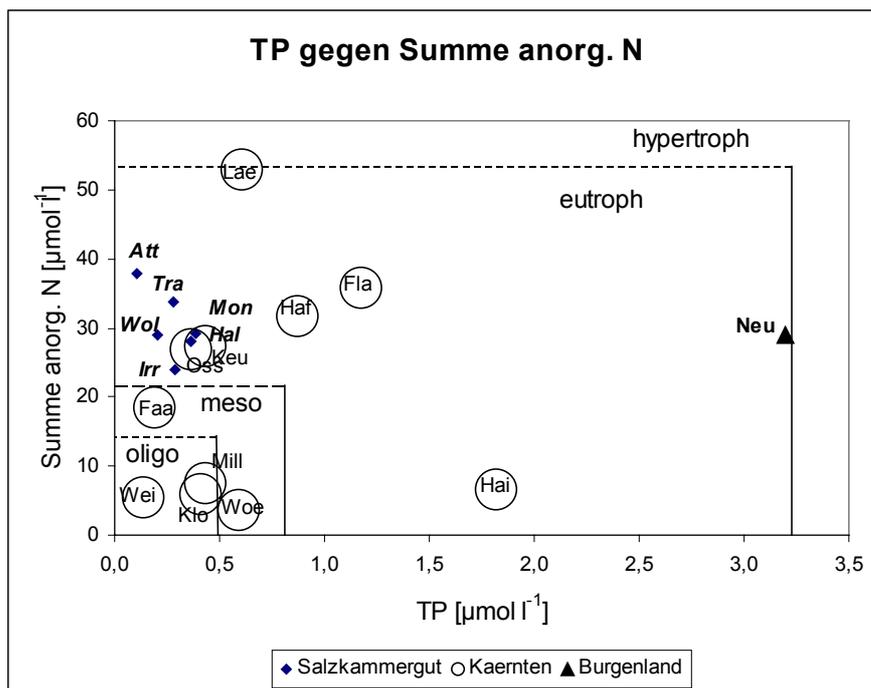
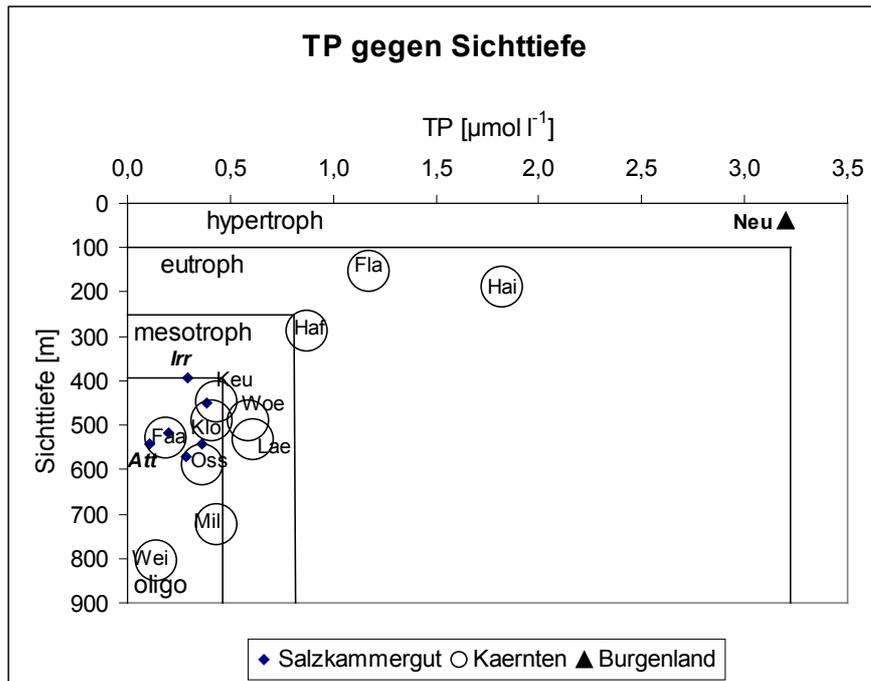


Abb. 2: Beziehung zwischen der Gesamtphosphorkonzentration (TP) und der Sichttiefe bzw. der Summe der anorganischen Stickstoffkonzentrationen für die 18 untersuchten Seen. Die trophischen Einstufungen beziehen sich auf TP, TN und Sichttiefenwerte von FORSBERG & RYDING (1980), daher ist der Bezug auf den anorganischen Stickstoff nur beschränkt aussagefähig. Datenbasis: Langjährige Sommermittelwerte Juni bis September. Abkürzungen für die Seen: Neu-Neusiedlersee, übrige siehe Abb. 1.

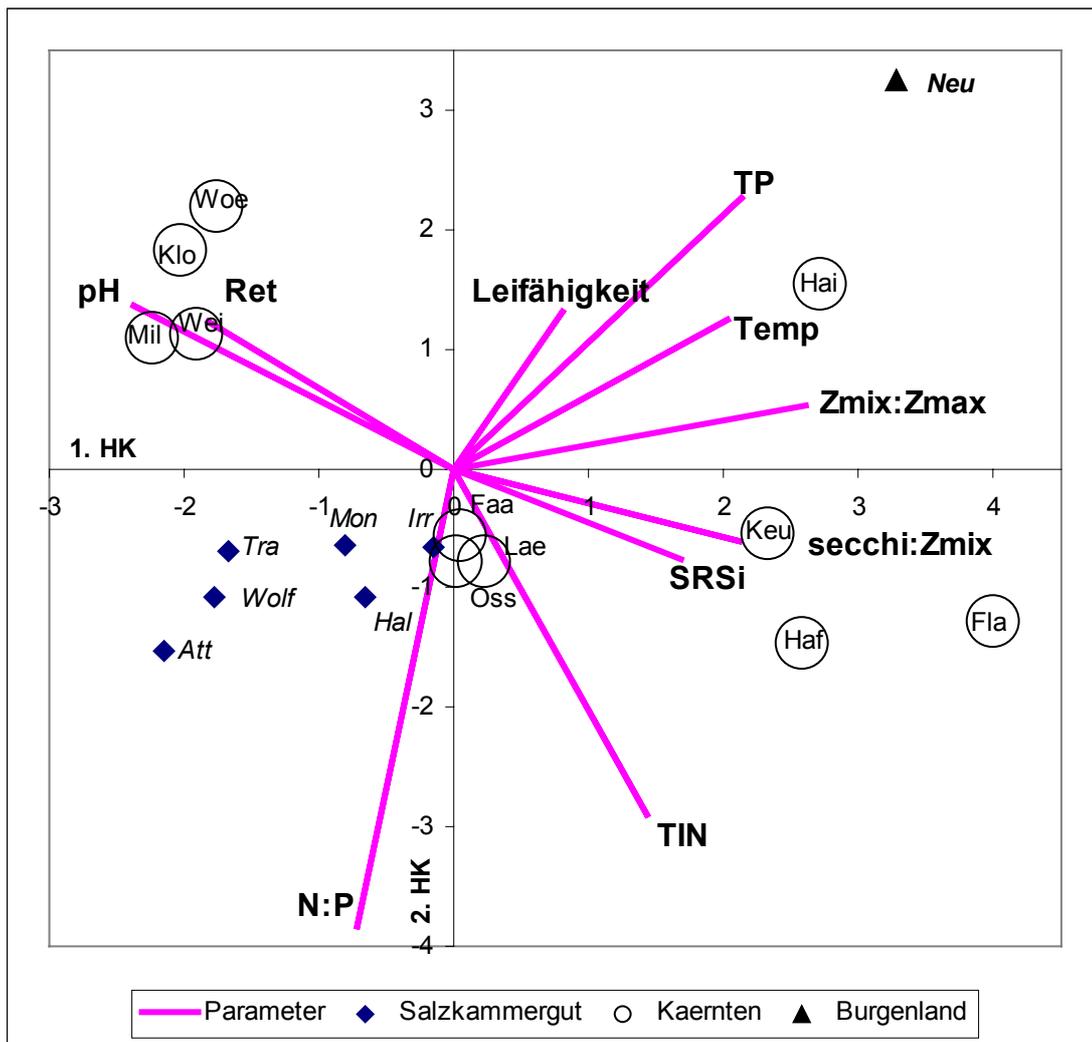
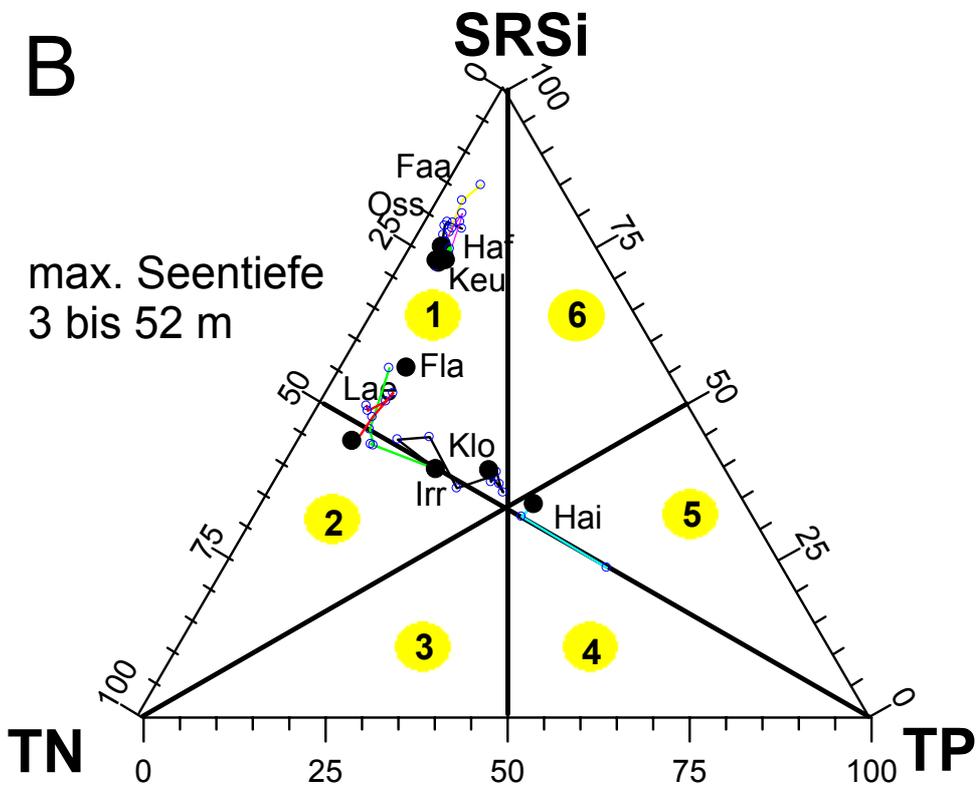
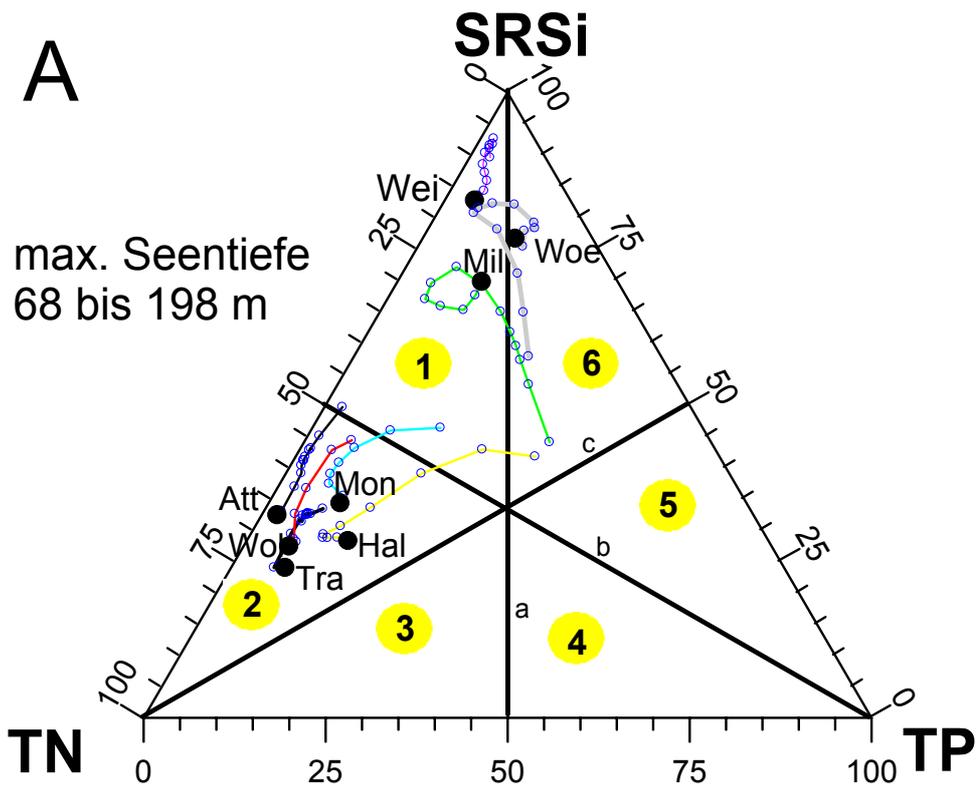


Abb. 3: Biplot-Darstellung einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) für die ersten beiden Hauptkomponenten (HK, gezeigte Varianz: 43% +21%) für die 18 untersuchten Seen. Die Verschiedenheit der Seen wird anhand langjähriger Mittel folgender morphometrisch-limnologischen Parameter analysiert: Leitfähigkeit, Temperatur (Temp), pH-Wert, Retentionszeit (Ret), Verhältnis zwischen mittlerer Durchmischungstiefe und maximaler Gewässertiefe (Zmix:Zmax) sowie zwischen mittlerer Sichttiefe und Durchmischungstiefe (secchi:Zmix), Konzentration des gelösten reaktiven Siliziums (SRSi), des Gesamtphosphors (TP) und der Summe des anorganischen Stickstoffs (TIN) sowie das Verhältnis der beiden letzten (N:P). Abkürzungen für die Seen s. Abb. 1 und 2.

Abb. 4 (nächste Seite): Tiefenprofile der N:P:Si-Verhältnisse für tiefe (A) und flache Seen (B). Der Oberflächenwert ist durch einen schwarze Punkt, folgende Tiefen durch verbundene Kreise und der Probenahmepunkt nahe Sediment als letzter Kreis in der Kette gekennzeichnet. Jeder Punkt ergibt sich aus der Summe der 3 Nährstoffe gleichgesetzt zu 100%. Ergebnis der Normierung der Konzentrationsprofile der 17 Seen ist die zentrale Lage des molaren Optimum-Verhältnisses von N:P:Si=16:1:17 (gemeinsamer Schnittpunkt der 3 Linien). Die drei Linien der optimalen Konzentrationsverhältnisse N:P=16:1 (Linie a), Si:N=17:16 (Linie B); Si:P=17:1 (Linie C) teilen die Dreiecksfläche in 6 Sektoren ein: Präferenz für starke P (1-2), starke Si (3-4) bzw. starke N-Limitation (5-6). Abkürzungen der Seen s. Abb. 1.

Sektor		Sektor		Sektor	
1	-P-P-N	3	-Si-Si-P	5	-N-N-Si
2	-P-P-Si	4	-Si-Si-N	6	-N-N-P



Seen, d.h. der Faaker See, Längsee, und Ossiacher See, sind durch keine der angeführten Kombination der Extreme der einen oder anderen Gruppe zuzuordnen (Abb. 3).

Der Neusiedlersee läßt sich sowohl aufgrund der hohen Konzentrationen des Gesamtphosphors und anorganischen Stickstoffes (eutrophes Gewässer s. Abb. 2, unten) sowie den extrem hohen Leitfähigkeiten bei vollständig durchmischten Wasserkörper isoliert von allen übrigen Seen betrachten (Abb. 3). Allerdings sind die niedrigen Sichttiefeverhältnisse (Abb. 2, oben) nicht allein auf eine Trübe durch Plankton, sondern auch auf eine starke anorganische Trübe zurückzuführen.

Der Vergleich der N:P:Si-Verhältnisse zeigt, daß alle Kärntner Seen bei relativ niedrigen P und N Konzentrationen relativ hohe Silikatmengen aufweisen (Abb. 4). So liegen die Seenpunkte der Kärntner Seen im Bereich des Sektors 1 bzw. nahe dieser Fläche, wodurch angezeigt wird, daß insbesondere P-Limitation bei schwacher N-Limitation vorherrschen (das klassische stoichiometrische Verhältnis von Redfield eines Optimums von N:P:Si gleich 16:1:17 wird hier zugrunde gelegt, TEUBNER 1996, 1999, TEUBNER & DOKULIL 1999). Die höchsten relativen Silikatkonzentrationen treten im Weißensee auf, was im Einklang mit den sehr hohen Anteilen der Diatomeen von über 50% an der Phytoplanktonbiomasse steht. Die insbesondere hohen Silikatanteile umfassen sowohl die drei tiefen Kärntner Seen als auch flachere Seen dieser Region wie den Faaker See, Ossiacher See, Hafner See, und Keutschacher See. Der Haidensee ist der See mit den niedrigsten relativen Si-Konzentrationen der Kärntner Seen. Weiters ist er der einzige von den in der Abb. 4 gezeigten Seen, bei dem in tiefen Schichten nahe Sediment ein starkes Ansteigen der Gesamtphosphorkonzentrationen grafisch deutlich sichtbar wird (starke Versetzung des Punktes für die sedimentnahe Schicht in Richtung Ecke TP), was auf starke P-Rücklösungsprozesse aus dem Sediment verweist.

Nach den Profilen der N:P:Si-Verhältnisse bei den tiefen Seen lassen sich 3 Muster erkennen. Typ 1: Seen mit oberflächlich niedrigsten relativen Silikatkonzentrationen, von der Oberfläche in tiefere epilimnische Schichten eine Abnahme von P und N bei Zunahme des Si-Anteils, im Hypolimnion stärkere Zunahme von N und P bei schwächerer Erhöhung von Si (Mondsee, Hallstätter See, Traunsee, Wolfgangsee).

Typ 2. An der Oberfläche wiederum die niedrigsten relativen Si-Konzentrationen, wiederum von der Oberfläche in tiefere Schichten des Epilimnions eine deutliche Abnahme des Stickstoffanteils aber ein relativ konstant bleibender P bei starker Reduktion des Si-Anteils, im Hypolimnion eine weitere Abnahme von N bei zugleich leichter Erniedrigung auch von P unter kontinuierlicher Erhöhung der relativen Silikatkonzentrationen (Attersee, Weissensee).

Typ 3. An der Oberfläche liegen höhere Silikatkonzentrationen im Vergleich zu tiefen Schichten vor, im Hypolimnion nimmt der N- und P-Anteil deutlich gegenüber Si zu, womit sich im Hypolimnion eine drastische Abnahme der relativen Si-Konzentrationen ergibt (Woerther See, Millstätter See).

Die Unterschiede in den N:P:Si-Verhältnissen dieser drei Seentypen lassen sich auf Unterschiede in der Trophie und Retentionszeit zurückführen. So haben die tiefen Seen vom Typ 1 relativ kurze Retentionszeiten, werden stärker durchströmt. Typ 2 umfaßt Seen mit langen Retentionszeiten aber sehr niedrigen Phosphorkonzentrationen (Attersee und Weissensee sind die nährstoffärmsten (oligotroph) der hier untersuchten Seen, keine P-Dynamik in Relation zu N und Si). Die beiden Seen vom Typ 3 weisen wiederum lange Retentionszeiten auf, sind aber nährstoffreicher (daher stärkere P-Dynamik).

Ausblick

Die Daten der 18 analysierten Seen Österreichs und die daraus abgeleiteten Ergebnisse und Resultate sollen nun in Absprache mit den Institutionen, welche die Daten zur Verfügung gestellt haben, in entsprechenden Veröffentlichungen in internationalen Fachjournalen publiziert werden und so einem breiten Fachpublikum in ihrer theoretischen und praktischen Bedeutung zur Diskussion vorgestellt werden. Im Zentrum des Interesses werden dabei die erarbeiteten Seentypen sowie Leitbilder im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union stehen. Leitbilder sind vor allem, aber nicht nur, von praktischer Bedeutung in ihrer Umsetzung für die Überwachung der Wasserqualität in Österreich und im gesamten EU-Raum.

Die im Rahmen des vorliegenden Projektes erarbeiteten Ergebnisse und die daraus entstandene Datenbank, welche sich im wesentlichen auf physikalisch-chemische Daten und Biomassen des pflanzlichen Planktons stützt, stellen aber auch eine unentbehrliche und solide Grundlage für weitergehende Analysen dar. Zugleich ergänzen und erweitern die hier vorgelegten Resultate eine derzeit beim Umweltbundesamt (UBA) in Arbeit befindliche morphometrische Datenbank österreichischer Seen.

Aus diesem Grund hat das Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft (BMLF) den Träger des gegenständlichen Projektes beauftragt eine österreichweite Projektstudie zu koordinieren, welche sich zum Ziel setzt, Grundlagen für eine zielführende und kostengünstige Kontrolle der Wasserqualität stehender Gewässer im Sinne der obengenannten EU-Richtlinie zu schaffen. Ausgangspunkt werden dabei die in diesem Projekt erarbeiteten Resultate und ihre Übertragung auf andere Gewässer und Seentypen sein.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der 18 hier betrachteten Seen lassen einen deutlichen Unterschied zwischen den Kärntner Seen und den Gewässern des Salzkammergutes erkennen. Der Neusiedlersee muß sowohl aufgrund der hohen Konzentrationen des Gesamtphosphors und anorganischen Stickstoffes sowie den extrem hohen Leitfähigkeiten bei einem vollständig durchmischten Wasserkörper isoliert von allen übrigen Seen betrachtet werden. Nach den Profilen der N:P:Si-Verhältnisse lassen sich bei den tiefen Seen 3 Typen erkennen, die durch ihre Proportionen zwischen den drei Makronährstoffen Phosphor, Stickstoff und Silikat im Epi- und Hypolimnion charakterisiert sind. Die Unterschiede zwischen den drei Seentypen lassen sich auf Verschiedenheiten in der Trophie und Retentionszeit zurückführen. So haben die tiefen Seen vom Typ 1 relativ kurze Retentionszeiten und werden stärker durchströmt (Mond-, Traun-, Wolfgang- und Hallstättersee). Der Typ 2 umfaßt Seen mit langen Retentionszeiten aber sehr niedrigen Phosphorkonzentrationen und geringer P-Dynamik (Atter- und Weissen-See). Die beiden Seen vom Typ 3 wiederum weisen lange Retentionszeiten auf, sind aber nährstoffreicher und haben daher stärkere P-Dynamik (Wörther- und Millstätter-See).

Für die Praxis sollten sich daraus Strategien für ein differenziertes Untersuchungsprogramm im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie ableiten lassen.

Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung und sorgfältige Bereitstellung der Daten bei Dr. Kurt Schwarz und Dr. Albert Jagsch vom Bundesamt für Wasserwirtschaft, Scharfling, bei Dr. Liselotte Schulz, Dr. Regine Hradetzky, Mag. Maria Mairitsch, Dr. Roswitha Fresner und Univ. Prof. Hans Sampl des Kärntner Seenforschungsinstitutes, Klagenfurt sowie bei Univ. Doz. Alois Herzig der Biologischen Station, Illmitz.

Literatur

- Forsberg, C. & Ryding, S. O. (1980): Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 waste-receiving Swedish lakes. *Archiv für Hydrobiologie*, **69**, 189-207.
- Kärntner Seenbericht (1997), Veröffentlichungen des Kärntner Institutes für Seenforschung, **12**, Klagenfurt, 63 Seiten.
- Seenreinhaltung in Österreich (1989): Fortschreibung 1981-87-Limnologie-Hygiene-Maßnahmen-Erfolge, Heft 6 a der Schriftenreihe „Wasserwirtschaft“, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF), Wien, 175 Seiten.
- Teubner, K. (1996): Struktur und Dynamik des Phytoplanktons in Beziehung zur Hydrochemie und Hydrophysik der Gewässer: Eine multivariate statistische Analyse an ausgewählten Gewässern der Region Berlin-Brandenburg. Dissertation A, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 232 Seiten.
- K. Teubner (1999): Synchronised changes of planktonic cyanobacterial and diatom assemblages in North German waters reduce seasonality to two principal periods. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, im Druck.
- Teubner, K. & M. T. Dokulil (1999): Balance of nutrient ratio dynamics (TN:TP:SRSi) along the trophic gradient related to seasonal shifts in phytoplankton assemblages. Eingereicht.