

---

Veröffentlichungen des  
Kärntner Institutes für Seenforschung

---

# **Der Goggausee**

**Kärnten - Österreich**

**Limnologische Langzeitentwicklung  
und limnologische Untersuchungen  
im Jahr 2002  
unter besonderer Berücksichtigung  
der Planktonbiozöosen**

Klagenfurt, März 2007

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Kärntner Institut für Seenforschung (KIS)  
Naturwissenschaftliches Forschungszentrum  
Abt. 15 - Uabt. Ökologie und Umweltdaten  
des Amtes der Kärntner Landesregierung  
Flatschacher Straße 70, 9020 Klagenfurt

Gesamtleitung: Dr. Liselotte Schulz

Bearbeitung: Dr. Roswitha Fresner  
Mag. Marion Ambros  
Mag. Markus Reichmann  
Mag. Maria Mairitsch  
Mag. Georg Santner  
Dr. Wolfgang Honsig-Erlenburg  
DI Jürgen Petutschnig

Probenahmen, Limnochemische Analysen: Umweltschuttlabor Abt. 15 – Umwelt  
des Amtes der Kärntner Landesregierung

Textkorrektur und Layout: Mag. Marion Ambros  
Mag. Julia Oberauer

Druck und Bindearbeiten: im Hause

Dank ergeht an den Besitzer des Goggauses DI Dr. Eckart Senitza für die Unterstützung und Erlaubnis der Probenahme.

Besuchen Sie uns auf unserer Homepage!  
[www.kis.ktn.gv.at](http://www.kis.ktn.gv.at)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Summary</b> .....	<b>3</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>Allgemeine Beschreibung</b> .....	<b>6</b>
<b>Fische</b> .....	<b>8</b>
<b>Muscheln</b> .....	<b>8</b>
<b>Krebse</b> .....	<b>8</b>
<b>Methodik</b> .....	<b>9</b>
Physikalisch-chemische Parameter .....	9
Sichttiefe .....	9
Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit .....	9
Sauerstoff.....	10
Phosphor.....	10
Stickstoff.....	10
Biologische Parameter.....	11
Phytoplankton-Biomasse .....	11
Zooplankton-Biomasse .....	11
<b>Limnologische Entwicklung</b> .....	<b>12</b>
Temperatur .....	12
Sichttiefe .....	14
Sauerstoff.....	16
Gesamt-Phosphor.....	20
Orthophosphat-Phosphor .....	24
Ammonium-Stickstoff .....	24
Nitrat-Stickstoff.....	25
pH-Wert.....	27
Leitfähigkeit .....	29
Phytoplankton .....	31
Zooplankton .....	38
Biomasse .....	39
Abundanz.....	42
Rotatoria.....	42
Crustaceen.....	47
Räuber-Beute-Beziehungen.....	50

<b>Literatur .....</b>	<b>52</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>51</b>
<b>Fotoverzeichnis .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>52</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>55</b>
<b>Tiefenkarte .....</b>	<b>64</b>

## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie dokumentiert die limnologische Entwicklung des meromiktischen Goggausees im Zeitraum von 1978 bis 2002 auf der Basis von Daten, die im Rahmen der Gewässergütekontrolle von der Abteilung 15 - Umwelt des Amtes der Kärntner Landesregierung gemeinsam mit dem Kärntner Institut für Seenforschung erhoben wurden.

Entsprechend der ÖNORM M 6231 wird der Goggausee, aufgrund der Gesamt-Phosphorkonzentrationen von rund 28 mg/l während der Frühjahrs- und rund 26 mg/l während der Herbstzirkulation, zu den schwach-eutrophen Gewässern gereiht. Tendenziell ist keine Änderung der Trophiestufe zu erkennen, jedoch bewirkten vorwiegend in den letzten Jahren aufgetretene tieferreichende Zirkulationen eine Zunahme des Phosphorgehaltes, der Schwebalgenmenge und einen Rückgang der Sichttiefen. Die Zunahme der Schwebalgen hängt mit der Tatsache zusammen, dass der Goggausee als seichtester meromiktischer See Kärntens, tiefer durchmischt ist. Das Kennzeichen eines meromiktischen Sees ist, dass während Zirkulationsphasen regelmäßig nur Teilbereiche des Tiefenwassers im See erfasst werden, sodass ein sauerstoffreicher Tiefenwasserbereich (Monimolimnion) entsteht, dessen Wasser normalerweise keinen Austausch mit dem zirkulierenden Wasser erfährt. In diesem Monimolimnion reichern sich infolge von Stoffwechselabbauprozessen Nährstoffe (Phosphor) an. Zirkulationen, die dann doch in das Monimolimnion eingreifen und mit Phosphor angereichertes Wasser nach oben transportieren, tragen letztlich zum Anstieg der Algenproduktion bei. Der Rücktransport des Phosphors aus der Tiefe in die Produktionsschicht wird als „interne Düngung“ bezeichnet. Dieses Phänomen war im Goggausee in jüngster Zeit mehrmals zu beobachten.

Die Algenbiomasse ist im Goggausee entsprechend dem schwach-eutrophen Nährstoffniveau hoch und erreicht von 1981 bis 2003 Jahresmittelwerte zwischen 960 und 6.240 mg/m<sup>3</sup>. Über diesen Zeitraum dominieren im Wesentlichen vier Gruppen die Algengemeinschaft, die Kieselalgen (Bacillariophyceae), die Schlundalgen

(Cryophyceae), die Panzeralgen (Dinophyceae) und die Goldalgen (Chrysophyceae). Blaualgen (Cyanophyceae) spielen bis zum Jahr 1997 in der Phytoplanktongemeinschaft keine Rolle. Erstmals bilden sie 1998 mit einer Konzentration von 200 mg/m<sup>3</sup> 10 % der Algenbiomasse. Im Jahr 2002 kommt es zu einer Massenentwicklung der Blaualge *Anabaena danica*, die im September des Jahres in einer Biomasse von 10.931 mg/m<sup>3</sup> gipfelt. Das spontane und massenhafte Auftreten dieser Art ist mit der Fähigkeit, den Luftstickstoff zu binden, verbunden. Damit ist die Alge in der Lage, einen möglichen Stickstoffmangel des Gewässers zu kompensieren. Entsprechend der Gesamtgleichung der Primärproduktion werden Stickstoff und Phosphor im Verhältnis 16 : 1 benötigt. Sinkt der Gehalt an verfügbarem Stickstoff unter das Sechzehnfache des Gehaltes an verfügbarem Phosphor, ist die Primärproduktion stickstofflimitiert. Im August beträgt das Verhältnis zwischen Gesamt-Stickstoff und Orthophosphat-P rund 12 : 1, d.h. es liegt eine Stickstofflimitierung vor. Unter diesen Bedingungen gerät *Anabaena danica* in Vorteil gegenüber den anderen Algen und bildet eine „Algenblüte“.

Die Jahresmittelwerte der Sichttiefenmessungen zeigen im Zeitraum von 1978 bis 2003 eine kontinuierliche Abnahme. 1978 wird eine Sichttiefe von 5,3 m (beruht auf einer Messung im Jahr) gemessen, 2003 beträgt sie nur noch 1,5 m (3 Messungen im Jahr). Die Sichttiefe ist im engen Zusammenhang mit der Schwebalgenmenge, die das Wasser trübt, zu sehen. Die Abnahme der Sichttiefen im Jahresmittel korreliert mit der Zunahme der Algenbiomasse.

Im Untersuchungsjahr 2002 konnte anhand der Temperaturaufzeichnungen im November eine Temperaturgleiche bei rund 6,2 °C (0 m bis Grund) als Folge einer Vollzirkulation beobachtet werden. Üblicherweise liegt die Temperatur unterhalb von 10 m im Goggausee bei 4,5 °C, während der durchmischte Wasserkörper in den Wintermonaten auf 3,9 °C abkühlt. Diese wärmere Wasserschicht über Grund belegt die Meromixis des Goggausees.

Aufgrund selten stattfindender Vollzirkulationen ist die Tiefenschicht des Goggauses weitgehend sauerstofffrei (Monimolimnion). Im Eplimnion können hingegen, bedingt durch die hohe Assimilationstätigkeit der photoautotrophen Pflanzen, hohe Sauerstoffkonzentrationen (29. April 2002 mit 18,8 mg/l) auftreten. Die vorliegenden Ergebnisse der Sauerstoffanalysen zeigen, dass im Goggaussee im Zeitraum von 1978 bis 2003 sieben Vollzirkulationen aufgetreten sind, in deren Folge in der Tiefe Sauerstoff gemessen wurde (Februar 1993, April 1994, März 1997, November 1996, 1998, 1999 und 2002).

Über die Faktoren, die zur Aufrechterhaltung des sauerstofffreien Monimolimnions im Goggaussee führen, herrscht Unklarheit, vor allem weil gelegentlich Vollzirkulationen auftreten. Von BERGER (1975) wird die windgeschützte Lage des Goggauses als ausreichendes Argument für die Meromixis bezweifelt. Ein möglicher Faktor ist die hohe Biomasseproduktion, die schließlich zu Anreicherung von organischem, reduzierendem Material führt, sodass eine sauerstofflose Tiefenzone entsteht, die autochton und biogenen Ursprungs ist.

Der Nitrat-N-Inhalt des Goggauses liegt zwischen 19 und 188 kg. Dies ist einerseits auf die hohe Produktivität des Phytoplanktons, welches den Nitrat-N organisch bindet, und andererseits auf die Meromixis des Sees zurückzuführen. Aufgrund der Tatsache, dass das Tiefenwasser des Sees praktisch ständig sauerstofffrei ist, kann keine Nitrifikation von Ammonium zu Nitrit und weiter zu Nitrat stattfinden. Im langjährigen Vergleich zeigt sich tendenziell eine Abnahme des Gehaltes an Nitrat-Stickstoff, der sich aus der Zunahme der Biomasse über diesen Zeitraum erklärt.

Die Gesamtmenge an Ammonium-N im Wasserkörper nimmt von 700 kg im Jahr 1978 auf rund 130 kg im Jahr 1999 ab. Vor allem unterhalb des Epilimnions zeigt sich eine Abnahme der Ammonium-N-Konzentration, während sie sich im Epilimnion nicht wesentlich verändert. Diese Abnahme in der Tiefe ist auf die tieferreichenden Zirkulationen, die zwischen 1995 und 2002 beobachtet wurden, zurückzuführen. Ammonium-N sowie Phosphor wird in höhere Wasserschichten verfrachtet, wo eine verstärkte

organische Bindung in einer ansteigenden Algenbiomasse zu beobachten ist.

Die Jahresmittel des pH-Wertes schwanken seit 1978 zwischen pH 6,9 und pH 7,8. Die Mittelwerte über die Wassersäule streuen zwischen pH 6,4 und pH 8,5. In Anbetracht der Tatsache, dass das Einzugsgebiet des Goggauses einen kalkarmen geologischen Hintergrund aufweist und die Pufferkapazität dementsprechend gering ist, wäre eher ein niedrigerer pH-Wert zu erwarten (unter pH 7). Einerseits wird der pH-Wert durch die hohe Produktion der photoautotrophen Pflanzen und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Assimilation erhöht. Andererseits können auch die Huminstoffe (Eintrag aus dem angrenzenden Moor) mit ihrer Pufferwirkung den pH-Wert hinaufsetzen.

Die Leitfähigkeit (Maß für die Konzentration an gelösten Salzen) zeigt ab 1986 eine leichte aber konstante Zunahme. Ausgehend von 150 µS/cm Ende der 1970er Jahre steigt die Leitfähigkeit bis ca. 200 µS/cm an. Eine Korrelation ist mit dem Ansteigen der Konzentrationen von Natrium und Chlorid gegeben, was auf vermehrte Salzstreuung des Straßenwinterdienstes hinweist. Dieser Konzentrationsanstieg allein aber kann die Erhöhung der Leitfähigkeit nicht verursachen, eher kommt der Gehalt an Huminstoffen dafür in Frage. Dabei handelt es sich um Abbauprodukte von Landpflanzen, die aufgrund ihrer negativen Ladung ebenfalls als Elektrolyte wirken und mit der Leitfähigkeit gemessen werden.

Mit den Untersuchungen im Schwerpunktjahr 2002 sind 28 Zooplanktonarten festgestellt worden. Davon entfallen auf die Crustaceen 7 Arten, repräsentiert durch 5 Cladoceren und 2 Copepoden, und auf die Rotatorien 21 Arten. Als weitere Vertreter des Zooplanktons sind die Larven der Büschelmücke *Chaoborus flavicans* zu erwähnen.

Die durchschnittliche Gesamtbiomasse (Trockengewicht) des Zooplanktons im Jahr 2002 beträgt 250 mg/m<sup>3</sup>. Die mittlere Biomasse der Crustaceen, die sich aus 19,5 mg/m<sup>3</sup> Copepoden und 31,5 mg/m<sup>3</sup> Cladoceren zusammensetzt, beträgt 51 mg/m<sup>3</sup>. Der Anteil der Rotatorien an der Gesamt-Zooplanktonbiomasse ist mit 46,5 mg/m<sup>3</sup>

auffallend hoch. Die mittlere Biomasse von *Chaoborus flavicans* beträgt 152,7 mg/m<sup>3</sup>.

Im Untersuchungsjahr 2002 wurde im Goggausee mit *Mesocyclops leuckarti* ein cyclopoider Copepode und mit *Eudiaptomus gracilis* ein calanoider Copepode nachgewiesen. HERZIG & MOOG (1976) stellten mit *Cyclops (strenuus) abyssorum* noch einen zweiten cyclopoiden Copepoden fest und bemerkten im Gegensatz zu den aktuellen Aufsammlungen das Fehlen eines calanoiden Copepoden. Dieses Fehlen wurde auch von FINDENEKG (1963) erwähnt und mit dem Vorkommen von *Chaoborus flavicans* in Verbindung gebracht. Der von der Büschelmückenlarve ausgehende Fraßdruck erklärt die geringen Abundanzen (24 %) von *Eudiaptomus gracilis* und die der Cladoceren (19 %) im Crustaceenplankton. Unter den Cladoceren finden sich *Daphnia longispina*, *Ceriodaphnia pulchella* und *Bosmina longirostris*, die auch von HERZIG & MOOG (1976) determiniert wurden. Mit *Diaphanosoma brachyurum* und *Chydorus sphaericus* wurden im Jahr 2002 zwei weitere Cladoceren bestimmt.

Der Goggausee weist mit 21 Vertretern der Rotatorien eine große Artenvielfalt auf. In ihrer Abundanzausprägung dominieren im Jahresverlauf zwei Arten. Dies ist einerseits *Keratella cochlearis* mit 66 % und andererseits *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* mit 16 %. Alle anderen Rotatorienarten liegen unter 10 % und waren nicht zu allen Terminen anzutreffen. In Bezug auf die Abundanz dominieren die Rotatorien mit fast 97 % das tierische Plankton. Dieser ungewöhnlich hohe Anteil der Rotatorien im Goggausee wurde nicht nur während des Untersuchungsjahres 2002 sondern auch schon von HERZIG & MOOG (1976) beschrieben. Indirekt kann für die hohe Rotatoriendichte die Insektenlarve *Chaoborus flavicans*, die einen starken Fraßdruck auf das Crustaceenplankton ausübt und somit die Nahrungskonkurrenz der Rädertiere dezimiert, verantwortlich gemacht werden. Die Untersuchungen des Zooplanktons im Schwerpunktjahr erlauben es, den Goggausee als „See der Rädertiere“ zu bezeichnen.

## Summary

This study documents the limnological development of the meromitic lake Goggausee concerning the period from 1978 to 2002. The data getting analysed were taken within the scope of water quality control, which is done by the Provincial Government of Carinthia Department 15 - Environment in collaboration with the Carinthian Institute for Lake Research.

The water quality of Lake Goggausee is slight eutroph due to the total phosphorus concentration, the biomass of phytoplankton and the secchi-depth. No change of trophic state appeared during the long period of observation. Nonetheless an increase of phytoplankton biomass and a decrease of secchi-depth without important changes of phosphorus concentration caused by deeper reaching water circulations have been observed in recent years. Lake Goggausee is the shallowest meromictic lake in Carinthia. In contrast to a holomictic lake where the whole water body circulates, the spring and autumn circulation of meromictic lakes includes only the upper water layers. Therefore in a meromictic lake the deeper water layers build up an oxygen free zone over ground called Monimolimnion. In this Monimolimnion nutrients (phosphorus) enrich themselves due to metabolic dismantling processes. Circulations which intervene in the Monimolimnion transport phosphorus loaded water upward and finally cause increased algal production. This process is called „internal fertilization“ and has been observed repeatedly in Lake Goggausee.

According to the trophic level the phytoplankton biomass in Lake Goggausee is high. From 1981 to 2003 the annual average values reached from 960 up to 6.240 mg/m<sup>3</sup>. During this period basically 4 groups dominate the phytoplankton community, the diatoms (bacillariophyceae), the cryptophyceae, the dinophyceae and the chrysophyceae. The cyanophyceae were irrelevant within the phytoplankton community up to the year 1997. In 1998 the cyanophyceae concentration of 200 mg/m<sup>3</sup> formed 10 % of the phytoplankton biomass. In the year 2002 *Anabaena danica* caused an algae bloom, which reached a biomass of 10.931 mg/m<sup>3</sup> in September. The spontaneous and massive

occurrence of this species is connected with the ability to fix the atmospheric nitrogen in specific cells. Therefore the algae are able to compensate a possible lack of nitrogen in the water. According to the total equation of primary production nitrogen and phosphorus are needed at the rate of 16 : 1. If the rate of nitrogen to phosphorus is less than 16 : 1 the primary production is nitrogen-limited.

In August the rate between total nitrogen and orthophosphate was estimated with 12 : 1, i.e. a nitrogen limitation was present. Under these conditions *Anabaena danica* took advantage against other algae and build up an „algae bloom“.

The annual average value of secchi depth shows a continually decrease over the period of 1978 to 2003. In 1978 the secchi depth was registered by 5.3 m (measured only once in this year) and in 2003 an average of 1.5 m was observed (average over three single values). The secchi depth is in close relationship to phytoplankton biomass, which clouds the surface water and finally reduces the secchi depth. The investigations of the year 2002 showed a homothermic situation at a temperature of 6.2 °C in November. This was a consequence of a complete circulation of the whole water body.

Usually in winter the waterlayer in the depth (Monimolimnion) represents 4.5 °C, even if the mixing water body cools down to 3.9 °C. This warmer water body in the depth underlines the meromitic state of Lake Goggaussee. The Monimolimnion of Lake Goggaussee is due to rare complete circulations oxygen-free.

However the Epilimnion can show high concentration of oxygen according to the assimilation rate of phytoplankton (April 29<sup>th</sup> 2002 with 18.8 mg/l). Over the period of 1978 to 2003 the oxygen analyses for Lake Goggaussee show seven complete circulations (3 circulations during spring: February 1993, April 1994 and March 1997 and 4 circulations during autumn: November 1996, 1998, 1999 and 2002). As a consequence of the circulations oxygen was measured over ground. The circulation of the whole waterbody occurs only occasionally. So far the forming of the Monimolimnion in Lake Goggaussee is not clear. BERGER (1975) doubts the theory that the wind-protected situation of Lake Goggaussee is a valid argument for the meromitic state of the lake. Also the high biomass production of Lake

Goggaussee is considered to be a possible factor. High biomass production finally leads to the enrichment of reduced, organic material, so an oxygen-free depth zone may develop autochthonally.

The content of nitrate of Lake Goggaussee ranges between 19 and 188 kg. This was attributing on the one hand to the high productivity of the phytoplankton, which fixes the nitrate and on the other hand to the meromitic state of the lake. No nitrification from ammonium to nitrite and further to nitrate could take place because of the oxygen-free Monimolimnion. The long term observation tended to result in a decrease of the nitrate content, which correlated with the increase of the algae biomass. The total amount of ammonium in Lake Goggaussee decreased from 700 kg (1978) to 130 kg (1999). Most notably the ammonium concentration showed a reduction below the Epilimnion. This decrease in the depth is related to the deeper reaching circulations, which were observed several times between 1995 and 2002.

Ammonium as well as phosphorus were transported into higher water bodies, where they get fixed in phytoplankton. That is the reason why the biomass of phytoplankton increased. Since 1978 the annual mean value of the pH varied between pH 6.9 and pH 7.8. The mean values in the water column spread between pH 6.4 and pH 8.5. Considering the fact, that the Lake Goggaussee has a non-calcareous catchment area, the buffer capacity should be low and a low pH value can be expected (below pH 7). On the one hand the pH value is increased by the high production of the photoautotrophic plants due to the associated CO<sub>2</sub>-assimilation. On the other hand humic substances entering from the flanking swamp may increase the pH value. The conductivity (measurement for the concentration of soluble salts) showed a slight but constant increase since 1986. The conductivity increased from 150 µS/cm (1978) to approximately 200 µS/cm. A possible correlation is given to the rise of sodium and chloride, which refers to increasing use of salt for the road winter services. The increase of the conductivity is rather caused by the high content of humic substances than by the high salt values. Humic substances emerge from the decomposition process of land plants, which act like negatively charged electrolytes and contribute to the conductivity. In the year 2002 28 species of zooplankton

were observed. 7 crustaceans, represented by 5 cladocerans and 2 copepods, as well as 21 species of rotifers were determined. Further the larva of the mosquito *Chaoborus flavicans* as a representative of the zooplankton was detected.

In the year 2002 the average total biomass (dry weight) of the zooplankton was 250 mg/m<sup>3</sup>. The mean biomass of the crustaceans consisted of 19.5 mg/m<sup>3</sup> copepods and 31.5 mg/m<sup>3</sup> cladocerans (together 51 mg/m<sup>3</sup>).

The portion of the rotifers of the total zooplankton biomass was with 46.5 mg/m<sup>3</sup> remarkably high. The mean biomass of *Chaoborus flavicans* amounted to 152.7 mg/m<sup>3</sup>. In the year 2002 the cyclopoide copepod *Mesocyclops leuckarti* and the calanoid *Eudiaptomus gracilis* were determined. HERZIG & MOOG (1976) described a second cyclopoide copepod named *Cyclops (strenuus) abyssorum* and noticed contrary to the current gathering the absence of a calanoid copepod. This absence was mentioned also by FINDENEKG (1963) and he combined it with the occurrence of *Chaoborus flavicans*, which feeds on these animals. Thus the predation pressure from the larvae explains the small abundance (24 %) of *Eudiaptomus gracilis* and those of the Cladocerans (19 %) in the plankton community. Also HERZIG & MOOG (1976) determined *Daphnia longispina*, *Ceriodaphnia pulchella* and *Bosmina longirostris*. In the year 2002 two Cladocerans were determined for the first time: *Diaphanosoma brachyurum* and *Chydorus sphaericus*.

Lake Goggausee exhibits a large diversity of species of rotifers (21 species). But only two species dominated the abundance within the year 2002. This was on the one hand *Keratella cochlearis* with 66 % and on the other hand *Polyarthra vulgaris dolichoptera* with 16 %. All the others were below 10 % of the total abundance of the rotifers and were not found at all sampling times. Regarding the abundance of the zooplankton the rotifers dominate with nearly 97 %. This unusually high portion of the rotifers in Lake Goggausee was not only described during the investigation in the year 2002 but also by HERZIG & MOOG (1976).

Indirectly the insect larvae *Chaoborus flavicans*, which exert a strong predation pressure on the crustaceans, is responsible for the high density of rotifers. Therefore the competition for suitable

nutrients between crustaceans and rotifers is low and rotifers can develop well.

## Einleitung

Der Goggausee ist aus limnologischer Sicht von Interesse, da er in einer weitgehend naturbelassenen Umgebung liegt und sich nur wenige Liegenschaften im weitgestreuten Einzugsbereich (Gemeinde Steuerberg) befinden.

Das Kärntner Institut für Seenforschung wurde von der Abteilung 15 - Umwelt des Amtes der Kärntner Landesregierung beauftragt, eine Auswertung der seit dreißig Jahren im Rahmen der Seengütekontrolle erhobenen Daten vorzunehmen und einen Bericht zu verfassen. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf das meromiktische Zirkulationsverhalten des Sees gelegt, welches einen großen Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Biozönosen hat. Zusätzlich wurde der See im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Kärntner Seen“ im Jahr 2002 in monatlichen Abständen hinsichtlich Arteninventar und Biomasse des Phyto- und Zooplanktons untersucht.

Für gewöhnlich wird der Wasserkörper der Kärntner Seen zweimal im Jahr (Herbst und Frühjahr) bis zum Grund durchmischt. Während dieser Phasen haben alle Tiefenstufen die gleiche Wassertemperatur (Homothermie). Die vom Wind verursachte Wasserströmung kann den gesamten Wasserkörper zur Zirkulation bringen. Es gibt aber auch Seen, bei denen zur Zeit der Homothermie keine Vollzirkulation auftritt. Diese Seen besitzen häufig ein großes Volumen bei verhältnismäßig kleiner Oberfläche und befinden sich in windgeschützten Lagen. Ihr Tiefenwasser ist infolge der andauernden Stagnation sauerstofffrei und nährstoffreich. Zu diesem Seetyp zählt in Kärnten neben dem Wörthersee, dem Millstätter See, dem Weißensee, dem Längsee und dem Klopeiner See auch der Goggausee, dessen meromiktisches Verhalten aufgrund der geringen Tiefe des Sees etwas Besonderes ist.

## Allgemeine Beschreibung



Foto 1: Goggaussee. Foto: Kärntner Institut für Seenforschung

Der Goggaussee (Foto 1) liegt im Bereich der Nockberge, nördlich von Feldkirchen, am Beginn des Wimitztales, in einer Seehöhe von 755 m. Der ca. 10,5 ha große und bis zu 12 m tiefe See bietet eine Reihe gewässerkundlicher Besonderheiten. Sein Becken hat eine maximale Länge von 700 m und eine maximale Breite von 150 m (Tab. 1). Die Seefläche weist eine länglich rechteckige Gestalt auf (Abb. 1). Die beiden Längsufer fallen steil ein, die beiden Schmalseiten werden von Verlandungsmooren eingenommen. Der Abfluss, der den See im Osten verlässt, fließt durch ein ausgedehntes Flachmoor und mündet nach kurzem Lauf in den Quellbach der Wimitz. Der einzige oberflächliche Zufluss entspringt aus einem am Südwest-Ende gelegenen Flachmoor. Der See gehört zum 100 ha großen gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet (LGBl. Nr. 80/1970).

Im Nordosten des Sees bildet das Flachmoor eine schöne Moorkante, die teilweise aus einem wenige Meter dicken Schwingrasen besteht und an das feste Land grenzt. Besonders im Frühjahr wird der Schwingrasen überschwemmt, da er festgewachsen ist und nicht aufschwimmen kann. Schwingrasen, die über eine größere Fläche verfügen, sind in Österreich sehr selten ausgebildet: u.a. am Goggaussee, am Lunzer Obersee, am Hechtensee bei Mariazell, am Seethalersee bei Tamsweg und am Egelsee nahe dem Millstätter See.

Tab. 1: Morphometrische Daten des Goggaussees.

Seehöhe	755	m ü. A.
Fläche	10,5	ha
Max. Tiefe	12,0	m
Mittlere Tiefe	9,3	m
Max. Länge	700	m
Max. Breite	150	m
Volumen	877,6	Mio. m <sup>3</sup>
Abfluss MQ (1951 - 1999)	45	l/s
Einzugsgebiet	3,1	km <sup>2</sup>
Uferlinie	1.770	m
Theoretische Wassererneuerungszeit	0,6	Jahre

Der Goggaussee ist der kleinste und seichteste meromiktische See Kärntens. Trotz seiner relativ geringen Tiefe gehört der Goggaussee dem teildurchmischenden (meromiktischen) Gewässertyp an. Er weist eine stagnierende und sauerstofffreie Tiefenwasserschicht unterhalb von 8 m Tiefe auf.

Die Ursache für diese Meromixis liegt nach FINDENEKG (1963) in der extrem windgeschützten Beckenlage. BERGER (1975) jedoch bezweifelt, dass die windgeschützte Lage des Goggaussees ein hinreichendes Argument liefert. Er führt mehrere Faktoren an, die die Schichtung und den Sauerstoffschwund aktiv aufrecht erhalten: Die intensive biogene Entkalkung durch die Assimilationstätigkeit der Algen bewirkt einen Dichtegradienten zwischen Mixo- und Hypolimnion. Die hohe Primärproduktion liefert große Mengen an organischem Material, das unter Sauerstoffverbrauch abgebaut wird. Diese Abbauprozesse zehren den Sauerstoff auf, sodass ein sauerstofffreies Monimolimnion entsteht, das autochton und biogenen Ursprungs ist. Laut BERGER (1975) sind seichte meromiktische Seen Seebecken mit schwachem Zufluss, hoher Produktivität und hohem Kalkgehalt des Wassers, sodass die epilimnische biogene Entkalkung einen stabilen Dichtegradienten schafft. In den Zirkulationsperioden kann zwar ein Austausch des Wassers bis zum Seegrund nicht ausgeschlossen werden, jedoch kompensiert die vom Schlamm ausgehende Sauerstoffzehrung die Zufuhr an belüftetem Wasser.

Ein zur Tiefe hin ansteigender Kalkgehalt, der BERGERS Vermutung untermauert hätte, konnte mit den vorliegenden Ergebnissen nicht nachgewiesen werden. Zudem weist das Wasser, entsprechend seiner Lage in kalkarmer Umgebung (Quarzphyllite und Schiefer), einen niedrigen Kalkgehalt auf, die Karbonathärte liegt zwischen 3° dH an der Oberfläche und 7 °dH in der Tiefe. Das Klagenfurter Trinkwasser, das als hartes Wasser bekannt ist, weist im Vergleich dazu eine Karbonathärte zwischen 18 und 22 °dH auf.

Das Wasser des Goggausees erscheint durch einen hohen Planktongehalt und durch den aus den angrenzenden Mooren stammenden Humusgehalt olivgrün. DOKULIL (1975) bestimmte die Lichtintensität unter Wasser mittels einer Sperrschicht-Photozelle in den Spektralbereichen Blau, Grün und Rot. Die von FINDENEKG (1963) an zwei Terminen durchgeführten Messungen erbrachten ein ähnliches Ergebnis. Grün dringt demnach am

tiefsten ein, Blau wird am stärksten absorbiert. Die geringe Blautransmission deutet darauf hin, dass der Goggausee ein Braunwassersee ist.

Sicherlich trägt der hohe Planktongehalt zur schwachen Durchlässigkeit für Blau und zur geringen Sichttiefe bei.

Als Besonderheit für den Goggausee ist das Vorkommen der Büschelmückenlarve *Chaoborus flavicans* in der Lebensgemeinschaft der Freiwasserzone zu erwähnen. Für gewöhnlich treten im sauerstofffreien Tiefenwasserbereich keine mehrzelligen Tiere auf. Eine Ausnahme bildet da *Chaoborus flavicans*, die sich tagsüber in anoxischen Tiefenzonen aufhält. In Kärnten ist diese Art auch im Hafner- und Keutschacher See anzutreffen.

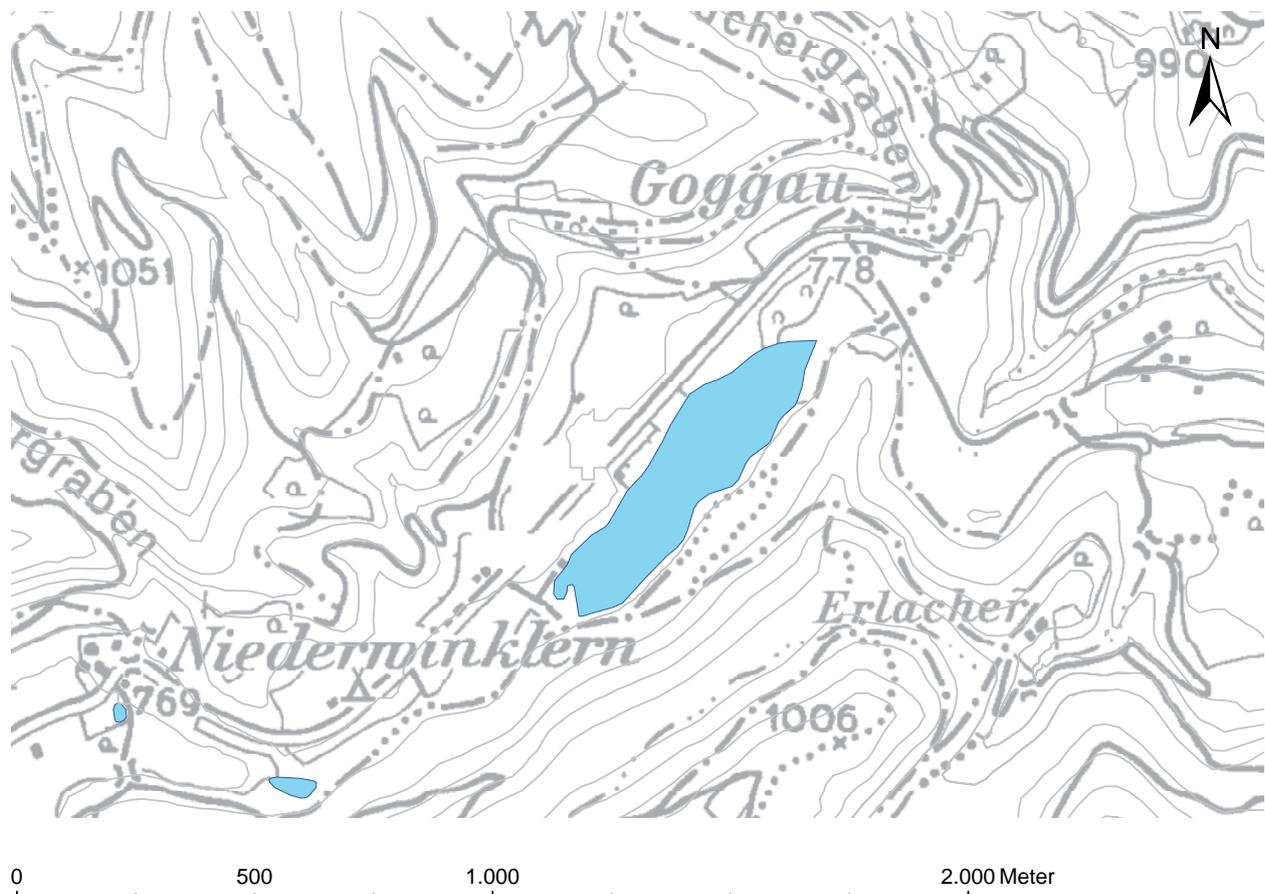


Abb. 1: Lage des Goggausees.

## Fische



Foto 2: *Rhodeus sericeus amarus* (Bitterling). Foto: E. Woschitz

Tab. 2: Fische des Goggauses (11 Arten).

Name	Wissenschaftlicher Name
Hecht	<i>Esox lucius</i>
Wels	<i>Silurus glanis</i>
Brachse	<i>Abramis brama</i>
Karpfen	<i>Cyprinus carpio</i>
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>
Rotauge	<i>Rutilus rutilus</i>
Rotfeder	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
Schleie	<i>Tinca tinca</i>
Barsch	<i>Perca fluviatilis</i>
Zander	<i>Sander lucioperca</i>
Bitterling	<i>Rhodeus sericeus amarus</i>

BRENNER (1975) hat im Goggaussee, der ausschließlich sportfischereilich genutzt wird, 10 Fischarten (Tab. 2) nachgewiesen. Eine besondere Bedeutung kommt sowohl dem guten Welsbestand als auch den Barschen zu, die hier besser als in anderen Seen abwachsen. Zander und Karpfen gelangen durch Besatz in den See. Bei einer Befischung im Jahr 2002 wurde der Bitterling (Foto 2) nachgewiesen (mündl. Mitteilung des Fischereiberechtigten), der für seine Fortpflanzung Teich- oder Malermuscheln benötigt, in deren Kloakenöffnungen das Weibchen die Eier mittels einer langen Legeröhre ablegt.

## Muscheln



Foto 3: *Anadonta cygnea* (Teichmuschel). Foto: M. Ambros

Der Goggaussee weist einen hervorragenden Bestand an Teich- und Malermuscheln auf. TAURER (2002) beschrieb die Populationen von *Anadonta cygnea* und *Unio pictorum* als sehr individuenreich und stellte Tiere mit unterschiedlichen Längen und unterschiedlichem Alter fest. Es gilt den bemerkenswert guten Zustand des Muschelbestandes im Goggaussee zu schützen. Aus diesem Grund wurden bereits Vorsichtsmaßnahmen von Seiten des Besitzers ergriffen, um eine Einschleppung der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) zu verhindern. So dürfen zum Beispiel von den Badegästen keine mitgebrachten Wasserfahrzeuge verwendet werden. Damit wird unterbunden, dass Larven der Wandermuschel eingeschleppt werden, die z.B. von Luftmattzen stammen, die tags zuvor in einem anderen See waren. Die Wandermuscheln schaden den Teichmuscheln insofern, als sie die Teichmuscheln als Substrat verwenden, sich an ihr ansiedeln und sie dadurch beeinträchtigen.

## Krebse

Der Goggaussee beherbergt einen guten Bestand an Edelkrebse (*Astacus astacus*). Diese besiedeln sehr zahlreich die Ufer (Röhricht-, untergetauchte Makrophyten- und Schwingrasenbestände). Auch im Bereich des Abflusses (ausgedehntes Flachmoor) wurden in den letzten Jahren Edelkrebse nachgewiesen.

## Methodik

Zur Beurteilung der Wasserqualität wird eine Reihe von chemischen, physikalischen und biologischen Parametern herangezogen, welche zu bestimmten Zeitpunkten eines Jahres untersucht werden.

Für die limnologische Beurteilung relevante Zeitpunkte im Seenjahr sind die Frühjahrsdurchmischung (Mai), die Fröhsommer-Hochproduktionsphase des Phytoplanktons (Juni - Juli), das Ende der Sommerstagnation (August - September) und die Herstdurchmischung (November - Dezember). Die Probenahme erfolgte im Goggaussee über der tiefsten Stelle (12 m) zu den gegebenen Zeitpunkten.

Von 1978 bis 2002 wurden am Goggaussee an 87 Terminen 522 Wasserproben aus 6 Tiefenstufen entnommen und auf 53 Parameter analysiert.

Die wesentlichen Parameter, die zur Beschreibung der Wassergüte herangezogen werden, sind:

### Physikalisch-chemische Parameter

Die Messmethoden sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

#### Sichttiefe

Die Sichttiefe gilt als Maß für die optische Qualität des Wassers und spiegelt im Groben die Menge des Schwebalgen-Bestandes wider. Die optische Beeinträchtigung hängt neben der Konzentration auch von der Algengröße und -art sowie von anorganischen und organischen Trübstoffen ab. Die Sichttiefe liefert einen wesentlichen Anhaltspunkt zur Eutrophierung.

Die Sichttiefe [m] wird mittels einer weißen Secchi-Scheibe (Durchmesser: 25 cm) bestimmt, die so weit abgesenkt wird, bis sie mit freiem Auge nicht mehr sichtbar ist. Die Absenktiefe entspricht dem Sichttiefenwert.

### Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit

Die **Wassertemperatur** hat grundlegenden Einfluss auf eine Vielzahl von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen im See. Beispielhaft seien hier die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von Sauerstoff oder der Temperatureinfluss auf sauerstoffverbrauchende mikrobielle Prozesse genannt.

Im Rahmen der routinemäßigen Beprobung wird die Temperatur im gesamten Tiefenprofil gemessen. Dadurch erhält man Aufschluss über thermische Schichtung des Seewassers. Wasser hat seine größte Dichte und damit sein höchstes spezifisches Gewicht bei einer Temperatur von rund + 4 °C (Anomalie des Wassers). Deshalb haben tiefere Seen über Grund konstant diese Temperatur. Senkt im Herbst die Temperatur des Oberflächenwassers auf 4 °C ab, gibt es keine stabile Temperaturschichtung mehr und das Gewässer kann mit Hilfe des Windes bis zum Grund durchmischt werden (Herbstzirkulation). Kühlt die obere Wasserschicht weiter ab, kommt es wieder zur Ausbildung einer Temperaturschichtung. Die Ausbildung einer Eisdecke verhindert zusätzlich, dass der See mit Hilfe des Windes durchmischt werden kann (Winterstagnation). Wenn sich der See im Frühjahr mit steigender Lufttemperatur von der Oberfläche her erwärmt, wird bei 4 °C die Temperaturschichtung abermals aufgelöst und der See kann neuerlich durchmischt werden (Frühjahrszirkulation). Im Sommer stellt sich mit zunehmender Erwärmung der oberen Schichten wieder eine stabile Schichtung ein (Sommerstagnation).

Eine Ausnahme bilden die so genannten meromiktischen Seen. Hier reicht die Windenergie bei fehlender Temperaturschichtung nicht aus, um das Gewässer zu durchmischen.

Der **pH-Wert** ist der negative dekadische Logarithmus der Protonen-Konzentration (z.B. entspricht ein pH von 6 einer Wasserstoff-Ionen-Konzentration von  $10^{-6}$  Mol/l). Vereinfacht ausgedrückt beschreibt der pH-Wert den Säuregrad des Wassers.

Ausschlaggebend für den pH-Wert ist der Gehalt

an basischen Puffersubstanzen im Gestein des Einzugsgebietes. So haben Gewässer in Gebieten mit geringem Puffergehalt (kristallin, kalkarm) oft pH-Werte unter 7. Eine hohe Produktion der photoautotrophen Pflanzen führt tagsüber zu einer vermehrten CO<sub>2</sub>-Assimilation und damit zu einem höheren pH-Wert.

Die **elektrische Leitfähigkeit** ist ein Maß für die Konzentration an gelösten Salzen. Eine höhere Salz-Konzentration bedingt eine höhere Leitfähigkeit. Die Höhe der Salz-Konzentration beeinflusst auch die Dichte des Wassers. Aufgrund von chemisch bedingten Dichteunterschieden kann es, ähnlich der Temperaturschichtung, die auch auf Dichteunterschieden beruht, ebenfalls zur Ausbildung einer stabilen chemischen Schichtung kommen, wodurch eine Durchmischung erschwert wird.

## Sauerstoff

Sauerstoff ist für alle heterotrophen Organismen lebenswichtig. Viele chemische Reaktionen laufen nur im Beisein von Sauerstoff (aerob) ab, andere nur unter sauerstofffreien Bedingungen (anaerob). Als Sauerstoffquelle dient zum einen die Atmosphäre, aus der über die Wasseroberfläche ein Eintrag in den See erfolgt, zum anderen die Photosyntheseaktivität autotropher Organismen (Pflanzen).

In sehr produktiven Seen können tagsüber Sauerstoffübersättigungen und nachts Sauerstoffdefizite auftreten. In geschichteten Seen treten im Tiefenwasserbereich (Hypolimnion) ausschließlich sauerstoffzehrende Vorgänge auf. Sauerstoff wird als Oxidationsmittel für den Abbau von organischem Material verbraucht. In oligotrophen (nährstoffarmen) Seen ist die hypolimnische Sauerstoffzehrung während der Stagnation gering, in eutrophen Seen kann der Sauerstoff vollständig verbraucht werden.

Die Sauerstoffwerte [mg/l] werden durch die Messsonde ermittelt.

## Phosphor

Die **Gesamt-Phosphor-Konzentration** umfasst alle drei in einem See vorkommenden Phosphor-

fraktionen (anorganisches gelöstes Phosphor als Orthophosphat, organisches gelöstes Phosphor und organisches partikuläres Phosphor - Organismen und Detritus). Grundsätzlich ist die Gesamt-Phosphor-Konzentration in einem See von externen Nährstoffeinträgen (Niederschlag, Oberflächenabschwemmung, Drainagen, Sickerwasser- und Grundwasserzuström) und vom Zirkulationsverhalten des Sees abhängig. Die Eutrophierung der Seen beruht in erster Linie auf der Zunahme der Phosphor-Konzentration.

Phosphor wird auf natürliche Weise ständig aus dem Nährstoffkreislauf eines Sees eliminiert, da es sich an Sedimentteilchen anlagert oder mit Eisen reagiert und ausfällt. Der organisch gebundene Phosphor sinkt mit den abgestorbenen Organismen ab und sedimentiert.

Im Sediment abgelagert stehen die Phosphorverbindungen für Algen und Wasserpflanzen, solange unmittelbar über dem Sediment Sauerstoff vorhanden ist, nicht mehr zur Verfügung. Der Sauerstoff bildet eine Barriere aus, durch die der Phosphor im Sediment gebunden bleibt.

Herrscht dagegen über dem Seegrund ein Sauerstoffdefizit, was während der Sommerstagnation in nährstoffreichen Seen die Regel ist, kann das Phosphor aus dem Sediment zurück in das Wasser diffundieren und während der Herbstzirkulation in die oberen Wasserschichten transportiert werden, wo er von den Algen und Wasserpflanzen wieder genutzt werden kann. Dieser Vorgang wird als „interne Düngung“ bezeichnet.

Die für Pflanzen nutzbare Phosphorfraktion **Orthophosphat-Phosphor** kommt in Kärntner Seen nur in relativ geringen Mengen vor. Daher ist das Orthophosphat als essentieller Nährstoff für die Primärproduzenten (Algen und Wasserpflanzen) ein wachstumsbegrenzender Faktor.

## Stickstoff

Stickstoff tritt im See in verschiedenen Formen auf, anorganisch als Nitrat, Nitrit und Ammonium, organisch gebunden in lebender Biomasse, als Zwischenstufen des mikrobiellen Eiweißabbaues, als Exkretionsprodukt tierischer Konsumenten sowie in freien Verbindungen, Aminosäuren, Enzymen, etc.

Als Stickstofflieferanten für die photoautotrophen Pflanzen dienen im Gewässer der Nitrat-Stickstoff und der Ammonium-Stickstoff, wobei der Nitrat-Stickstoff bevorzugt aufgenommen wird.

In den Umsatz der Stickstoffverbindungen greifen Mikroorganismen in vielfältiger Weise ein. **Ammonium** wird unter Verwendung von Sauerstoff über Nitrit zu Nitrat oxidiert (Nitrifikation) und ist daher im Epilimnion von unbelasteten Seen nur in geringen Mengen vorhanden. Während der Stagnationsphasen reichert sich der Ammonium-Stickstoff in anaeroben Bereichen des Hypolimnions im See an, während der Nitrat-Stickstoff hier verschwindet.

Neben der gehemmten Nitrifikation des durch Abbau von organischer Substanz durch Mikroorganismen freigesetzten Ammoniums erhöht auch eine Ammonifikation von Nitrat zu Ammonium die Konzentration des Ammoniums im anaeroben Hypolimnion eines Sees.

**Nitrat-Stickstoff** ist in oligotrophen Gewässern mit ausreichender Sauerstoffversorgung immer in für Primärproduzenten ausreichenden Mengen vorhanden. In sehr produktiven Seen kann es hingegen in der euphotischen Zone vollständig aufgezehrt werden. Da jedoch der Eintrag aus einem landwirtschaftlich genutzten Umland (Stickstoffdüngung) an manchen Seen sehr hoch sein kann, treten mitunter auch in relativ produktiven Gewässern hohe epilimnische Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen auf. Die Konzentration kann in Folge von Niederschlagsereignissen kurzfristig ansteigen, da es zu oberflächigen Auswaschungen und Einschwemmungen aus stickstoffgedüngten Flächen kommen kann.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die chemisch-physikalischen Untersuchungsmethoden bzw. die Bestimmungsgrenze chemischer Untersuchungsparameter.

## Biologische Parameter

### Phytoplankton-Biomasse

Die Biomasse an Schwebalgen spielt in der Trophie-Einstufung eine entscheidende Rolle und wird in  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben. Sie wird durch die Höhe der Phosphor-Konzentration gesteuert.

Bei der routinemäßigen Beprobung werden aus 6 Tiefenstufen (1, 3, 5, 8, 10 und 12 m) Phytoplanktonproben entnommen.

Die Bestimmung der Phytoplanktonbiomasse erfolgte durch direkte Zählung der in Verbundkammern (Volumen: 10 ml) sedimentierten Algen mit dem Umkehrmikroskop „Nikon Diaphot 200“ nach UTERMÖHL (1958). Um die Algenbiomasse zu berechnen, ordnet man den Schwebalgen einfache geometrische Formen zu und bestimmt so ihr Volumen. Unter der Annahme, dass das spezifische Gewicht der Schwebalgen gleich dem des Wassers ist, wird  $1 \mu\text{m}^3 = 10^{-6} \mu\text{g}$  gesetzt. Die Individuenzahl pro Liter multipliziert mit dem Körpervolumen in  $\mu\text{m}^3$  ergibt die Biomasse in  $\mu\text{g}/\text{l}$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

### Zooplankton-Biomasse

Im Schwerpunktjahr 2002 wurden zusätzlich Zooplanktonproben bearbeitet.

Die Zooplanktonprobenahme am Goggausee

Tab. 3: Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden.

Parameter	Bestimmungsgrenze	Methode
Sichttiefe [m]		„Secchi-Scheibe“
Temperatur [°C]		Messsonde: HL 2100, Grabner Instruments.
Sauerstoff [mg/l]		Messsonde: HL 2100, Grabner Instruments.
pH - Wert		Messsonde: HL 2100, Grabner Instruments.
P <sub>tot</sub> (Gesamt-Phosphor)	0,005 mg/l	UV-VIS
PO <sub>4</sub> -P (Orthophosphat-P)	0,002 mg/l	UV-VIS
TOC (organisch gebundener Kohlenstoff)	0,5 mg/l	TOC-Analysator
NO <sub>3</sub> -N (Nitrat-Stickstoff)	0,05 mg/l	Ionenchromatographie
NH <sub>4</sub> -N (Ammonium-Stickstoff)	0,004 mg/l	UV-VIS
SiO <sub>2</sub> (Kieselsäure)	0,1 mg/l	UV-VIS
Cl (Chlorid)	0,5 mg/l	Ionenchromatographie
Ca (Calcium)	3 mg/l	ICP MS
Mg (Magnesium)	1 mg/l	ICP MS
K (Kalium)	0,3 mg/l	ICP MS

Tab. 4: Trophieklassen nach der Gesamt-Phosphor-Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ] und der Phytoplankton-Biomasse [ $\text{mg/m}^3$ ] (ÖNORM 6231:2001).

Trophieklasse	Gesamtphosphor-Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ]	Phytoplankton-Biomasse [ $\text{mg/m}^3$ ]
oligotroph	< 10	< 1.000
mesotroph	15 - 30	1.500 - 3.000
schwach-eutroph	30 - 40	> 3.000
eutroph	> 40	> 3.000

erfolgte mittels eines modifizierten Schöpfers nach Schindler (40  $\mu\text{m}$ ). Die Proben wurden in 4%igen Formol fixiert.

Die Zählung der Crustaceen erfolgte mit einem Bionokular (Wild Heerbrugg Typ M3Z).

Die Biomasse der Copepoden und Cladoceren wurde nach BOTRELL et al. (1976) als Trockengewicht bestimmt. Die Determination der Cladoceren erfolgte nach FLÖSSNER (1972) und LIEDER (1996), die der Copepoden nach KIEFER (1960), HERBST (1962) und EINSLE (1993).

Die Bearbeitung der Rotatorien erfolgte mit dem Umkehrmikroskop nach UTERMÖHL (1958). Die gesamte Probe wurde auf 40 ml konzentriert. Zur Zählung wurde eine Teilprobe von 10 ml in eine Sedimentationskammer gefüllt. Um das Sedimentieren zu beschleunigen, wurden zur Senkung der Oberflächenspannung einige Tropfen Spulmittel beigesetzt. Je nach Häufigkeit der Individuen wurde der Inhalt halber, ganzer oder auch mehrere Sedimentationskammern gezählt. Die Biomasse der Rotatorien wurde nach RUTTNER-KOLLISKO (1977) als Frischgewicht bestimmt. Die Determination der Rädertiere erfolgte nach KOSTE (1978). In dieser Arbeit beziehen sich alle Angaben zur Biomasse oder Abundanz auf 1  $\text{m}^3$  Wasser.

Die mittlere Konzentration eines Parameters wird berechnet, damit Gewässer mit unterschiedlichen Wasservolumina verglichen werden können.

Zur Berechnung des Gesamt-Inhaltes eines Parameters im Gewässer wird die Konzentration des Parameters einer Tiefenschicht mit dem jeweiligen Schichtvolumen multipliziert und anschließend der Inhalt der einzelnen Tiefenschichten addiert.

Um Gewässer mit unterschiedlichem Volumen vergleichen zu können, wird der Gesamtinhalt eines Parameters durch das Gesamtvolumen des Gewässers dividiert. Daraus ergibt sich eine

mittlere volumsgewichtete Konzentration, die herrschen würde, wäre der Parameter gleichmäßig im Gewässer verteilt.

Die Einteilung der Trophieklassen folgt der ÖNORM 6231:2001 (Tab. 4).

## Limnologische Entwicklung

### Temperatur

Von allgemeiner Bedeutung sind die thermischen Dichteunterschiede des Wassers. Seine größte Dichte hat Wasser bei 4 °C, kühleres und wärmeres Wasser ist leichter und hat einen beträchtlichen Auftrieb. Diese Dichteanomalie des Wassers (Dichtemaximum oberhalb des Gefrierpunktes) ist dafür verantwortlich, dass das Tiefenwasser eines Sees nicht kühler als 4 °C ist und Gewässer immer von der Oberfläche her zufrieren. Aufgrund der Sonneneinstrahlung im Jahresrhythmus erwärmt sich die oberflächenschicht des Wassers. Durch die geringe Dichte des warmen Wassers bildet sich eine Schichtung im See aus, die im Sommer sehr stabil ist. Obenauf liegt das warme, leichte Wasser, am Seegrund das kalte, schwere Wasser. Zwischen den beiden Schichten bildet sich die sogenannte Sprungschicht, das Metalimnion, aus. Das Metalimnion ist durch einen besonders steilen Temperaturgradienten (mehr als 1 °C Temperaturabfall je Meter) gekennzeichnet.

Der Wasserkörper über dem Metalimnion wird als Epilimnion, der darunter als Hypolimnion bezeichnet. Die Phase der strengen thermischen Schichtung eines Sees wird auch „Sommerstagnation“ genannt. Die Schichtung verhindert einen vertikalen Wasseraustausch und damit die Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers. Die Seen unserer Breiten werden zweimal im Jahr,

im Frühjahr und im Herbst bei niedrigen Temperaturen (Homothermie des Wasserkörpers bei 4 °C), durchmischt. Auslösende Kraft für die Zirkulationen ist der Wind, der von der Oberfläche her den gesamten Wasserkörper umwälzt. Mit der Zirkulation wird Sauerstoff in die Tiefe verfrachtet. Reicht die Kraft des Windes nicht aus, Zirkulationen bis zum Grund eines Sees zu erzeugen, bildet sich naturgegeben eine sauerstofffreie und nährstoffreiche Tiefenschicht - das Monimolimnion. Die Temperatur des Monimolimnions ist in der Regel auch während der Zirkulation, da nicht von ihr betroffen, etwas wärmer (ca. 5 °C) als die des Mixolimnions (zirkulierender Wasserkörper: 4 °C).

Während der Sommermonate Juni bis August erreichte die Oberfläche des Goggausees in nahezu allen Jahren des Untersuchungszeitraumes

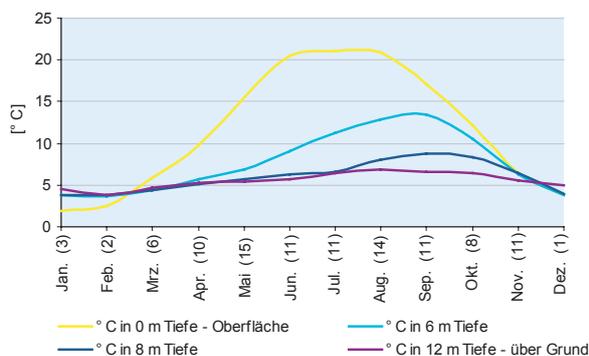


Abb. 2: Mittlere Temperaturen [°C] der Tiefenstufen: 0 m, 6 m, 8 m und 12 m im Jahresverlauf über den Zeitraum von 1978 bis 2002.

Temperaturen über 20 °C. Abbildung 2 stellt den jährlichen Temperaturverlauf im Mittel seit 1978 an der Oberfläche, in 6 und 8 m Tiefe sowie über Grund dar. Durchschnittlich beträgt im Sommer die Temperatur an der Wasseroberfläche zwischen 20 und 21 °C. An der unteren Grenze des Epilimnions (0 bis 6 m) erwärmt sich das Wasser erst im September auf durchschnittlich 13 °C und in 8 m Tiefe auf rund 9 °C. Entsprechend dem meromiktischen Charakter des Sees zeigt die grundnahe Wasserschicht im Jahresverlauf eine geringe und langsame Änderung der Temperatur. Die Werte reichen im Mittel von 3,8 °C im Februar (Anzahl der Messungen: 2) bis 6,9 °C im August (Anzahl der Messungen: 14). Dies deutet auf einen kontinuierlichen Wasseraustausch zwischen Epi-, Hypo- und Monimolimnion hin. Am Ende des Sommers kühlt der durchmischte

Wasserkörper sehr rasch ab, sodass bereits im November bis etwa in 10 m Tiefe annähernd Temperaturgleiche (ca. 5,5 °C) herrscht. Während der durchmischte Wasserkörper im Laufe der Wintermonate eine weitere Abkühlung (3,9 °C) erfährt, bleibt der Wasserkörper unterhalb von 10 m im Dezember und im Jänner, mit mehr als 4,5 °C, wärmer. Diese wärmere Wasserschicht über Grund belegt die Meromixis. Im Februar ist ab rund 2 m Tiefe bis zum Grund eine Temperaturgleiche vorhanden, deren Entstehung nicht als Folge einer tiefreichenden Zirkulation, sondern als Folge von Ausgleichsströmungen zwischen Wasserkörpern unterschiedlicher Temperatur anzusehen ist. An der Oberfläche des Goggausees bildet sich zwischen Dezember und Jänner regelmäßig eine Eisdecke aus, die in manchen Jahren bis Mitte April bestehen bleibt.

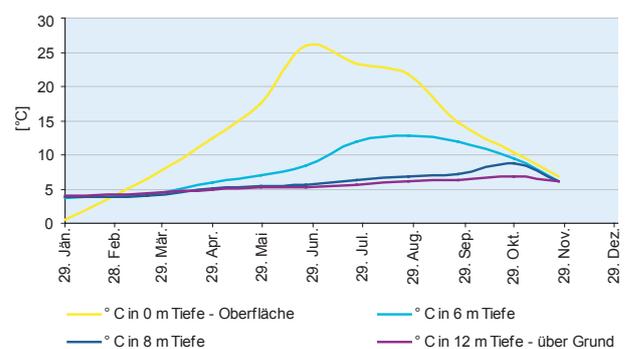


Abb. 3: Temperaturen [°C] der Tiefenstufen: 0 m, 6 m, 8 m und 12 m zu den Einzelterminen des Jahres 2002.

Die überdurchschnittlich hohen sommerlichen Lufttemperaturen des Jahres 2002 spiegeln sich in den oberflächlichen Wassertemperaturen des Goggausees wider (Abb. 3). Im Juni wurde an der Oberfläche eine Wassertemperatur von 25,9 °C gemessen, die deutlich über dem langjährigen Durchschnitt lag. Im August betrug die Temperatur in 6 m Tiefe entsprechend dem langjährigen Mittel maximal 13 °C (vergleiche Abb. 2). In 8 m Tiefe erwärmte sich das Wasser langsamer und ein Temperaturmaximum von rund 9 °C wurde erst im Oktober bei einer oberflächlichen Abkühlung (auf ca. 10 °C) erreicht. Die Wassertemperatur stieg über Grund von Jänner bis Oktober kontinuierlich von 5,9 auf 6,5 °C an. Im Jänner war eine 30 cm dicke Eisdecke ausgebildet, von der im März im südwestlichen Seeteil noch Reste erhalten waren. Eine nicht

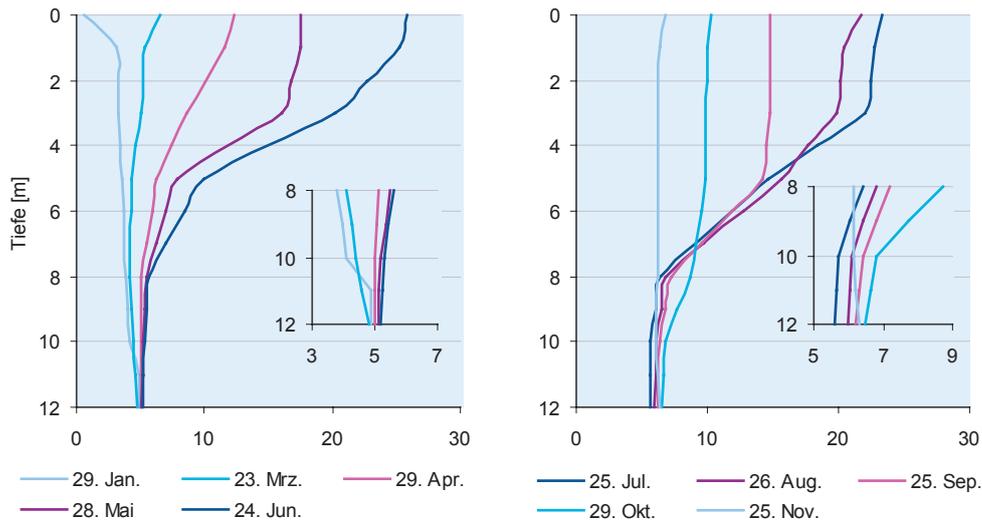


Abb. 4: Tiefenprofile der Wassertemperatur [°C] im Jahr 2002 (Detail: Wassertemperatur zwischen 8 m und 12 m).

tragende Eisdecke verhinderte auch im Dezember 2002 eine Probenahme.

Betrachtet man die Temperatur an den einzelnen Terminen des Untersuchungsjahres 2002 im Tiefenprofil (Abb. 4), so zeigt sich eine strenge Temperaturschichtung während der Sommermonate (Stagnationsphase) sowie eine Aufhebung der Temperaturschichtung von Jänner bis März und Oktober bis November. Ein gesonderter Blick auf die Entwicklung der Temperaturänderung im Wasserkörper unterhalb von 8 m zeigt, dass im Jänner zwischen 10 und 12 m die Temperatur von 4,1 auf 4,9 °C zunimmt (Abb. 4 links). Selbst im März ist (trotz ca. 20 % Eisbedeckung) von 10 auf 12 m noch ein leichter Temperaturanstieg gegeben. Im Jahresverlauf steigt die grundnahe Temperatur von 4,9 im Jänner auf 6,5 °C im Oktober an. Im November herrscht in der gesamten Wassersäule Temperaturgleichheit bei rund 6,2 °C. Von besonderem Interesse ist die Wasserschicht von 10 auf 12 m Tiefe. Hier kann angenommen werden, dass während der Zirkulation kälteres Wasser aus höheren Schichten bis in diese Tiefe gelangt ist. Aufgrund des Temperaturverlaufes hat im Jahr 2002 im Herbst eine Vollzirkulation stattgefunden, was für einen meromiktischen See bemerkenswert ist.

## Sichttiefe

Die geringe Durchlässigkeit für den Blauanteil des Lichtes deutet darauf hin, dass der Goggaussee ein Braunwassersee ist (FINDENEGG 1963, DOKULIL 1975). Solche Seen besitzen von Natur aus relativ geringe Sichttiefen. Schon FINDENEGG (1963) maß an mehreren Terminen in den Jahren 1961 und 1962 nur Sichttiefen zwischen 1,5 und 3,2 m. Die Sichttiefe zeigt seit 1978 eine kontinuierliche Abnahme. Wurde 1978 noch eine „Rekordsichttiefe“ von 5,3 m gemessen, so beträgt die maximale Sichttiefe im Jahr 2003 nur mehr 2,5 m (Abb. 5). Die geringste Sichttiefe ist am 23. September 2003 mit nur 50 cm gemessen worden. Der Grund war eine Algenblüte von *Anabaena danica* (Cyanophyceae).

Neben der schwachen Durchlässigkeit für Blau ist auch der hohe Phytoplanktongehalt maßgebend für die geringe Sichttiefe (DOKULIL 1975). Abbildung 6 zeigt den direkten Zusammenhang

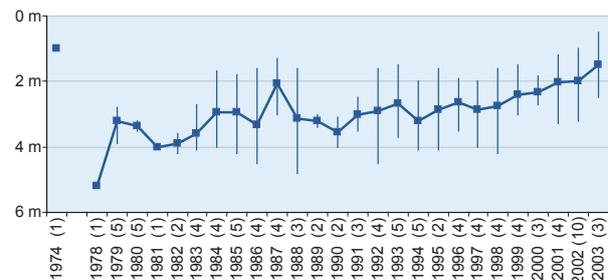


Abb. 5: Jahresmittel der Sichttiefen [m] im Zeitraum von 1974 bis 2003 mit Minimal- und Maximalwerten (n = Anzahl der Messungen pro Jahr).

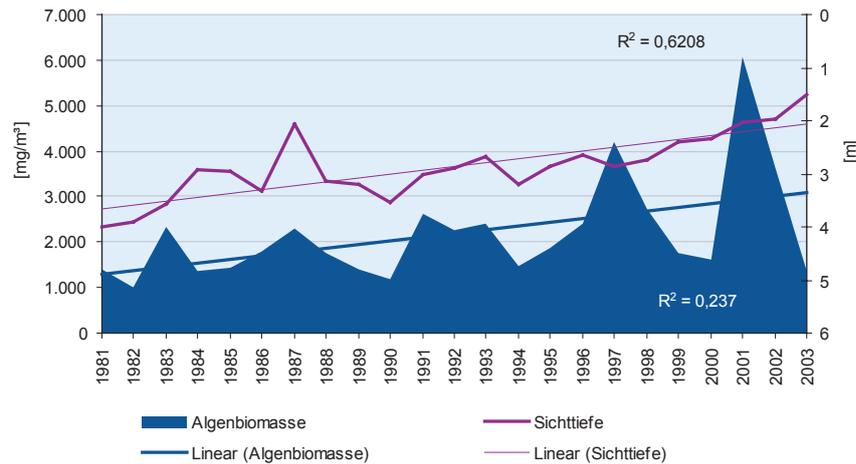


Abb. 6: Korrelation zwischen Sichttiefe [m] und epilimnischer Biomasse [mg/m³] im Zeitraum von 1981 bis 2003.

zwischen der Abnahme der Sichttiefe und der zunehmenden Phytoplankton-Biomasse seit 1981. 1981 ist das Jahr, in dem tieferreichende Zirkulationen einsetzten, die die interne Düngung verstärkten, indem mehr Nährstoffe nach oben verfrachtet wurden. Neben dem absoluten Gehalt an Phytoplankton-Biomasse spielt der relative Anteil der unterschiedlich großen Algenarten eine Rolle für die Änderung der Sichttiefe. Stellen kleine Algenarten einen großen Anteil an der gesamten Algen-Biomasse, beeinflussen sie die Sichttiefe (Trübung des Wassers) stärker als größere Algen mit der selben Biomasse.

Die hohe Beprobungsdichte im Schwerpunktjahr 2002 verdeutlicht diesen Zusammenhang (Abb. 7). Zu Jahresbeginn beträgt die Sichttiefe 1,8 m. Da die Messung unter Eis stattfand (die Eisschicht betrug 30 cm und die darüber liegende Schneesicht 7 cm) kann dieser Wert nicht mit den anderen Sichttiefen verglichen werden. Im März beträgt die Sichttiefe 2,5 m. Die Algengemeinschaft setzt sich zu diesem Termin hauptsächlich aus großen und mittelgroßen Vertretern der Gattungen *Fragilaria*, *Peridinium*, *Gymnodinium* und *Cryptomonas* zusammen. Obgleich die Algenbiomasse im April, bei annähernd gleicher Artzusammensetzung, eine leichte Abnahme zeigt, ist auch die Sichttiefe rückläufig und nimmt auf 1,7 m ab. Selbst im Mai, als aufgrund der sehr geringen Schwebalgenkonzentration eigentlich schon ein Klarwasserstadium und damit verbunden eine Zunahme der Sichttiefe zu erwarten gewesen wäre, liegt die Sichttiefe noch immer bei 1,9 m. Vermutlich haben Niederschlagsereignisse durch den Eintrag feinsten Partikel zu einer Trübung beigetragen. Ein verstärkter Zufluss

aufgrund der Schneeschmelze ist zumindest im Mai nicht mehr zu erwarten. Eventuell stehen die durch die intensive Assimilationstätigkeit der Algen im Epilimnion und der Makrophyten im Uferbereich (biogene Entkalkung - autochtone Calcitfällung) anfallenden feinen, im Wasser schwebenden Kalkkristalle im Zusammenhang mit der Sichttiefenabnahme.

Im Juni ist mit einer Sichttiefe von 3,2 m das Maximum erreicht. Bereits im Juli hat die Sichttiefe wieder um 1 m abgenommen. Im August beträgt sie nur mehr 1,8 m und im September ist das Jahresminimum von 1 m zu messen. Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, korreliert die Abnahme der Sichttiefe im Spätsommer mit der Zunahme von *Anabaena danica* (Cyanophyceae), die im September eine Algenblüte bildet. Mit dem Rückgang von *Anabaena* im Oktober steigt auch die Sichttiefe auf 2,2 m an und beträgt im November wieder 1,5 m.

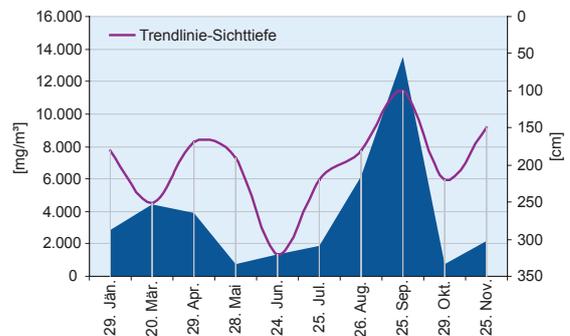


Abb. 7: Sichttiefe [m] im Jahr 2002 im Vergleich zur Entwicklung der Algen-Biomasse [mg/m³] im Wasserkörper 0 bis 3 m.

## Sauerstoff

Zur Darstellung der Sauerstoffverhältnisse wurde für jedes Jahr die Frühjahrs-, die Herbstzirkulation und der Zeitpunkt der stärksten Zehrung gegen Ende der sommerlichen Stagnationsphase herangezogen. Der Zeitpunkt der Frühjahrszirkulation ist geeignet, um die Sauerstoffverhältnisse zu Beginn der Vegetationsperiode zu beschreiben und gibt Auskunft über die Ausdehnung des durchmischten Wasserkörpers (Voll- oder Teilzirkulation). Mit der herbstlichen Vollzirkulation kommt es zur Auflösung des Sauerstoffgradienten, der während der Sommerstagnation entstanden ist. Damit ist die Erhöhung des Redoxpotentials und die Fixierung des Phosphors im Sediment verbunden. Der Zeitpunkt am Ende der Stagnationsphase ist geeignet, um die Menge an abbaubarer organischer Substanz in der Tiefe zu beurteilen. Der bakterielle Abbau von organischem (pflanzlichem und tierischem) Material findet unter Verbrauch von Sauerstoff statt, dies kann bis zum Sauerstoffschwund führen. Sauerstofffreie Bereiche in der Tiefe am Ende einer Stagnationsphase sind ein Charakteristikum von Gewässern mit hohen Nährstoffgehalten und hoher Biomasseproduktion. Sauerstofffreie Bereiche in der Tiefe entstehen aber auch aufgrund des Fehlens von Vollzirkulationen, wie es für meromiktische Seen typisch ist.

Der Goggausee ist unter den meromiktischen Seen Österreichs der kleinste und seichteste (FINDENEKG 1963, LÖFFLER 1975). Aufgrund fehlender bzw. seltener Vollzirkulationen ist die Tiefenschicht des Goggausees fast ständig sauerstofffrei (Monimolimnion). Im Eplimnion können hingegen, bedingt durch die hohe Assimilationstätigkeit der photoautotrophen Pflanzen, hohe Sauerstoffkonzentrationen auftreten. Ein Spitzenwert wurde am 29. April 2002 mit 18,8 mg/l in 3 m Tiefe erzielt. Dies entspricht einer Sättigung von 180 %.

Im Zeitraum von 1974 bis 2003 wurde anhand der Temperaturprofile zumeist im März und November eine Temperaturgleiche (Homothermie) festgestellt (siehe Kapitel „Temperatur“). Weiters wurde beobachtet, dass bei günstigen Bedingungen (Wind als Motor für die Zirkulation) Sauerstoff bis in grundnahe Schichten verfrachtet wurde.

Die Termine zur Darstellung der Sauerstoff-situation während der Frühjahrs- und Herbstzirkulation wurden nach einer Temperaturdifferenz kleiner 3 °C in der Wassersäule und einer Oberflächentemperatur über 2 °C selektiert.

Abbildung 8 stellt die ausgewählten Sauerstoffprofile im Goggausee während der Frühjahrs-

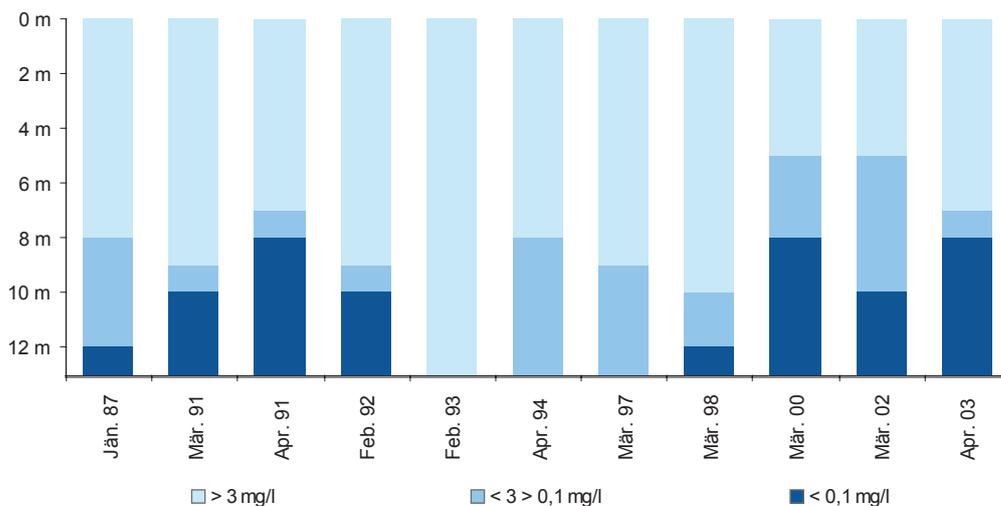


Abb. 8: Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees zur Zeit der Frühjahrs- und Herbstzirkulation (dT < 3 °C, T<sub>min</sub> > 2 °C) im Zeitraum von 1987 bis 2003.

zirkulation dar. Es zeigt sich, dass der See, entsprechend seinem meromiktischen Charakter, während dieser Phase an 8 der 11 untersuchten Termine über Grund sauerstofffrei ist. Zumeist lag die Sauerstoffgrenze zwischen 8 und 10 m. Am 10. Februar 1993 allerdings war eine Vollzirkulation mit einem Sauerstoffgehalt von 5,1 mg/l über Grund zu beobachten. Im April 1994 und im März 1995 traten ebenfalls Vollzirkulationen auf, die Sauerstoffwerte über Grund lagen knapp unter 1 mg/l.

Abbildung 9 spiegelt die Sauerstoffsituation im Tiefenprofil während der Herbstzirkulation wider. Ähnlich wie im Frühjahr war der Goggausee an 7 der 11 dargestellten Termine über Grund sauerstofffrei. Die Sauerstoffgrenze lag zwischen 8 und 12 m. Am 24. November 1997 und am 22. November 1999 wurden Vollzirkulationen mit grundnahen Sauerstoffgehalten von 5,5 bzw. 4,1 mg/l registriert, im November 1996 und 2001 wurden 0,3 bzw. 1,2 mg/l gemessen. Am 10. November 1998 war

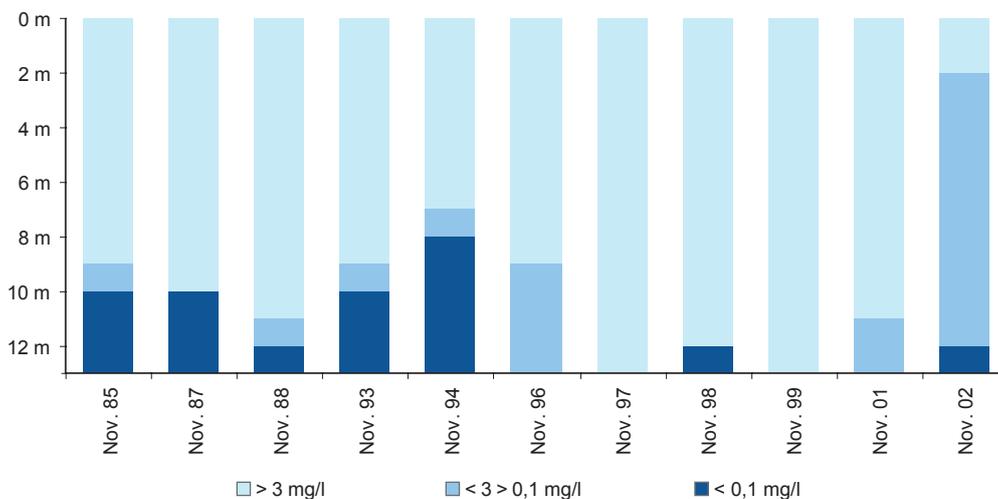


Abb. 9: Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees zur Zeit der Herbsttemperaturgleiche ( $dT < 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{min}} > 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) im Zeitraum von 1985 bis 2002.

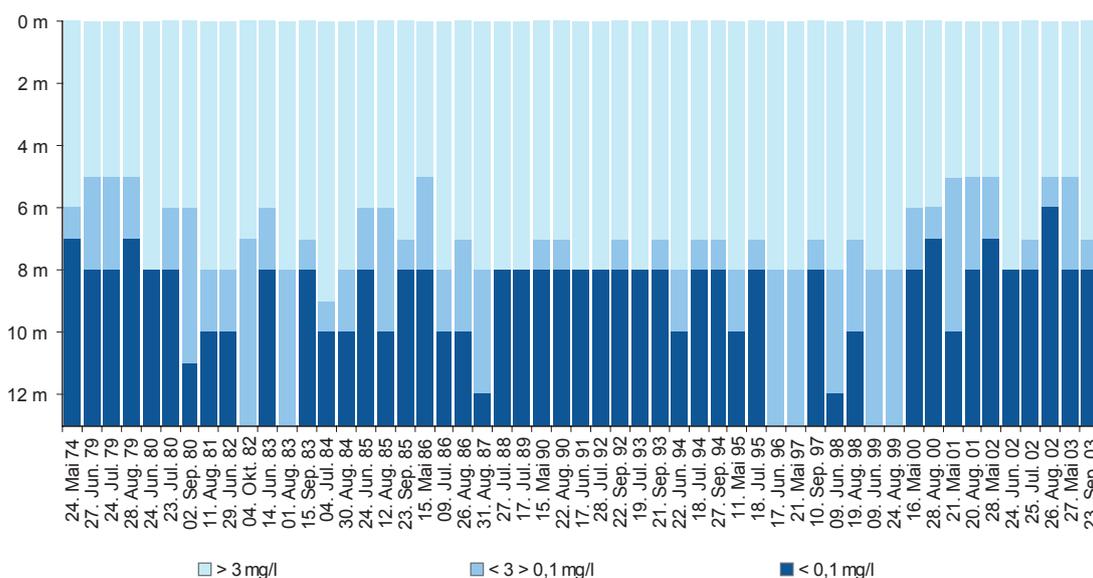


Abb. 10: Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees an Terminen mit Temperaturschichtung ( $dT > 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) im Zeitraum von 1974 bis 2003.

im Goggausee eine bemerkenswerte Sauerstoff-situation. Mit 7,2 mg/l war in 10 m Tiefe die Sauerstoffkonzentration vergleichsweise sehr hoch. In 12 m Tiefe aber war der Sauerstoff völlig aufgezehrt. Der in 12 m ankommende Sauerstoff wurde rasch durch mikrobiologische und chemische Fällungsreaktionen verbraucht (Eisenphosphat-Fällung, anaerobe Nitratammonifikation).

Für die Beschreibung der Stagnationsphase wurden jene Termine selektiert, an denen der Temperaturunterschied in der Wassersäule über 10 °C lag. Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, dass die Sauerstoffgrenze, mit wenigen Ausnahmen, zwischen 8 und 10 m Tiefe lag. Gelegentlich (1982, 1983, 1996, 1997 und 1999) war jedoch auch während der Stagnationsphase eine tieferreichende Sauerstoffversorgung festzustellen. Mit wenigen Ausnahmen war während des gesamten Beobachtungszeitraumes von 1974 bis 2003 während der sommerlichen Stagnationsphase ein anaerober Bereich über Grund bis meist 8 m Tiefe ausgebildet. Dass gelegentlich über Grund Sauerstoff vorhanden war, kann auf die Witterung (starker Regen und Sturm) oder auf eine geringe Biomasseproduktion zurückzuführen sein. Wobei letzteres aufgrund der relativ hohen Algenbiomasse in den entsprechenden Jahren (siehe Kapitel „Phytoplankton“) nicht vorstellbar ist.

Abbildung 11 zeigt die Entwicklung der Sauerstoffkonzentration vor und während der herbstlichen Temperaturgleiche im Vergleich zwischen dem holomiktischen Hafnersee (1974) und dem meromiktischen Goggausee (2002). Im August (schwarz) starteten beide Seen mit annähernd gleichem Kurvenverlauf. Die Sauerstoffkonzentrationen beider Seen lagen bis in 3 m Tiefe über 10 mg/l. Ein sauerstofffreier Bereich war im Goggausee ab 5 m und im Hafnersee ab 7 m ausgebildet.

Im September (hellblau) war im Goggausee eine stärkere Abnahme der Sauerstoffkonzentration in den ersten 3 m festzustellen. Im Oktober (dunkelblau) lag im Goggausee die Sauerstoffgrenze bei rund 8 m, während im Hafnersee geringe Sauerstoffmengen bis zum Grund gelangten. Ein großer Unterschied in der vertikalen Sauerstoffsichtung der beiden Seen war im November (lila) ausgebildet. Im Goggausee nahm die Sauerstoffkonzentration im Epilimnion weiter ab, sodass in den ersten 3 m weniger als 4 mg/l Sauerstoff gemessen wurden, während es im Hafnersee zu einer Zunahme kam. Besonders in der Tiefe wird der Unterschied zwischen dem meromiktischen Goggausee und dem holomiktischen Hafnersee ersichtlich. Im Hafnersee bringt die herbstliche Vollzirkulation ausreichend Sauerstoff bis zum Grund, welcher für die Phosphatbindung im Sediment und für die unter

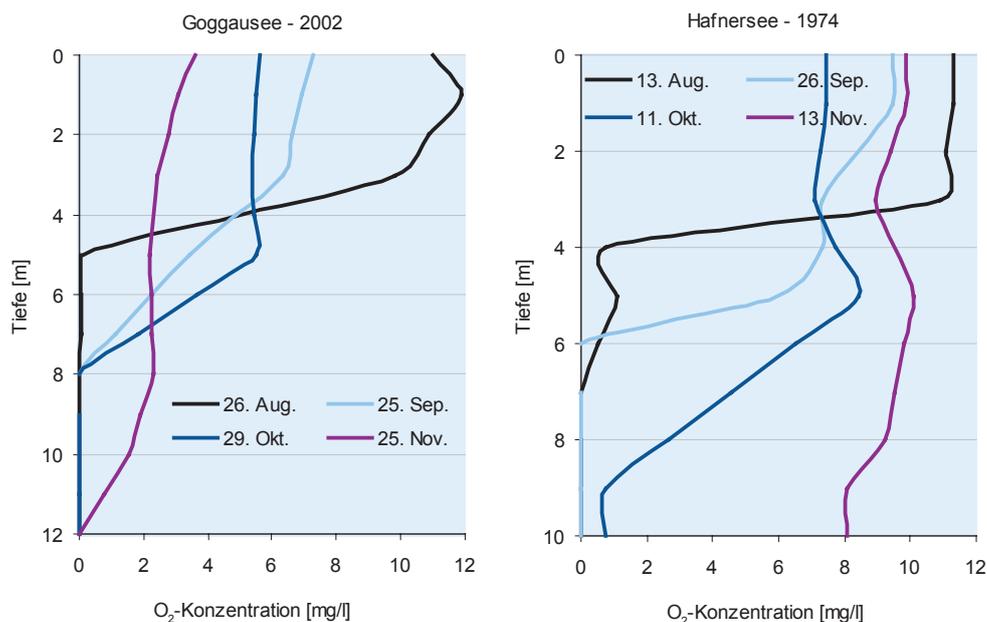


Abb. 11: Vergleich der jahreszeitlichen Entwicklung der Sauerstoffkonzentration [mg/l] im Tiefenprofil zwischen Goggausee (2002) und Hafnersee (1974).

aeroben Bedingungen stattfindenden Abbauprozesse von Bedeutung ist. Der Goggausee zeigte im Jahr 2002 eine tieferreichende Durchmischung (die bodennahe Schicht blieb jedoch sauerstofffrei), was dazu führte, dass sauerstoffzehrende Abbauprozesse einen geringen Sauerstoffgehalt bis ins Epilimnion (zwischen 0 und 4 mg/l) verursachten.

Über die Faktoren, die zur Aufrechterhaltung des Monimolimnions führen, gibt es mehrere Ansichten. Unklar ist, warum von Zeit zu Zeit doch Durchmischungen bis zum Grund auftreten.

Wie bereits im Kapitel „Allgemeine Beschreibung“ besprochen, wird die windgeschützte Lage des Goggausees als ausreichendes Argument für die Meromixis von BERGER (1975) bezweifelt. Ein möglicher Faktor ist die hohe Biomasseproduktion, die schließlich zu großen Mengen an organischem, reduzierendem Material führt, sodass eine sauerstofflose Tiefenzone entsteht, die autochton und biogenen Ursprungs ist.

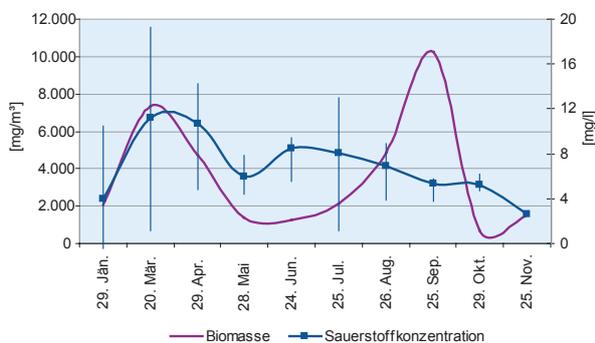


Abb. 12: Mittlere Sauerstoffkonzentration [mg/l] mit Minimal- und Maximalwerten und Algen-Biomasse [mg/m<sup>3</sup>] im Epilimnion (0 bis 6 m) des Goggausees im Jahr 2002.

Die Betrachtung der epilimnischen Sauerstoffkurve im Verlauf des Schwerpunktjahres zeigt eine kontinuierliche Abnahme nach der Frühjahrszirkulation (Abb. 12). Während in anderen meromiktischen Seen mit der Herbstzirkulation der Sauerstoffgehalt im Epilimnion ansteigt, bleiben im Goggausee sauerstoffzehrende Prozesse vorherrschend. Am 25. November des Jahres 2002 war aufgrund der Temperaturgleiche (Homothermie) ein Zirkulationsereignis festzustellen. Die epilimnische Biomasse des Phytoplanktons zeigte im Oktober

und im November ein Produktionsminimum und somit eine geringe Sauerstoffproduktion. Gleichzeitig befanden sich in Folge der Algen-Hochproduktion im September (vornehmlich von *Anabaena danica*) und dem anschließenden Zusammenbruch dieser Population, große Mengen an abbaubarer organischer Substanz im See, was eine massive Sauerstoffzehrung zur Folge hatte. Die deutliche Sauerstoffabnahme im Epilimnion lässt vermuten, dass mit der Zirkulation sauerstoffzehrende Abbauprozesse in die oberen Wasserschichten verfrachtet wurden und der erhöhte Sauerstoffverbrauch hier nicht kompensiert wurde.

Bemerkenswert sind die Sauerstoffprofile der einzelnen Untersuchungstermine im Jahr 2002 (Abb. 13). Zu Beginn des Jahres war bis zum Grund Sauerstoff messbar. An der Oberfläche betrug die Konzentration 8,8 mg/l, in 1 m halbierte sich der Gehalt und nahm bis zum Grund kontinuierlich auf 0,3 mg/l ab. Im März lag die Sauerstoffgrenze bei 10 m, im Mai bei 7 m. Am 24. Juni wurde in 3 m 10,3 mg/l Sauerstoff gemessen, die Sauerstoffgrenze lag bei 8 m.

Da zu diesem Zeitpunkt die Algenbiomasse mit durchschnittlich 1.233 mg/m<sup>3</sup> relativ gering ausgebildet war, scheinen externe Ereignisse (extreme Windverhältnisse) für den Anstieg der Sauerstoffkonzentration verantwortlich zu sein. Nach den Aufzeichnungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)) gingen in der Nacht vor dem Beprobungstermin in weiten Teilen Kärntens schwere Unwetter mit starken Niederschlägen und Hagel nieder. Daher kann angenommen werden, dass in Folge dieser Witterung mehr Sauerstoff bis in größere Tiefen verfrachtet worden ist. Im Juli waren in 5 m noch 7,7 mg/l Sauerstoff zu messen. Im August lag die Sauerstoffgrenze zwischen 5 und 6 m.

Bis Oktober wurde die Schicht mit Sauerstoffkonzentrationen über 3 mg/l wieder mächtiger und die Sauerstoffgrenze in 8 m zurückgedrängt. Im November konnte bei Temperaturgleiche bis knapp über Grund Sauerstoff nachgewiesen werden. Auffällig ist, dass im Epilimnion nur geringe Sauerstoffkonzentrationen (zwischen 3,6 und 2,2 mg/l) gemessen wurden. Vergleicht man dazu die Sauerstoffkurven des Novembers mehrerer

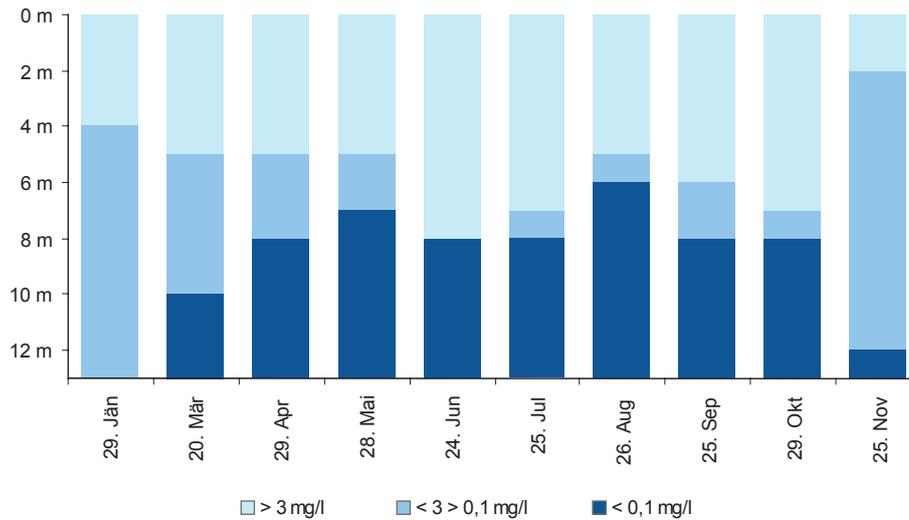


Abb. 13: Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausesees für das Jahr 2002.

Jahre, ist zu erkennen, dass niedrige Sauerstoffkonzentrationen im Epilimnion des Goggausesees keine Seltenheit sind. So traten in den Jahren 1985, 1988 und 2001 (Abb. 14) niedrige epilimnische Sauerstoffkonzentrationen auf, die sich bis zum Grund fortsetzten, sodass tief reichende Zirkulationen vorauszuschicken waren, in deren Folge abbaubares, sauerstoffzehrendes Material bis zur Seeoberfläche verfrachtet wurde. Zu diesen Terminen überwogen die sauerstoffzehrenden Prozesse den Sauerstoffeintrag.

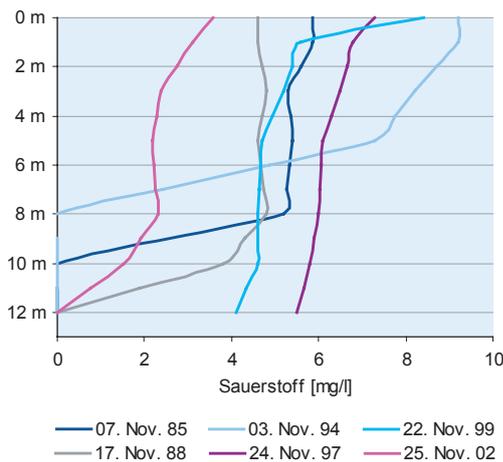


Abb. 14: Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausesees während der Herbstzirkulation (November) ausgesuchter Termine von 1985 bis 2002.

## Gesamt-Phosphor

Phosphor ist ein essentieller Nährstoff für die Primärproduzenten. Die Menge des pflanzenverfügbaren Phosphors (anorganisches Phosphat  $PO_4^-$ ) bestimmt in den Seen unserer Breiten das Algenwachstum. Der Phosphor ist insofern von Bedeutung, als er als Minimumfaktor ein Maß für die Eutrophierung darstellt. Der Gesamt-Phosphor setzt sich aus einer anorganischen und einer organisch gelösten Komponente sowie dem organisch gebundenen Phosphat zusammen.

Die Gesamt-Phosphor-Konzentration eines Sees hängt vom externen Nährstoffeintrag (Niederschlag, Oberflächenabschwemmung, Drainagen, Sickerwasser und Grundwasserzustrom), vom Zirkulationsverhalten des Sees und somit vom internen Stoffkreislauf ab. Phosphat kann aus dem Nährstoffkreislauf eines See eliminiert werden, da es sich an Sedimentteilchen anlagert oder mit Eisen reagiert und ausfällt. Im Sediment abgelagert stehen die Phosphorverbindungen für Algen und Wasserpflanzen nun nicht mehr zur Verfügung, zumindest solange, wie unmittelbar über dem Sediment Sauerstoff vorhanden ist. Dann nämlich bildet sich eine Art Barriere aus, durch die Phosphat nicht hindurch diffundieren kann. Herrscht dagegen über dem Seegrund ein Sauerstoffdefizit, was in meromiktischen sowie während der Sommerstagnation in nährstoffreichen Seen die Regel ist, kann das Phosphat aus dem Sediment zurück

ins Wasser diffundieren. Dieser Vorgang wird als „interne Düngung“ bezeichnet.

Zur grafischen Darstellung der Langzeitentwicklung des Gesamt-Phosphor-Inhaltes wurde der Wasserkörper von 0 bis 12 m und geteilt von 0 bis 6 m (Epilimnion) und 7 bis 12 m gewählt. Die Gesamt-Phosphor-Konzentration des Epilimnions (0 bis 6 m) und des Monimolimnions (7 bis 12 m) für das Jahr 2002 ist in Abbildung 17 gesondert dargestellt.

Entsprechend der ÖNORM M 6231 wird der Goggaussee, aufgrund der in Tabelle 5 angeführten Mittelwerte der gewichteten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen von rund 28 µg/m<sup>3</sup> während der Frühjahrs- und rund 26 µg/m<sup>3</sup> während der Herbstzirkulation, zu den schwach eutrophen Gewässern gezählt.

Die anthropogene Belastung des Goggauses ist aufgrund der wenigen Liegenschaften im Einzugsgebiet gering. In der Vergangenheit waren daher keine Eutrophierungsphasen, wie sie in den 1960er und 1970er Jahren an anderen Kärntner Seen (Wörthersee, Millstätter See oder Ossiacher See) auftraten, zu beobachten.

Abbildung 15 zeigt die Schwankungen des Gesamt-Phosphor-Inhaltes der letzten 25 Jahre

im Goggaussee. Ein eindeutiger Trend in Richtung Oligo- oder Eutrophie ist nicht zu erkennen. Das Jahresmittel betrug durchschnittlich 28 kg, wobei die Werte von 1978 bis 2003 zwischen 23 und 38 kg schwankten.

Aufgrund der Meromixis des Goggauses und der dadurch bedingten anaeroben Verhältnisse in den bodennahen Schichten, wird der Phosphor nicht im Sediment gebunden, sondern bleibt in Lösung. Gelangt der Phosphor in Schichten, in denen er für die Phytoplanktongemeinschaft verfügbar wird (euphotische Zone), wird er organisch gebunden („Kleiner P- Kreislauf“). Vor allem in seichten Seen, wie dem Goggaussee, in denen die euphotische Zone teilweise unter die Sauerstoffgrenze reicht, kommt es aufgrund der Assimilation der photoautotrophen Pflanzen zur Fixierung des gelösten Phosphors in der Biomasse. Der hohe Anteil partikulär gebundenen Phosphors ist somit nicht auf eine anthropogene Belastung zurückzuführen sondern auf Rücklöseprozesse aus dem Sediment. Als Folge ist eine verhältnismäßig geringe Anreicherung gelösten Phosphors in der Tiefe festzustellen (Abb. 16). Aus dem Jahr 2002 stehen 10 Termine für die Bewertung der Trophie zur Verfügung.

Tab. 5: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentrationen [µg/m<sup>3</sup>] im Mixolimnion (0 bis 7 m) im Zeitraum von 1974 bis 2003 (n = Anzahl der Termine).

Aspekt	Mittelwert	Minimum	Maximum	n
Frühjahrszirkulation	28,02	17,13	35,30	11
Herbstzirkulation	26,32	20,09	40,85	11

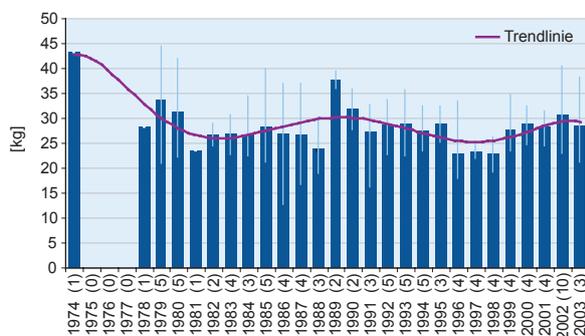


Abb. 15: Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

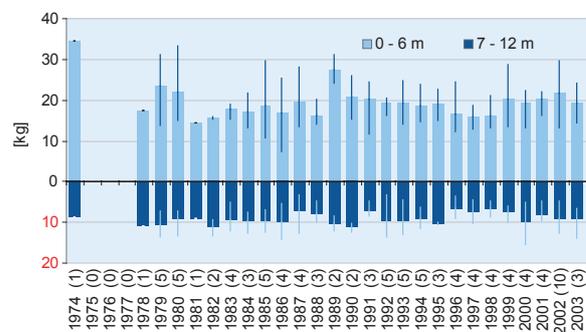


Abb. 16: Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] des Goggauses im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

Der Mittelwert von 32,2 mg/m<sup>3</sup> Gesamt-Phosphor (Tab. 6) weist den Goggaussee für das Jahr 2002 nach dem Bewertungsschema der ÖNORM M 6231 als an der Grenze zwischen schwach und stark eutroph stehend aus.

Im Epilimnion wurden die höchsten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen in den Monaten nach der Frühjahrszirkulation erreicht (Abb. 17). Der größte Mittelwert wurde im April mit rund 43 mg/m<sup>3</sup> errechnet. Am geringsten war die epilimnische Konzentration Ende Juli (19 mg/m<sup>3</sup>).

Im Monimolimnion, in der Wassersäule von 7 m bis zum Grund, sind die Konzentrationen fast doppelt so hoch wie im Epilimnion. Die mittlere Konzentration war im Juli mit 92 mg/m<sup>3</sup> am Höchsten. Die geringste Konzentration wurde im November mit rund 44 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Trotz der höheren

Konzentrationen in der Tiefe stellt der dort befindliche Gesamt-Phosphor hier aufgrund der morphologischen Struktur (Kegelform) im Mittel nur rund ein Drittel des im gesamten Wasserkörper befindlichen Gesamt-Phosphors dar.

Abbildung 18 zeigt die mengenmäßige Verteilung der Gesamt-Phosphor-Inhalte. Der Gesamt-Phosphor-Inhalt nimmt während ausgeprägter Stagnationsphasen (dT > 10 °C) in der Tiefe zu und im Epilimnion ab. Der Phosphor wird im Epilimnion in Biomasse gebunden. Mit dem Absinken der abgestorbenen Organismen wird Phosphor aus dem Epilimnion ausgetragen und in der Tiefe angereichert. Während der Temperaturgleiche im Frühjahr und im Herbst, mit dem Einsetzen einer tieferen Durchmischung, wird ein Teil dieser Menge wieder nach oben transportiert. Ein anderer Teil wird unter aeroben Bedingungen, wie

Tab. 6: Volumengewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentrationen [µg/m<sup>3</sup>] im Mixolimnion (0 bis 7 m) im Jahr 2002 (n = Anzahl der Termine).

Aspekt	Mittelwert	Minimum	Maximum	n
Jahresmittel 2002	32,20	22,31	43,08	10

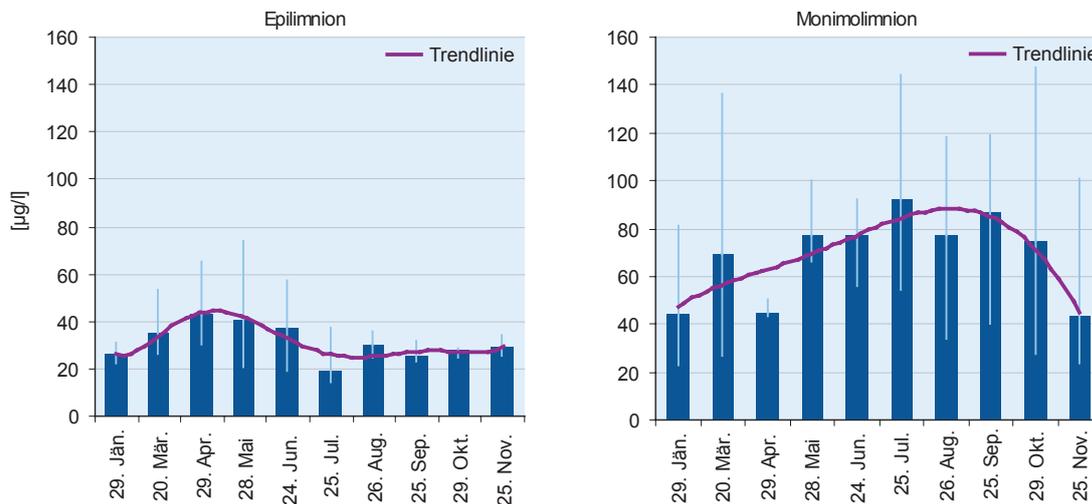


Abb. 17: Gesamt-Phosphor-Konzentration [µg/l] im Epilimnion (0 bis 6 m; Grafik links) und im Monimolimnion (7 bis 12 m; Grafik rechts); Mittel-, Minimal- und Maximalwerte im Jahr 2002.

sie im November 2002 bis in eine Tiefe von über 10 m geherrscht haben, im Sediment gebunden. (Abb. 18 oben links). Im Frühjahr, von Jänner bis Mai, ist im Epilimnion eine sukzessive Zunahme des Gesamt-Phosphor-Inhaltes zu bemerken (Abb. 18 links unten).

Dieser Anstieg kann durch einen Eintrag aus den angrenzenden, bewaldeten, steilabfallenden

Berghang im Osten und durch umliegende landwirtschaftliche Nutzflächen erklärt werden. Eine verstärkte Rücklösung aus dem Sediment des Goggausees, der in der Tiefe ständig anaerobe Bedingungen aufweist, ist in diesem Ausmaß nicht zu erwarten.

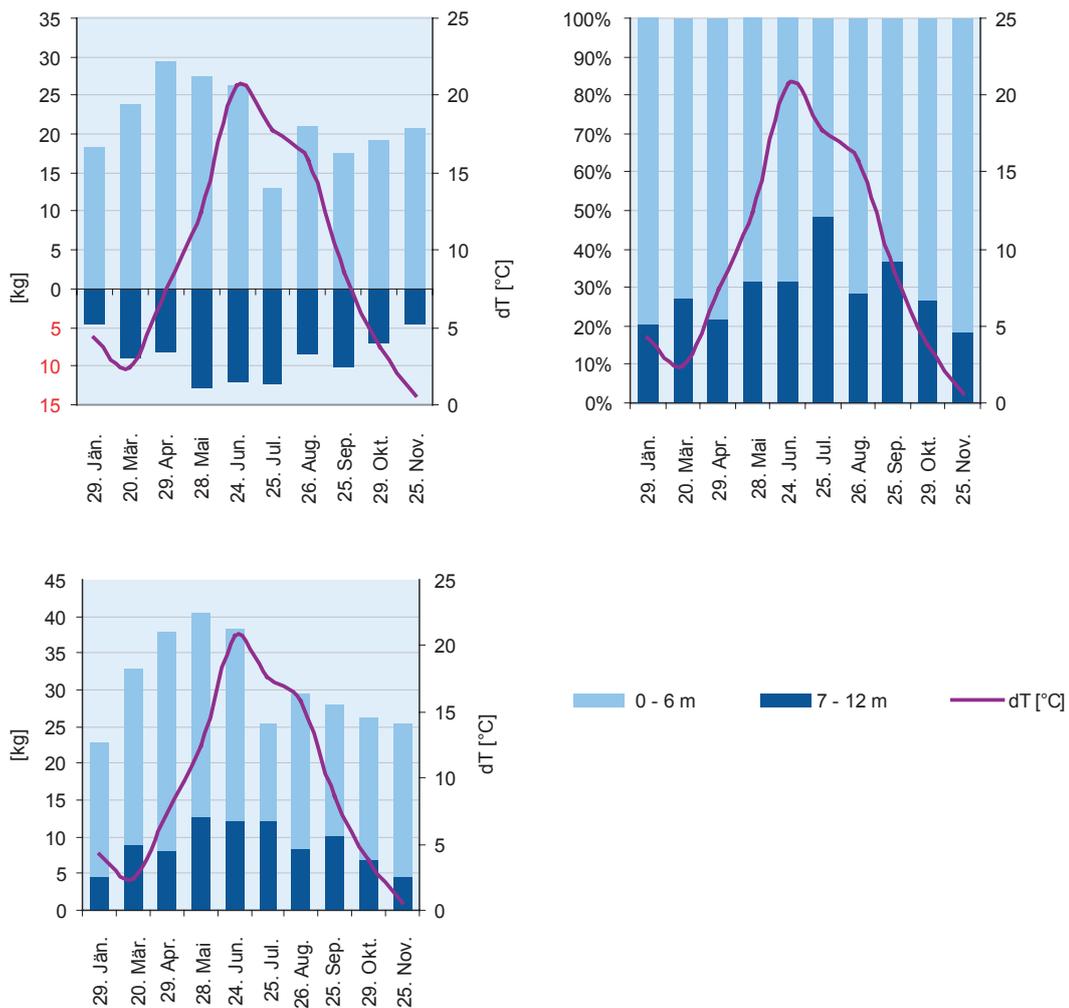


Abb. 18: Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m und mittlere Temperatur des Wasserkörpers von 0 bis 12 m [dT °C]; (oben links: absolut geteilt, oben rechts: relativ, unten links: absolut gesamt) im Jahr 2002.

## Orthophosphat-Phosphor

Im Goggaussee mit seiner hohen organischen Produktion wird anorganisches gelöstes Orthophosphat nur in sehr geringen Mengen (nahe der Bestimmungsgrenze) angetroffen, da es von den photoautotrophen Organismen sehr schnell organisch gebunden wird. Entsprechend gering ist auch der Gesamtinhalt an Orthophosphat, die Jahresmittel liegen zwischen 2 und 3,8 kg (Abb. 19).

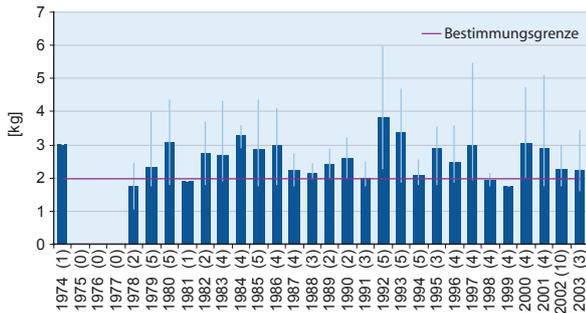


Abb. 19: Orthophosphat-P-Inhalt [kg] des Goggaussees im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

Der Orthophosphat-Phosphor-Inhalt des Epilimnions (0 - 6 m) zeigt im Jahresmittel geringere Schwankungen als die Jahresmittel im Wasserkörper von 7 m bis zum Grund (Abb. 20). Anzumerken ist an dieser Stelle, dass aufgrund der Bestimmungsgrenze von 0,002 mg/l bei der Berechnung ein Inhalt von 1,75 kg methodisch nicht unterschritten werden kann.

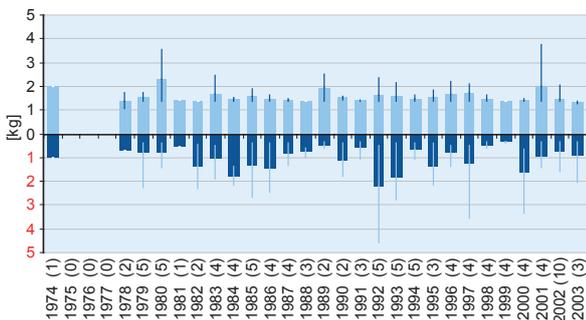


Abb. 20: Orthophosphat-P-Inhalt [kg] des Goggaussees im Wasserkörper von 0 bis 6 und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

## Ammonium-Stickstoff

Stickstoff (N) ist neben Kohlenstoff (C) und Phosphor (P) der wichtigste Pflanzennährstoff. Die wichtigsten anorganischen Stickstoffverbindungen im Gewässer sind Nitrat und Ammonium. Ammonium dient wie das Nitrat als Pflanzennährstoff, ist aber gleichzeitig ein Maß für den Abbau von organischer Substanz, da Ammonium bei Fäulnisprozessen (Abbau von tierischem und pflanzlichem Material) entsteht. Der Abbau erfolgt überwiegend in der Tiefe, über dem Seegrund. Steht hier genügend Sauerstoff zur Verfügung, wird Ammonium zu Nitrit und Nitrat oxidiert. In einem nährstoffarmen See ist die Menge an organischem Material so gering, dass dieses vollständig remineralisiert werden kann. Unter anaeroben Bedingungen wird Ammonium nicht weiter oxidiert und es kommt zu einer Anreicherung unterhalb der Sprungschicht.

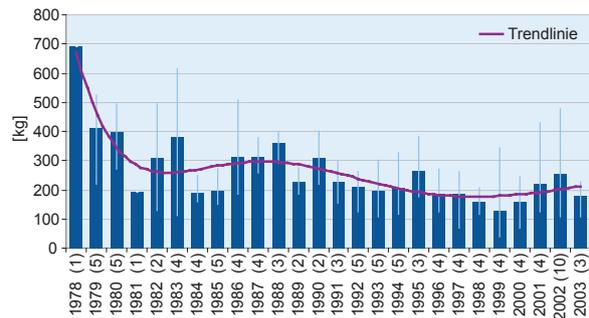


Abb. 21: Ammonium-N-Inhalt [kg] des Goggaussees im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

Entsprechend der relativ hohen Produktivität und des meromiktischen Charakters des Goggaussees sollte sich in der Tiefe Ammonium-N anhäufen. Tatsächlich lässt sich, zumindest während der Sommerstagnation, eine ausgeprägte Konzentrationszunahme von z. B. 100 mg/m<sup>3</sup> in 8 m auf 2.800 mg/m<sup>3</sup> in 12 m (August 2002) beobachten. Die Gesamtmenge an Ammonium-N im Wasserkörper ist entsprechend gering (Abb. 21). Die Jahresmittel schwanken zwischen rund 700 kg im Jahr 1978 und rund 130 kg im Jahr 1999. Die Werte des Jahres 1978 und 1981 basieren auf nur einer Messung im Jahr und sollten daher vorsichtig bewertet werden.

Die epilimnischen Jahresmittel der Konzentration bewegen sich zwischen 460 mg/m<sup>3</sup> im Jahr 1978 und 60 mg/m<sup>3</sup> im Jahr 1984. Das entspricht einem Ammonium-N-Inhalt von 305 bzw. 40 kg. Unterhalb von 6 m beträgt der Inhalt zwischen 390 und ca. 45 kg. Durchschnittlich befindet sich unter dem Epilimnion in etwa die 2,5fache Ammonium-N-Menge des Epilimnions (Abb. 22).

Vor allem unterhalb des Epilimnions zeigt sich, trotz aller Schwankungen eine Abnahme der Ammonium-N-Konzentration von 388 kg (1978) auf 129 kg (2003). Während das gleitende Mittel des Ammonium-N-Inhalts über 4 Perioden am Anfang des Untersuchungszeitraumes rund 300 kg beträgt, ergibt die Berechnung für die letzten 4 Perioden nur mehr rund 100 kg. Hingegen hat sich der Inhalt des Epilimnions - mit Ausnahme des rapiden Abfalls von 1978 auf 1979, der auf nur eine Messung (n = 1) zurückzuführen ist - nicht wesentlich verändert (Abb. 22). Der Rückgang des Gesamtinhaltes an Ammonium-N geht daher auf eine Abnahme in der Tiefe (Wasserkörper zwischen 7 und 12 m) zurück.

Das Einzugsgebiet des Goggauses wird landwirtschaftlich nur wenig genutzt, sodass keine nennenswerten Stickstoffeinträge zu erwarten sind. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die Abnahme des Ammonium-N-Inhaltes in der Tiefe, auf tieferreichende Zirkulationen, die zwischen 1995 und 2002 häufiger beobachtet wurden, zurückzuführen ist. Als Folge dieser Durchmischungsereignisse ist eine verstärkte organische Bindung von Stickstoff und Phosphor in einer ansteigenden Algenbiomasse zu beobachten.

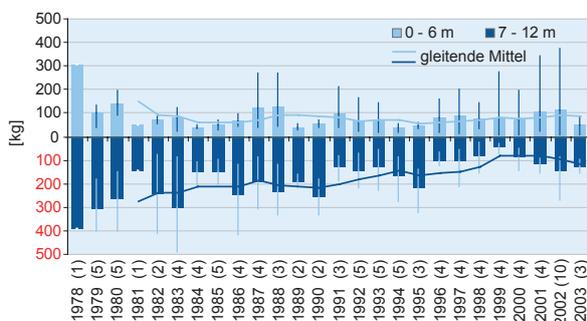


Abb. 22: Ammonium-N-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003 mit den gleitenden Durchschnittsungen über je 4 Perioden.

## Nitrat-Stickstoff

Nitrat-N ist in oligotrophen Gewässern mit ausreichender Sauerstoffversorgung immer in größeren Mengen vorhanden, in sauerstoffarmen hingegen kann Ammonium nicht zu Nitrat oxidiert werden. In Abbildung 23 wird die Nitrat-N-Konzentration des Goggauses von 1978 bis 2003 in geteilter Form (0 bis 6 m; 7 m bis Grund) und anschließend die Konzentrationen für den anorganischen Stickstoff getrennt als Nitrat-N und Ammonium-N im Vertikalprofil für das Untersuchungsjahr 2002 dargestellt (Abb. 24).

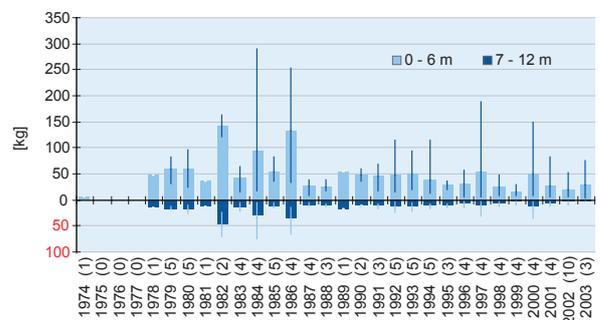


Abb. 23: Nitrat-N-Inhalt [kg] des Goggauses im Epilimnion (0 bis 6 m) und in der darunter liegenden Wassersäule (7 bis 12 m) (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.

Der Nitrat-N-Inhalt des Goggauses ist relativ gering. Die Werte schwanken im Untersuchungszeitraum zwischen 19 und 188 kg. Dies ist einerseits auf die hohe Produktivität des Phytoplanktons, welches den Nitrat-N organisch bindet und andererseits auf die Meromixis des Sees zurückzuführen. Aufgrund der Tatsache, dass das Tiefenwasser des Sees praktisch ständig sauerstofffrei ist, kann keine Nitrifikation von Ammonium zu Nitrit und weiter zu Nitrat stattfinden. Im langjährigen Vergleich zeigt sich tendenziell eine Abnahme des Gehaltes an Nitrat-Stickstoff (Abb. 23) im Epilimnion von 142 kg (1982) auf 29 kg (2003), die sich aus der Zunahme der Biomasse über diesen Zeitraum erklärt.

Abbildung 24 zeigt die Beziehung zwischen Nitrat-N- und Ammonium-N-Konzentrationen des Goggauses im Vertikalprofil für das Jahr 2002 dargestellt. Es zeigt sich, dass mit der Ausbildung der Temperaturschichtung es zu einer Anreicherung der Ammonium-N-Konzentration (max.

300 mg/l) ab ca. 6 m Tiefe kommt, während im darüber liegenden Wasserkörper die Konzentrationen bei 0,5 mg/l liegen. Während der Durchmischungsphasen (Jänner, Oktober und November) gelangt Ammonium aus der Tiefe in das Epilimnion, sodass hier die Konzentration auf maximal 53 mg/l (November) ansteigt. Ein wichtiger Motor für die Nitrifikation ist der Sauerstoff. Ist eine kritische Sauerstoffgrenze von etwa 3 - 4 mg/l erreicht, findet keine mikrobielle Oxidation von Ammonium

zu Nitrat mehr statt, und Ammonium reichert sich an. Dies war in den Monaten der Durchmischungsphasen im Jahr 2002 im Goggaussee zu beobachten. Nitrat- und Ammonium-N (760 bzw. 55 mg/l in 3 m Tiefe bei einem Sauerstoffgehalt von 2,4 mg/l) sind aufgrund einer intensiven Sauerstoffzehrung in hohen Konzentrationen im Epilimnion zu messen. Das Verhältnis Ammonium-N zu Nitrat-N lässt eine Durchmischung des Goggaussees bis mindestens 10 m Tiefe erkennen.

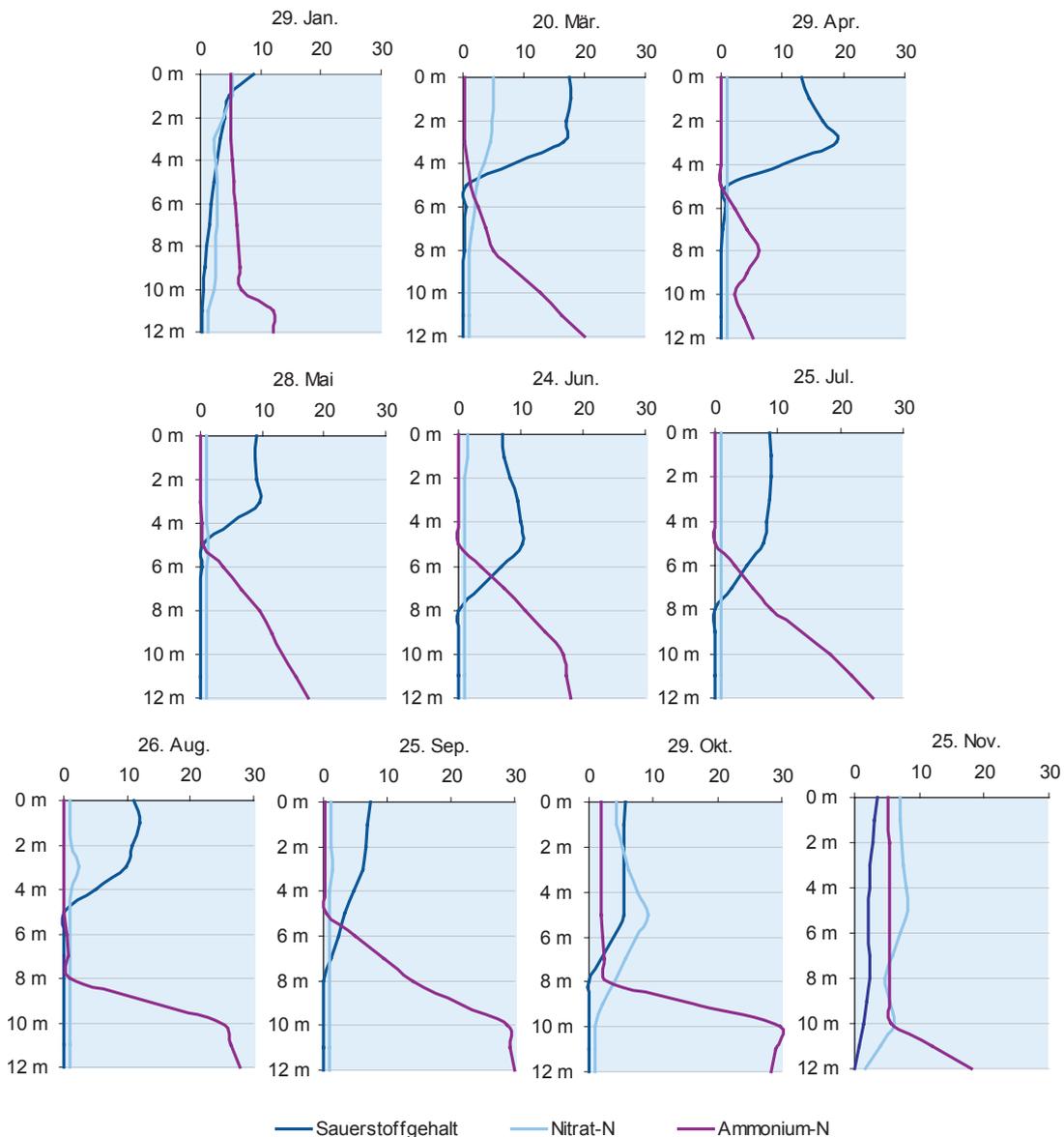


Abb. 24: Vertikalprofile der Konzentration der Parameter: Ammonium-N [mg/lx10], Nitrat-N [mg/lx100] und Sauerstoff [mg/l] des Goggaussees im Jahr 2002.

## pH-Wert

Der pH-Wert sagt aus, ob ein Gewässer neutral (pH = 7), sauer (pH < 7) oder basisch (pH > 7) ist. Ausschlaggebend für den pH-Wert ist der Gehalt an basischen Puffersubstanzen im Gestein des Einzugsgebietes. So haben Gewässer in Gebieten mit geringem Puffergehalt (kristallin) oft pH-Werte unter 7. Diese Gewässer sind entsprechend empfindlicher gegenüber saurem Regen.

Der pH-Wert im Goggausee liegt im Jahresmittel seit 1978 zwischen pH 6,9 und pH 7,8 (Abb. 25). Die Mittelwerte über die Wassersäule streuen zwischen 6,4 am 29. Juni 1982 und 8,5 am 27. April 1992. In Anbetracht der Tatsache, dass das Einzugsgebiet des Goggausees einen kalkarmen geologischen Hintergrund aufweist und die Pufferkapazität dementsprechend gering ist, wäre eher ein niedrigerer pH-Wert zu erwarten (unter pH 7). Einerseits wird der pH-Wert jedoch durch die hohe Produktion der photoautotrophen Pflanzen und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Assimilation erhöht. Andererseits könnten auch die mehrfach diskutierten Huminstoffe mit ihrer Pufferwirkung bei der Einstellung des pH-Wertes von Bedeutung sein.

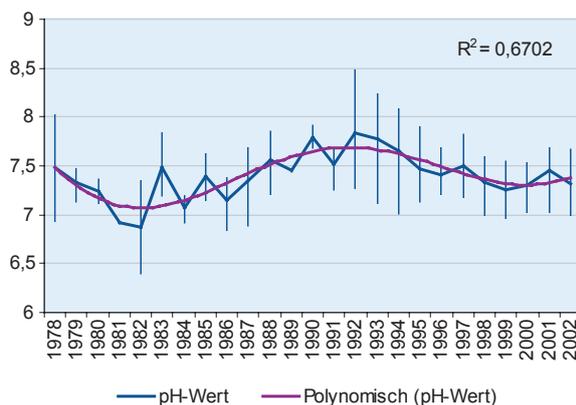


Abb. 25: pH-Werte des Goggausees im Zeitraum von 1979 bis 2002 (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte).

Abbildung 26 zeigt den Mittelwert, die Minima und die Maxima des pH-Wertes in den einzelnen Tiefenstufen berechnet aus allen Terminen im Zeitraum von 1979 bis 2003. Es wird deutlich, dass die obersten drei Meter im Jahreszyklus relativ starken pH-Wert-Änderungen unterliegen, die mit der Primärproduktion (Assimilation) korrelieren.

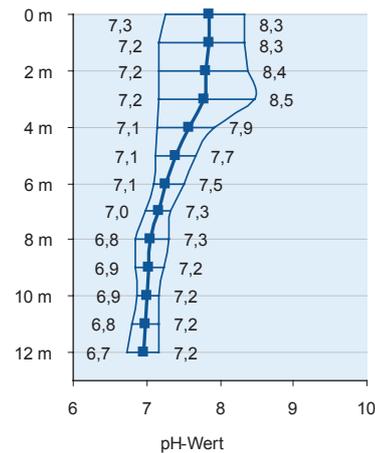


Abb. 26: Mittel des pH-Wertes der einzelnen Tiefenstufen im Zeitraum von 1979 bis 2003 mit Minimal- und Maximalwerten.

Die Abbildung 27 vergleicht die monatlichen Tiefenprofile des pH-Wertes des Jahres 2002 mit dem in Abbildung 26 dargestellten langjährigen Mittel. Im Jänner herrscht in der ganzen Wassersäule annähernd der gleiche pH-Wert (um pH 7). Im Laufe des Frühjahrs nimmt der pH-Wert in den obersten 3 m mit steigender Produktion der photoautotrophen Organismen sukzessive zu. Im Mai wird in 3 m Tiefe mit pH 8,5 der Höchstwert erreicht. Im Juni und Juli sinkt der Wert, bedingt durch die aufgrund der Lichthemmung geringeren Produktion auf rund pH 8. Im August ist ein leichter Anstieg auf ca. pH 8,2 zu verzeichnen. Danach nimmt der pH-Wert wieder kontinuierlich ab und zeigt im November wieder in der gesamten Wassersäule Werte zwischen pH 7,1 und pH 7,4.

Im Schwerpunktjahr 2002 zeigt sich im Frühjahr und im Sommer aufgrund der hohen Produktivität und der damit verbundenen hohen CO<sub>2</sub>-Assimilierungsrate gegenüber dem langjährigen Durchschnitt bis in 3 m Tiefe ein deutlich erhöhter pH-Wert. Während der Zirkulationsphasen entspricht der pH-Wert annähernd dem Durchschnitt. Die Tatsache,

dass von September bis November der pH-Wert, trotz des beschriebenen Massenauftritts von *Anabaena danica*, unterdurchschnittlich niedrig ist, untermauert die These, dass es sich hierbei um eine im Absterben begriffene Population handelt, deren Produktivität bereits entsprechend niedrig ist.

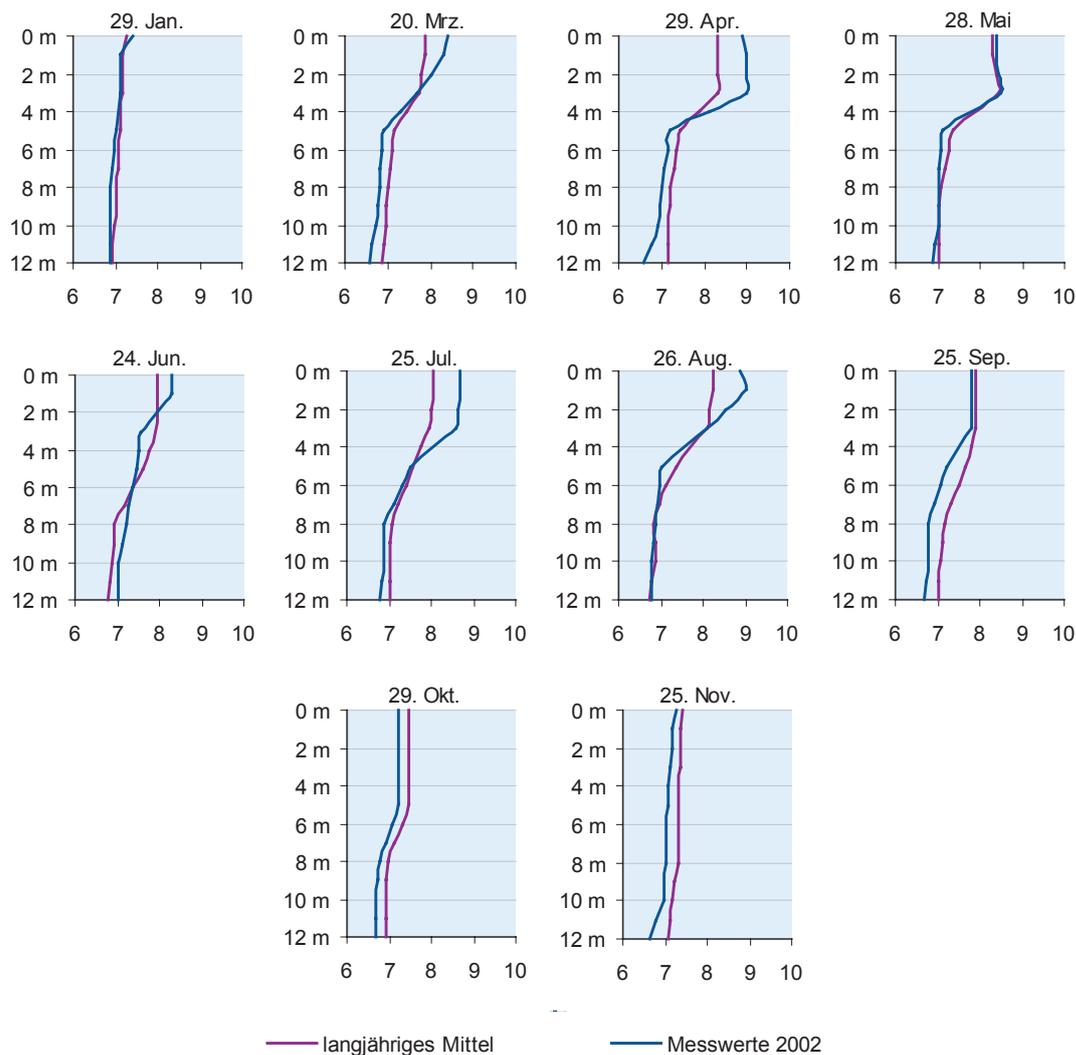


Abb. 27: Tiefenprofile des pH-Werts in den Monaten des Jahres 2002 (blau) im Vergleich mit dem langjährigen Mittel von 1974 bis 2003 (lila).

## Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Konzentration an gelösten Salzen. Eine höhere Salzkonzentration bedingt eine höhere Leitfähigkeit. Die Einheit für die Leitfähigkeit ist Micro-Siemens pro Zentimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Im Goggaussee ist die Leitfähigkeit im Kärntenvergleich unterdurchschnittlich gering und liegt im Mittel über alle Termine bei ca.  $180 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Der Vergleichswert über alle in der Umwelt-Datenbank (UDB) des Amtes der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 Umwelt erfassten Werte von 48 Kärntner Seen beträgt rund  $290 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Abb. 28). Die wichtigsten Ionen im Goggaussee sind Kalzium und Magnesium. Die geringen absoluten Konzentrationen sind (Abb. 29) auf den kristallinen geologischen Untergrund des Einzugsgebietes zurückzuführen.

Während des Beobachtungszeitraumes von 1978 bis 2004 zeigt sich ab ca. 1986 eine leichte aber konstante Zunahme der Leitfähigkeit (Abb. 30). Ausgehend von  $150 \mu\text{S}/\text{cm}$  Ende der 1970er Jahre steigt die Leitfähigkeit bis ca.  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$  an.

Bei der Analyse der für den Anstieg verantwortlichen Stoffe Kalzium, Magnesium, Natrium, Chlorid, Kalium, Sulfat, TOC (Gesamtorganischer Kohlenstoff) und des Säurebindungsvermögens konnte kein Parameter mit dem Anstieg der Leit-

fähigkeit in Zusammenhang gebracht werden. Allerdings zeigt sich bei Natrium und bei Chlorid eine deutliche Konzentrationszunahme (beinahe eine Verdoppelung seit 1987), welche auf vermehrte Salzstreuung des Straßenwinterdienstes im Einzugsgebiet hinweist (Abb. 31). Dieser Konzentrationsanstieg allein kann die Erhöhung der Leitfähigkeit aber nicht erklären. Eine mögliche Ursache könnte ein steigender Gehalt an Huminstoffen sein. Dabei handelt es sich um Abbauprodukte von Landpflanzen, die aufgrund ihrer negativen Ladung ebenfalls als Elektrolyte wirken und mit der Leitfähigkeit gemessen werden. Für ein Vorhandensein von Huminstoffen spricht auch der für Braunwasserseen im silikatischen Einzugsgebiet relativ hohe pH-Wert von pH 7 bis pH 8, da diese organischen Säuren regulierend auf den pH-Wert einwirken ( $\text{H}^+$ -Akzeptor).

Im Winter gelangt zur Straßenreinhaltung Natriumchlorid als hauptsächlich verwendetes Auftaumittel zum Einsatz. Insbesondere im Winter und Frühjahr kann eine Erhöhung des Natriumchloridgehaltes im Grundwasser, in Oberflächengewässern und in Kläranlagen festgestellt werden. Die Belastung stehender Gewässer mit Chloriden aus der Streusalzverwendung stellt allerdings kein

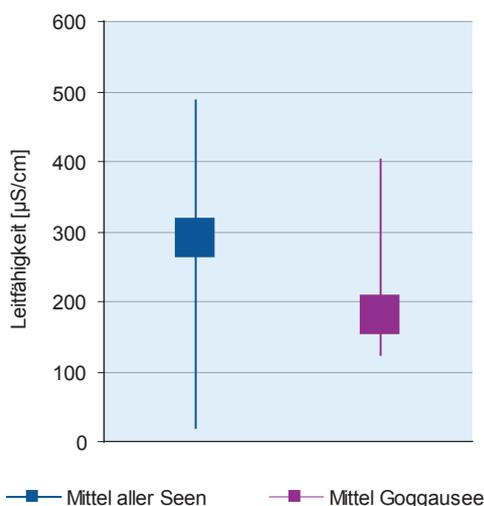


Abb. 28: Vergleich der mittleren Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] von 48 Kärntner Seen mit der mittleren Leitfähigkeit des Goggauses von 1979 bis 2002.

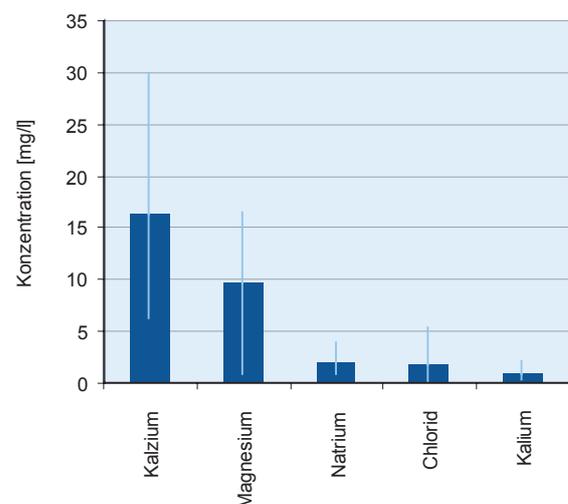


Abb. 29: Mittlere Konzentration [mg/l] der Elektrolyte: Kalzium, Magnesium, Natrium, Chlorid und Kalium im Goggaussee von 1979 bis 2003.

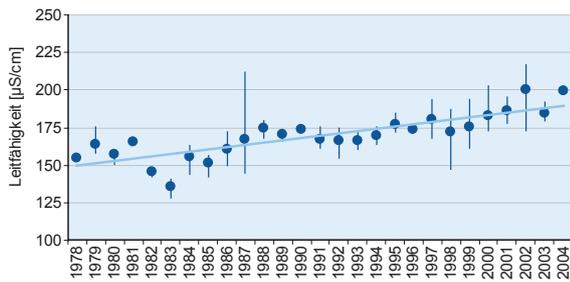


Abb. 30: Jahresmittel der Leitfähigkeit [µS/cm] im Goggausee mit Minimal- und Maximalwerten und linearer Regression seit 1978.

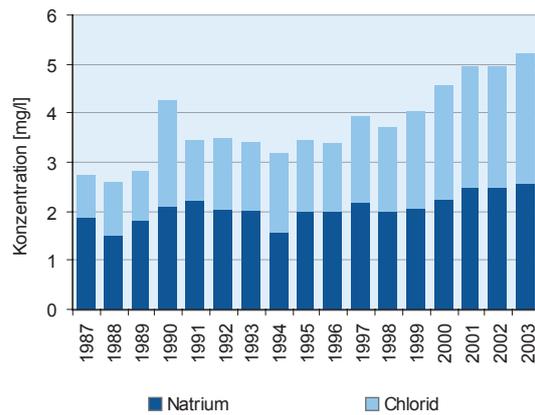


Abb. 31: Änderung der Natrium- und Chlorid-Konzentration [mg/l] von 1987 bis 2003.

vorrangiges Problem für den Gewässerschutz im Gegensatz zu Boden und Vegetation dar. Trotzdem sollte aus Gründen des vorsorgenden Gewässerschutzes der Einsatz von Streusalzen soweit vertretbar eingeschränkt werden. In Kärntner Seen sind aus geologischen Gründen die Natrium- und Chlorid-Konzentrationen sehr niedrig. In einigen Kärntner Seen hat sich im Zeitraum der letzten 30 Jahre die Konzentration von Natrium und Chlorid merkbar erhöht. Zum Beispiel ist im Längsee von 1971 bis 2003 ein Anstieg von Natrium von rund 3,5 mg/l auf 5 mg/l und für Chlorid von rund 8 mg/l auf 11 mg/l erhoben worden. Im Millstätter See ist im langjährigen Verlauf vor allem in den Wintermonaten eine geringfügige Zunahme an Natrium von 2,3 mg/l auf 2,5 mg/l zu erkennen (FRESNER et al. 2004).

Im Schwerpunktjahr zeigt der Verlauf der Leitfähigkeit bis in etwa 10 m Tiefe eine relativ hohe Konstanz. Die Werte bewegen sich zwischen rund

150 und 200 µS/cm. Stark abweichend präsentiert sich die Leitfähigkeit hingegen in der 12 m Tiefenstufe. Im März und im April werden Leitfähigkeiten um 370 µS/cm gemessen (Abb. 32). Der langjährige Durchschnittswert dieser Monate liegt bei 290 bzw. 230 µS/cm. Ein vermehrter Eintrag von Elektrolyten über die Zubringer, als Folge der Schneeschmelze, muss als Ursache ausgeschlossen werden, da Leitfähigkeitsmessungen an den Hauptzubringern entsprechend dem geologischen Untergrund des Einzugsgebietes im März lediglich Werte von 70 bzw. 160 µS/cm ergeben haben. Die Analyse der gängigen Elektrolyte zeigt, dass im März das Konzentrationsmaximum erreicht ist, dennoch lässt sich aufgrund des geringen absoluten Gehaltes der Anstieg der Leitfähigkeit alleine dadurch nicht erklären. Eine mögliche Ursache

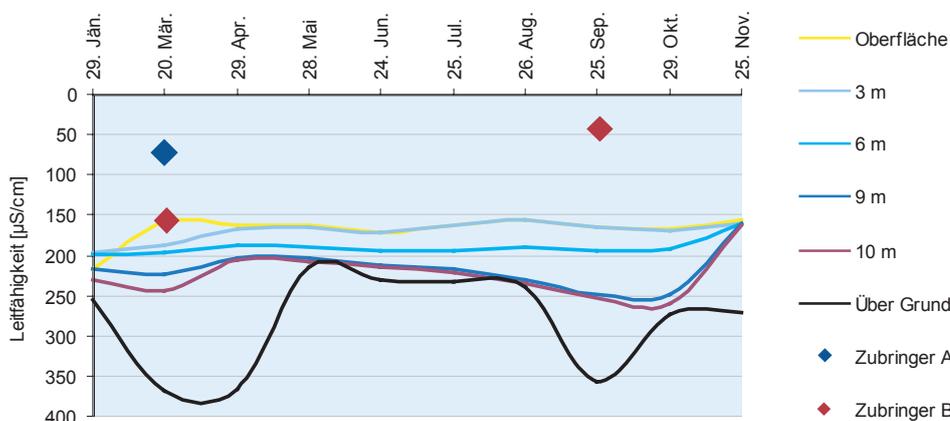


Abb. 32: Änderung der Leitfähigkeit [µS/cm] in den Tiefenstufen: Oberfläche, 3 m, 6 m, 9 m, 10 m und über Grund im Untersuchungsjahr 2002 verglichen mit der Leitfähigkeit der Hauptzubringer an zwei Terminen (20. März und 25. September 2002).

könnte ein vermehrter diffuser Eintrag von Flavin- und Huminsäuren infolge einer Überflutung des Schwingrasenmooses, das Wasserstandsschwankungen nicht im vollen Umfang mitmachen kann, sein.

Neben dem Leitfähigkeitsmaximum im März und im April wurde 2002 auch im September eine ungewöhnlich hohe Leitfähigkeit gemessen. Während der langjährige Durchschnitt im September bei ca. 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  liegt, beträgt der Wert 2002 rund 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ein vermehrter Elektrolyteintrag über die Zubringer scheidet als Ursache noch deutlicher aus als im Frühjahr (Abb. 32). Sehr wohl ist die hohe Leitfähigkeit mit dem im September beobachteten Massenaufreten der Blaualge *Anabaena danica* in Zusammenhang zu bringen. Infolge der hohen Produktivität der Alge gelangt eine große Menge von abbaubaren organischem Material in die Tiefe und das beim Abbau entstehende, ladungstragende Ammonium bedingt eine erhöhte Leitfähigkeit des Tiefenwassers.

## Phytoplankton

Plankton (von griechisch  $\pi\lambda\alpha\nu\kappa\tau\omicron\nu$  - das Umherirrende) ist die Bezeichnung für die im Wasser treibenden und schwebenden Mikroorganismen. Dazu zählen pflanzliche und tierische Lebewesen, die keine oder nur eine geringe Eigenbewegung haben, sodass Ortsveränderungen überwiegend durch Wasserströmungen erfolgen. Planktonorganismen haben meist besondere Körperformen, die das Absinken im Wasser verlangsamen, wie z. B. lange Körperfortsätze in Form von Borsten, Haaren und Stacheln, Ölkugeln oder Gasblasen.

Der Begriff Phytoplankton bezeichnet das pflanzliche Plankton, das mit Hilfe von Licht Kohlendioxid und anorganische Stoffe in Biomasse umwandelt (Primärproduktion). Das Phytoplankton ist die Grundlage des Lebens im Wasser. Im Nahrungsnetz eines Sees stellt das Phytoplankton die Basis dar, auf der alle anderen Lebensvorgänge beruhen. Ein gewisser Anteil dieser Planktongemeinschaft stirbt laufend ab und sinkt dabei in die Tiefe des Gewässers, ein anderer Teil wird von den nächsthöheren Gliedern des Nahrungsnetzes (kleine

Krebse und Rädertiere) gefressen. Während des Absinkvorgangs werden die toten Planktonorganismen von Bakterien und Pilzen wieder weitgehend in ihre mineralischen Bestandteile zerlegt. Bei diesem Abbau und bei den Stoffumsätzen in den höheren Stufen des Nahrungsnetzes, dem Zooplankton und den Fischen, wird Sauerstoff verbraucht. Sauerstoff ist in den Seen nur begrenzt vorhanden und wird vor allem durch die Assimilationstätigkeit des Phytoplanktons und durch Zirkulationsvorgänge ins Gewässer eingebracht.

Das Kennzeichen eines eutrophierten Gewässers ist im allgemeinen ein hoher Gehalt an Pflanzennährstoffen (Phosphor, der meist aus häuslichen Abwässern stammt), der die Algenproduktion bis hin zu Algenblüten fördert. Beim Abbau der organischen Substanz (Algen-Biomasse), an dem Mikroorganismen maßgeblich beteiligt sind, wird Sauerstoff verbraucht. Diese, durch Eutrophierung bedingte Sauerstoffzehrung, stellt die eigentliche Belastung eines Gewässers dar.

Eine Zunahme der pflanzlichen Produktion wird von einer Änderung der Artenzusammensetzung begleitet und stellt eine Verschlechterung der Gewässergüte dar. Mit zunehmender Eutrophierung verschiebt sich die Phytoplanktonzusammensetzung von gut fressbaren, meist kleineren Algenarten zu größeren, koloniebildenden und schlechter fressbaren Formen. Das hat zur Folge, dass ein Großteil des Phytoplanktons nicht in das Nahrungsnetz gelangt, sondern nach dem Absterben von Mikroorganismen zersetzt und die Sauerstoffbilanz des betreffenden Gewässers verstärkt belastet wird. Eine Änderung in der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons kann daher als Indikation für die Veränderung der Gewässergüte betrachtet werden.

Entsprechend dem schwach-eutrophen Nährstoffniveau im Goggaussee entwickeln sich hohe Algenbiomassen. Die Abbildung 33 zeigt die durchschnittliche epilimnische Schwebalgen-Biomasse, Jahresmittel von 1990 bis 2003, von 36 Kärntner Seen. Daraus geht hervor, dass sich der Goggaussee hinsichtlich der Schwebalgen-Biomasse zu jenen Seen mit erhöhter Produktion reiht. (Aus Gründen der Einfachheit wurden zur Berechnung nicht interpolierte Werte

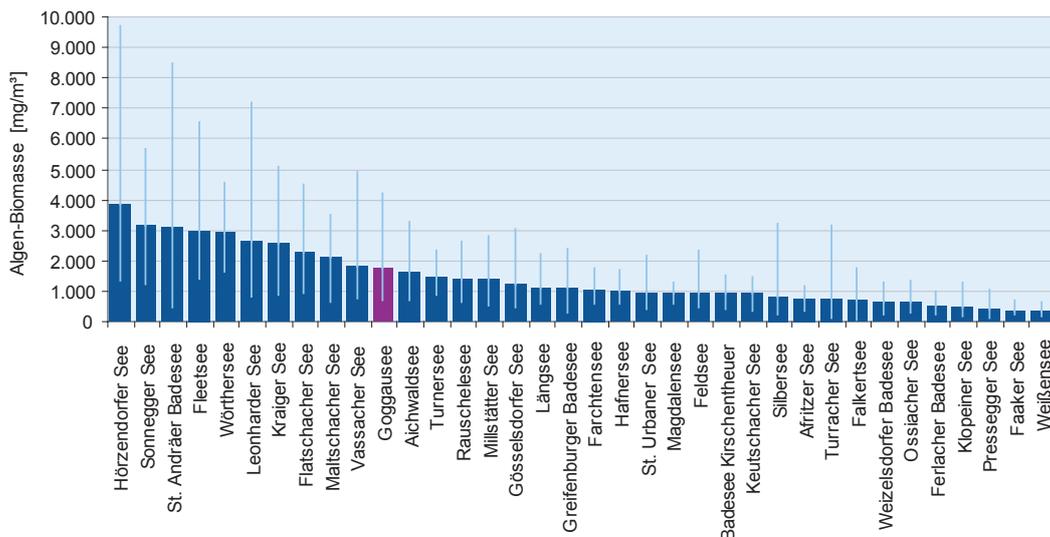


Abb. 33: Vergleich der mittleren Algen-Biomasse [mg/m³] von 1990 bis 2003 aus 36 Kärntner Seen mit Minimal- und Maximalwerten bis max. 30 m (berechnet aus nicht interpolierten Werten).

herangezogen, sodass es möglicherweise zu Abweichungen gegenüber vorangegangenen Veröffentlichungen kommen kann.)

Die epilimnische Algen-Biomasse des Goggausees zeigt in der Zeitreihe von 1981 bis 2003 im Jahresmittel Werte zwischen 970 (1982) und 6.240 mg/m³ (2001). Tendenziell ist aus Abbildung 34 ein Ansteigen der Biomasse sowie eine periodische Schwankung (alle 4 bis 6 Jahre) zu erkennen. Die hohen Jahresmittel im Jahr 2001 und 2002 sind auf extrem hohe Konzentrationen einzelner Termine (März 2001: 17.563 mg/m³ und September 2002: 11.240 mg/m³) zurückzuführen. Die epilimnische Konzentration der Algen-Biomasse vom März 2001 wird zu zwei Drittel von den mittelgroßen Vertretern der Kieselalge *Fragilaria acus* gebildet. Im September des Schwerpunktjahres 2002 wird fast die gesamte Biomasse (97 %) von der Blaualge *Anabaena danica* gebildet.

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Phytoplanktons über den Zeitraum von 1981 bis 2003 dominieren vier Gruppen (Abb. 35). Dies sind die Kieselalgen (Bacillariophyceae), die über den gesamten Untersuchungszeitraum ein relativ stabiles Erscheinungsbild mit Werten zwischen 500 und 1.000 mg/m³ zeigen, ausgenommen die ungewöhnlich hohe Konzentration von 3.500 mg/m³ des Jahres 2001.

Die Schlundalgen (Cryptophyceae) zeigen starke Entwicklungsschwankungen. Ihre Jahresmittel reichen von Werten unter 200 bis rund 2.000 mg/m³. Ausgenommen im Zeitraum 1994 bis 2000 treten keine ausgeprägten Schwankungen auf. Sie nehmen mit rund 35 % eine dominante Stellung in der Zusammensetzung der Schwebealgen-Biomasse ein.

Ebenfalls einer hohen mengenmäßigen Varianz unterliegen die Panzeralgen (Dinophyceae) mit Konzentrationen zwischen 100 und 700 mg/m³.

Die Jahresmittel der Goldalgen-Biomasse (Chryso-phyceae) liegen meist um und unter 500 mg/m³. Im Jahr 1992 erreicht die Goldalgen-Biomasse aber ein Jahresmittel von rund 1.600 mg/m³. Dieser

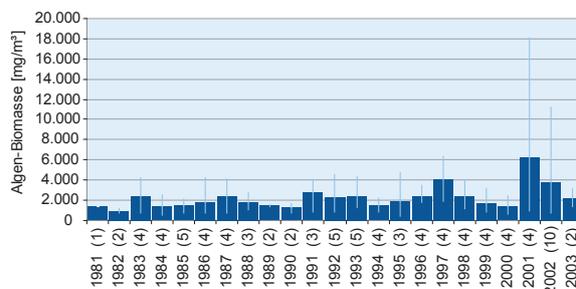


Abb. 34: Jahresmittel der epilimnischen Algen-Biomasse [mg/m³] im Goggausee von 1981 bis 2003 inklusiv Minimal- und Maximalwerte.

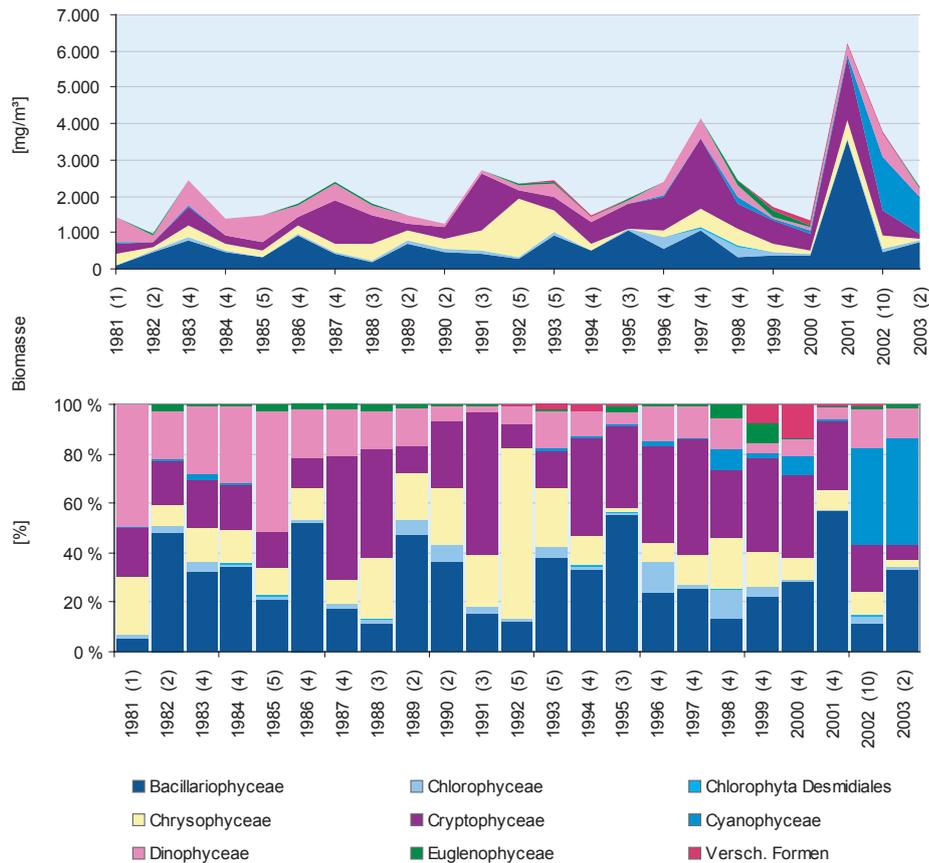


Abb. 35: Oben: epilimnische (0 bis 6 m) Algen-Biomasse [mg/m<sup>3</sup>], unten: prozentueller Anteil der Algengruppen an der epilimnischen Algen-Biomasse von 1981 bis 2003.

hohe Wert ist vor allem auf die hohe Frühjahrs- und Herbstproduktion von *Dinobryon sociale* zurückzuführen.

Die Blaualgen (Cyanophyceae) spielen bis 1998 in der Phytoplanktongemeinschaft des Goggausees keine Rolle. 1998 erreichen sie mit einer Konzentration von rund 200 mg/m<sup>3</sup> 10 % der gesamten Algenbiomasse. Erst 2002 steigt die Konzentration an und erzielt fast 1.500 mg/m<sup>3</sup> (40 % der Algenbiomasse). *Anabaena danica* tritt im September mit 10.931 mg/m<sup>3</sup> massenhaft auf und stellt somit den Hauptanteil der Blaualgen dar. Auch im Folgejahr erreichen die Blaualgen, vertreten durch *Anabaena danica*, wieder eine epilimnische Biomassekonzentration von rund 1.000 mg/m<sup>3</sup>.

Die restlichen Algengruppen bilden in keiner Phase des Untersuchungszeitraumes nennenswerte Biomasseanteile.

Das spontane und massenhafte Auftreten von *Anabaena danica* ist mit der Fähigkeit dieser Art verbunden, den Luftstickstoff binden und speichern zu können. Damit ist die Alge in der Lage, einen möglichen Stickstoffmangel des Gewässers

zu kompensieren. Entsprechend der Gesamtgleichung der Primärproduktion werden Stickstoff und Phosphor im Verhältnis 16 : 1 benötigt. Sinkt der Gehalt an verfügbarem Stickstoff unter das Sechzehnfache des Gehaltes an verfügbarem Phosphor, ist die Primärproduktion stickstofflimitiert. Betrachtet man die Jahresmittel der epilimnischen Stickstoff- und Orthophosphat-P-Inhalte (Abb. 36), erscheint eine Stickstofflimitierung auf den ersten Blick unmöglich. Da Ammonium- und Nitrat-Stickstoff von den Algen gleichermaßen genutzt werden können, ist immer mehr Stickstoff vorhanden als benötigt.

Die hohe Datendichte im Schwerpunktjahr 2002 erlaubt eine detailliertere Betrachtung (Abb. 37). Die mittlere Konzentration der Phytoplankton-Biomasse beträgt 3.780 mg/m<sup>3</sup> im Epilimnion bzw. 2.160 mg/m<sup>3</sup> in der gesamten Wassersäule. Während der frühjährlichen Hochproduktionsphase im März trägt eine Vielzahl von Arten zur Ausbildung der epilimnischen Biomasse (etwa 7.400 mg/m<sup>3</sup>) bei. Zu nennen sind: *Fragilaria acus* (Kieselalgen), große und mittelgroße Vertreter der

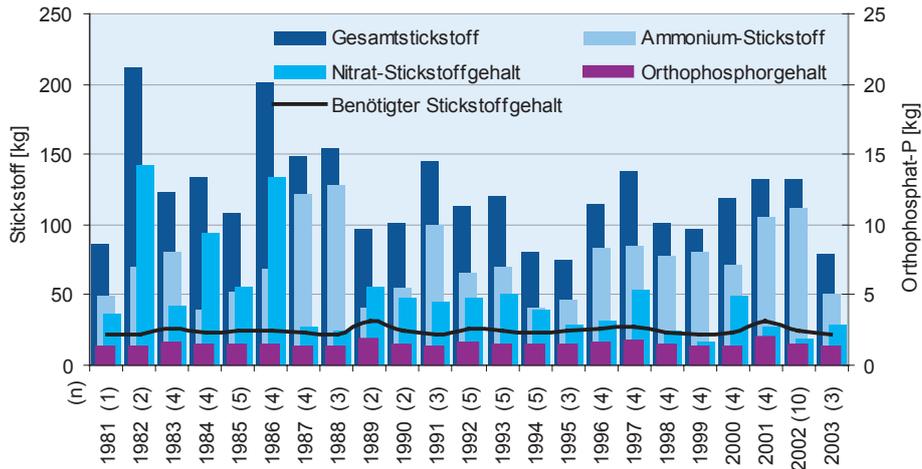


Abb. 36: Relation der epilimnischen (0 bis 6 m) Inhalte [kg] von Orthophosphat-P, Nitrat-N, Ammonium-N, Gesamtstickstoff und benötigtem Stickstoff von 1981 bis 2003 (n = Anzahl der Messungen).

Gattung *Cryptomonas* sp. (Schlundalgen), *Peridinium* sp. (Panzeralgen) und nicht näher bestimmte Vertreter der Goldalgen (Chrysophyceae). Bereits im April nimmt die Biomasse auf 4.700 mg/m<sup>3</sup> ab. Zurückzuführen ist die Abnahme in erster Linie auf einen Rückgang der Chrysophyceen und von *Peridinium* sp. Die großen Vertreter der Gattung *Cryptomonas* zeigen hingegen einen leichten Anstieg.

Das Verhältnis von anorganischem Stickstoff zu Orthophosphat-P erreicht im April ein erstes Minimum, da mit der steigenden Biomasse ein Großteil des vorhandenen Stickstoffs organisch

gebunden wird. Trotz des Vorhandenseins von messbaren Konzentrationen an Orthophosphat-P, reicht der verbleibende verfügbare Stickstoff aus, damit die Primärproduktion phosphorlimitiert bleibt. Im Mai und im Juli herrscht ein ausgesprochenes „Klarwasserstadium“. Klarwasserstadium bezeichnet jene Phase, die auf die Hochproduktion der Algen infolge von Nährstoffmangel folgt. Es kommt zu einem Zusammenbruch der Populationen. Die Biomassekonzentration beträgt in diesen Monaten weniger als 1.500 mg/m<sup>3</sup>. Der Stickstoff liegt nun wieder in Form von Ammonium- und Nitrat-N vor. Der Gehalt an Orthophosphat-P sinkt unter die Bestimmungsgrenze, da der

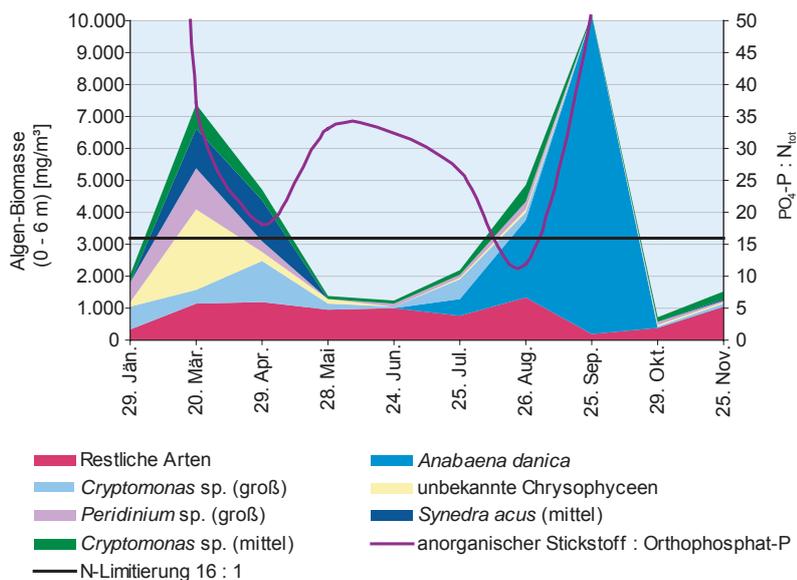


Abb. 37: Zusammensetzung der epilimnischen (0 bis 6 m) Algen-Biomasse [mg/m<sup>3</sup>] im Vergleich mit der Verhältniszahl anorganischer Stickstoff : Orthophosphat-P und der N-Limitierung 16 : 1 im Jahr 2002.

Phosphor in der verbleibenden Biomasse gespeichert bleibt, bzw. mit der abgestorbenen Biomasse sedimentiert ist. Im Laufe der Sommerstagnation nimmt im Epilimnion der Gehalt an Ammonium-N aufgrund der Oxidation zu Nitrat unter Verbrauch von Sauerstoff (die 0 mg/l Sauerstoffgrenze liegt bei 6 m) ab. Im August ist bis in 8 m Tiefe praktisch kein Ammonium-N mehr vorhanden. Zu diesem Termin beträgt das Verhältnis zwischen Gesamtstickstoff und Orthophosphat-P nur rund 12 : 1, d.h. es liegt eine Stickstofflimitierung vor. Unter diesen Bedingungen gerät *Anabaena danica* in Vorteil gegenüber anderen Arten und vermehrt sich stark (Biomasse von rund 2.400 mg/m<sup>3</sup>). Im September ist im Epilimnion eine sprunghafte Zunahme von *Anabaena danica* auf 10.931 mg/m<sup>3</sup>, begleitet von einem Aufschwimmen abgestorbener Algen, zu verzeichnen. Der niedrige Sauerstoffgehalt des Epilimnions bestätigt, dass die Population nicht in vollem Umfang zur Assimilation fähig ist (der Sauerstoffgehalt im Epilimnion ist um rund 4 mg/l niedriger als im August). Die Verlagerung der 0 mg/l Sauerstoffgrenze von 6 auf 8 m Tiefe ist im Zusammenhang mit der tieferreichenden Durchmischung zu sehen. Als Folge des mikrobiellen Abbaus der *Anabaena*-Population steigt der Gehalt an Ammonium-N sprunghaft an. Ebenso plötzlich wie *Anabaena danica* (Foto 4) in Erscheinung tritt, verschwindet sie aus der Phytoplanktongemeinschaft wieder. Im Oktober beträgt die epilimnische Konzentration 30 mg/m<sup>3</sup>, im November ist sie verschwunden.

Im weiteren wird für dominante Arten des Goggausees die sukzessive Änderung ihrer Tiefenverteilung im Verlauf des Jahres 2002 beschrieben (Abb. 38). An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass in den Grafiken der Abbildung 38 aufgrund der großen Bandbreite der Messwerte auf eine einheitliche Skalierung der x-Achse verzichtet wird.

Zu Jahresbeginn verteilen sich die großen Vertreter (< 40 µm) der Gattungen *Peridinium* und *Cryptomonas* auf die obersten Tiefenstufen und bilden in 1 m Tiefe Konzentrationen von 1.200 und 1.300 mg/m<sup>3</sup>. Auch die Gruppe der Goldalgen (Chrysophyceae) hält sich hier mit einer Konzentration von 400 mg/m<sup>3</sup> neben den mittelgroßen Vertretern (30 - 40 µm) der Gattung

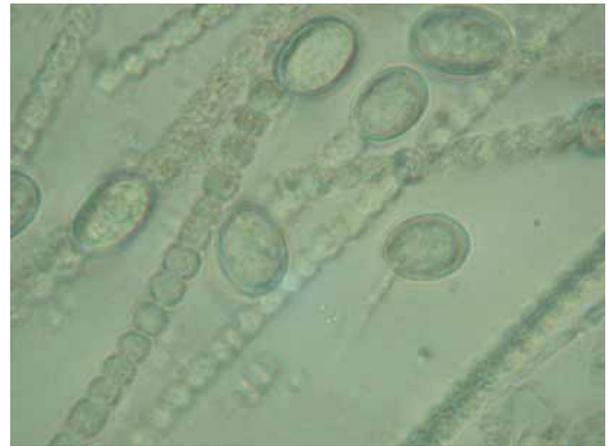


Foto 4: *Anabaena danica*. Foto: J. Mildner

*Cryptomonas* (~350 mg/m<sup>3</sup>), die ihr Maximum in 3 m Tiefe mit 415 mg/m<sup>3</sup> erreicht, auf.

Im März verlegen alle erwähnten Algen ihr Maximum in tiefere Schichten. *Cryptomonas* sp. (groß) bildet in 3 m die höchste Biomasse aus. *Cryptomonas* sp. (mittel) schichtet sich, wie im Jänner, unterhalb des maximalen Verbreitungsareals von *Cryptomonas* sp. (groß) in 5 m Tiefe gemeinsam mit *Peridinium* sp. (groß) ein. Mengenmäßig zeigen diese Arten nur geringfügige Änderungen. Die Chrysophyceen hingegen entwickeln in 5 m Tiefe ein ausgeprägtes Maximum mit einer Konzentration von über 8.000 mg/m<sup>3</sup>. *Fragilaria acus* (Foto 5), die im Jänner über die gesamte Wassersäule in gleichmäßig niedrigen Konzentrationen verteilt ist, erzielt im März in 1 m Tiefe mit 1.600 mg/m<sup>3</sup> ihre maximale Verbreitung. Der Hauptteil dieser Population schichtet sich über der maximalen Verbreitungstiefe der anderen Arten ein.

Von März bis April nimmt die mittlere Biomasse der Chrysophyceen von 1.500 mg/m<sup>3</sup> auf 150 mg/m<sup>3</sup> ab und wird aus der 5 m Schicht von den großen *Cryptomonaden* (4.100 mg/m<sup>3</sup>) verdrängt. *Fragilaria acus* nimmt weiter an Biomasse (1.900 mg/m<sup>3</sup>) zu und verlegt ihr Maximum in 3 m Tiefe. Die anderen Arten nehmen mengenmäßig ab und bilden ihre Maxima nahe der Oberfläche aus.

Im Mai trägt die steigende Wassertemperatur der oberen Schichten (16,6 °C bis in 3 m Tiefe) dazu bei, dass sich die kälteliebenden Chrysophyceen und *Cryptomonaden* in 5 m Tiefe, bei Temperaturen von 7,8 °C, zurückziehen. Die *Fragilaria*

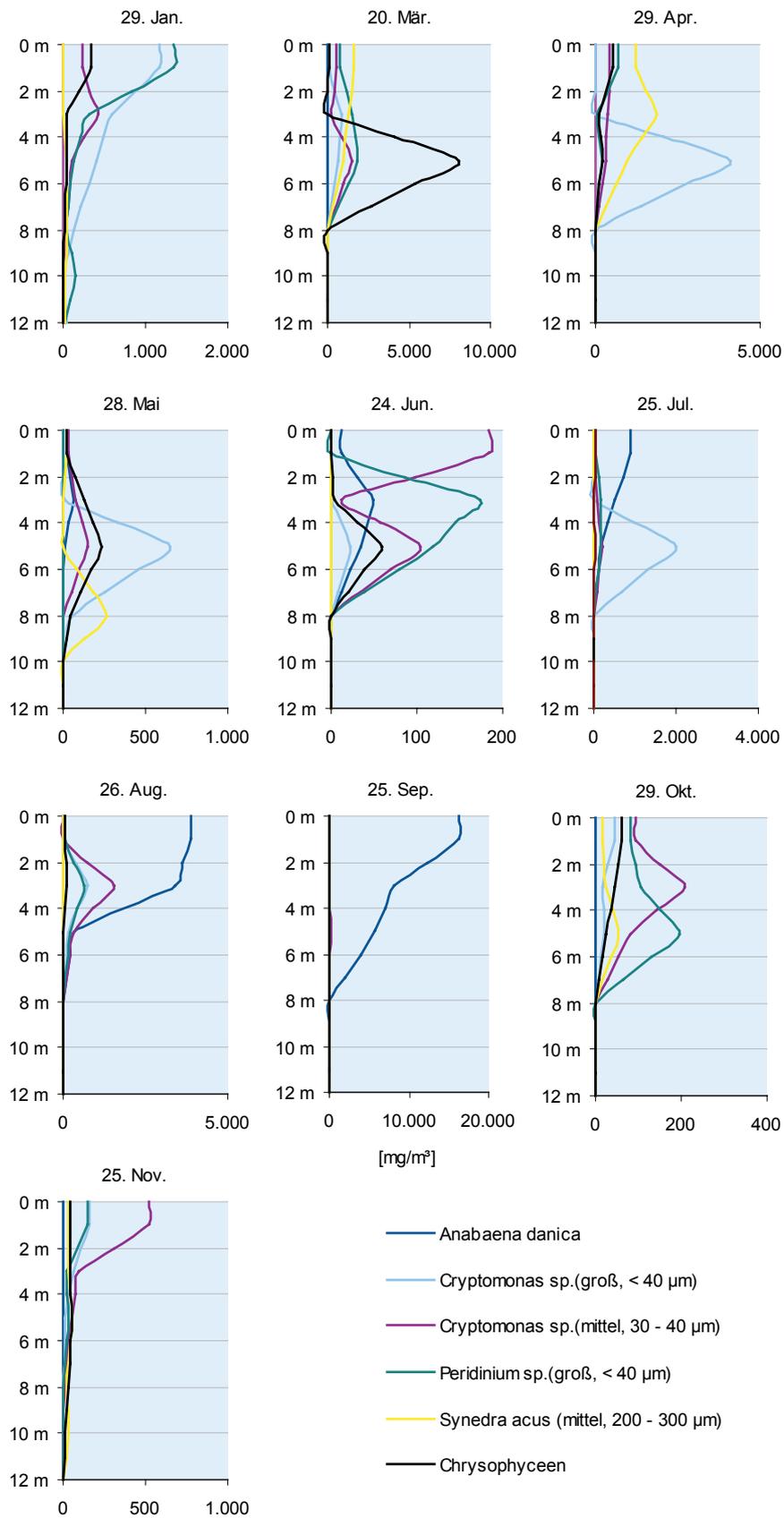


Abb. 38: Sukzessive Änderung der Tiefenverteilung der dominanten Phytoplankton-Arten [mg/m³]: *Anabaena danica*, *Chrytomonas* sp. groß und mittel, *Peridinium* sp., *Fragilaria acus* und Chrysophyceen im Jahr 2002 (Hinweis: keine einheitliche Skalierung der x-Achse).

*acus*-Population sinkt noch tiefer und bildet ihr Maximum an der Grenze zur sauerstofffreien Tiefenschicht in 8 m Tiefe aus. Bei allen Arten ist eine starke Reduktion der Biomasse festzustellen. Im Juni setzt sich dieser Trend fort, keine Art erzielt Konzentrationen über 200 mg/m<sup>3</sup>. Von *Fragilaria acus* werden in der Juniprobe keine lebenden Zellen nachgewiesen.

Im Juli ist erstmals *Anabaena danica* in größeren Konzentrationen in der Wassersäule anzutreffen. Die Art bildet oberflächennah ein Maximum von rund 900 mg/m<sup>3</sup> aus. Auch die großen Vertreter der Gattung *Cryptomonas* zeigen eine Biomassenzunahme mit einem Maximum von 2.000 mg/m<sup>3</sup> in 5 m Tiefe.

Im August dominiert *Anabaena danica* das Algenspektrum in den oberen 3 m mit Konzentrationen zwischen 3.400 und 3.800 mg/m<sup>3</sup>. Die Cryptomonaden und großen Peridineen schichten sich mit Werten von 600 und 1.500 mg/m<sup>3</sup> in 3 m Tiefe ein. Die restlichen Algen verteilen sich mit geringen Konzentrationen über die gesamte Wassersäule.

Im September kommt es zur schon beschriebenen explosionsartigen Massenvermehrung der Blaualge *Anabaena danica* mit einem Maximum von 16.200 mg/m<sup>3</sup> in der obersten Schicht (1 m) und aufschwimmenden (abgestorbenen) Algenwatten. Die Biomassen der restlichen Algen erleiden starke Einbußen und liegen im Mittel zwischen 2,5 und 30 mg/m<sup>3</sup>.

Im Oktober ist die *Anabaena*-Population aus dem Artenspektrum der Algengemeinschaft verschwunden. Auch die Vertreter der anderen Gruppen bilden nur bescheidene Biomassen mit Maxima von 16 bis 200 mg/m<sup>3</sup> aus.

Im November verlagern die verbleibenden Arten ihre Maxima in die oberen Bereiche. Die mittelgroßen Vertreter der Gattung *Cryptomonas* bilden in 1 m Tiefe eine Konzentration von rund 500 mg/m<sup>3</sup> aus, während die anderen Arten sich bei Werten zwischen 40 und 150 mg/m<sup>3</sup> einpendeln.

Die Darstellung der Tiefenverteilung der dominanten Algen (Abb. 38) erlaubt die Einfluss-

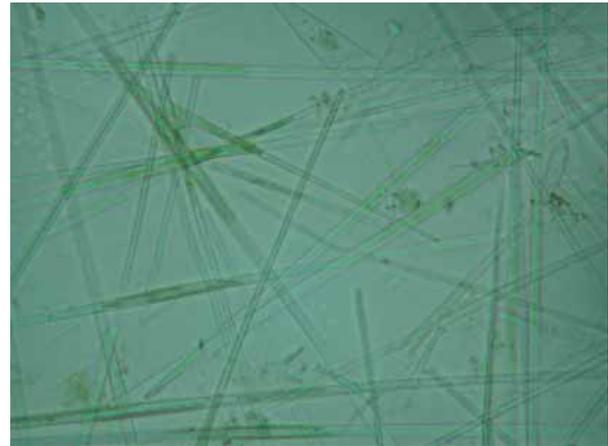


Foto 5: *Fragilaria acus*. Foto: J. Mildner

größen Temperatur, Licht und Ressourcen im Hinblick auf die Raumkonkurrenz zu interpretieren. Die Bildung extrem hoher Biomassen einzelner Algen, wie die der Vertreter der Chrysophyceae im März und von *Anabaena danica* im September, setzen optimale Bedingungen voraus. Diese extreme Dominanz einer Art beeinflusst entweder die Populationsentwicklung ihrer Konkurrenten direkt durch effizientere Ausnutzung der Ressourcen oder durch eine räumliche und zeitliche Verdrängung.

## Zooplankton

Alle planktischen Organismen, die keine Photosynthese betreiben sondern sich von anderen Organismen ernähren, werden zum Zooplankton gezählt. Dabei wird zwischen herbivoren (pflanzenfressenden), carnivoren (fleischfressenden) und omnivoren (allesfressenden) Zooplanktern unterschieden. Viele Zooplankter ernähren sich durch Filtration, sie suchen also ihre Nahrung nach der Partikelgröße und nicht nach der Qualität des Futters aus. Fast alle Zooplankter sind zur aktiven Bewegung im Wasser fähig, sie schwimmen wenigstens so schnell, dass das Absinken kompensiert wird.

Zum Zooplankton der Binnengewässer zählen im Wesentlichen Rädertiere (Rotatoria), Kleinkrebse (Crustacea) und Wimpertiere (Ciliata). Letztere werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die Rotatorien (Rädertiere) zählen taxonomisch gesehen zur Klasse der Nematelminthes (Schlauchwürmer) und stellen eine kaum überschaubare Formenfülle dar. Ihre Körper zeigen fast alle Übergänge von wurmartig gestreckter bis zu kelch- und sackförmiger oder kugelige Gestalt. In ihrer überwiegenden Mehrzahl sind die Rädertiere weltweit verbreitete Bewohner des Süßwassers, wo sie hauptsächlich in Seen, Teichen oder Tümpel, in geringer Anzahl aber auch in Flüssen und Bächen vorkommen. Sie sind kleine (40 µm bis 1 mm lange) Vielzeller mit Wimperfelder (Corona) am offenen Vorderende. Ihr Körper gliedert sich in einen Kopf-, Rumpf- und Fußabschnitt. Es existieren etwa 2.000 verschiedene Arten. Je nach Art der Nahrungsaufnahme bezeichnet man die Tiere als Strudler, Weidegänger, Sauger, Greifer oder Reusenfänger. Die über den Mund aufgenommene Nahrung wird im Kaumagen (Mastax) verdaut. Die Hauptmasse der Rotatorien pflanzt sich sowohl auf geschlechtlichem als auch auf parthenogenetischem (Jungfernzeugung) Wege fort. Männchen wurden bisher nur für einen Teil der Arten nachgewiesen.

Die Kleinkrebse (Klasse der Crustacea), zum Stamm der Arthropoda (Gliederfüßer) zählend, sind durch zwei Untergruppen, den Cladoceren (Blattfußkrebse) und Copepoden (Hüpfelinge), im Goggaussee vertreten. Etwa 90 Wasserfloharten

(Blattfußkrebse) leben in den mitteleuropäischen Binnengewässern und besiedeln alle Arten von Wasseransammlungen, tiefe Seen ebenso wie Pfützen, nur in schnell fließenden Gewässern können sie sich nicht halten. Als Nahrungsspezialisten suchen sie ganz bestimmte und arteigene Lebensräume auf. Sie weiden den Aufwuchs von Wasserpflanzen ab, filtrieren Plankton, leben räuberisch, sieben Detritus aus, durchwühlen den Bodenschlamm oder gleiten an der Unterseite des Wasserspiegels entlang. Nur wenige Arten gehen in das freie Wasser tiefer Seen, wo sie in Anpassung an den Lebensraum als glasartig durchsichtige Tiere vorkommen, oft massenhaft auftreten und eine wichtige Rolle als Fischnahrung spielen. Durch ihre filtrierende Ernährungsweise machen sie kleine Algen und Detritus für Fische nutzbar.

Die Größenzusammensetzung der Wasserfloharten, d. h. ob große oder kleine Arten im Plankton dominieren, gibt Auskunft über die Dichte des Bestandes sich planktivor ernähernder Fische. Fehlen im Plankton große Individuen und herrschen kleine Arten vor, ist ein übermäßiger Fraßdruck durch Fische gegeben. Kommen große Tiere oder Arten wie z. B. große Daphnien oder räuberische Cladoceren (*Leptodora* oder *Bythotrephes*) vor, besteht ein mäßiger Fraßdruck.

Die meisten Copepoden-Arten sind Meeresbewohner. Im Süßwasser kommen etwa 125 Arten vor, von denen nur wenige Arten das Pelagial tiefer Seen mit hohen Abundanzen besiedeln. Die meisten Süßwasserarten leben in kleineren seichten Gewässern. Die prachtvolle Färbung der durchsichtigen Diptomus-Arten wird durch leuchtend rote, orange, gelbe und blaue Öltröpfchen im Fettkörper der Tiere hervorgerufen. Die Tröpfchen setzen das spezifische Gewicht herab und erhöhen das Schwebevermögen. Bei den freilebenden Arten ist der meist langgestreckte Körper in Kopf-Bruststück (Cephalothorax), Bruststück (Thorax) und Hinterleib (Abdomen) gegliedert. Mit den fünf Brustbeinpaaren führen sie ruckartige Bewegungen durch, die ihnen den Namen Hüpfelinge eintrugen. Als Nahrungstypen finden sich unter den Copepoden Räuber und Strudler (Aas- und Algenfresser).

Tab. 7: Artenliste des Zooplanktons (° kennzeichnet Arten, die HERZIG & MOOG (1976) und FINDENEKG (1963) antrafen und die 2002 vorkamen; \* kennzeichnet Arten, die von genannten Autoren beobachtet wurden und 2002 nicht mehr vorkamen).

<b>Rotatoria:</b>	* <i>Synchaeta pectinata</i>
° <i>Anureopsis fissa fissa</i>	<i>Testudinella patella</i>
<i>Ascomorpha ecaudis</i>	<i>Trichocerca capucina capucina</i>
<i>Ascomorpha ovalis</i>	<i>Trichocerca cyclindrica cyclindrica</i>
<i>Ascomorpha saltans</i>	<i>Trichocerca similis similis</i>
<i>Asplanchna priodonta</i>	* <i>Trichocerca birostris</i>
<i>Brachionus angularis</i>	
<i>Colotheca</i> sp.	<b>Cladocera:</b>
<i>Conochilus natans</i>	° <i>Bosmina longirostris</i>
<i>Conochilus unicornis</i>	° <i>Ceriodaphnia pulchella</i>
° <i>Filina longiseta</i> var. <i>limnetica</i>	° <i>Daphnia longispina</i>
° <i>Gastropus stylifer</i>	<i>Chydorus sphaericus</i>
° <i>Hexarthra mira</i>	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>
<i>Kellicottia longispina</i>	
° <i>Keratella cochlearis cochlearis</i>	<b>Copepoda:</b>
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>hispida</i> f. <i>typica</i>	* <i>Eudiaptomus gracilis</i>
° <i>Keratella quadrata</i>	° <i>Mesocyclops leuckarti</i>
<i>Polyarthra vulgaris vulgaris</i>	
* <i>Polyarthra dolichoptera</i>	<b>Diptera:</b>
° <i>Synchaeta oblonga</i>	° <i>Chaoborus flavicans</i>

Vom Goggausee wird im Schwerpunktjahr 2002 das Spektrum der Rotatorien und Crustaceen untersucht. Insgesamt konnten 28 Zooplankter nachgewiesen werden. Davon entfallen auf die Crustaceen 7 Arten, repräsentiert durch 5 Cladoceren und 2 Copepoden, und auf die Rotatorien 21 Arten. In der Tabelle 7 sind neben den aktuellen Arten auch jene angeführt, die von anderen Autoren bereits erwähnt wurden, sowie Arten, die im Jahr 2002 nicht mehr nachgewiesen wurden.

## Biomasse

Zur Berechnung der Zooplankton-Biomasse werden auch die Larven der Büschelmücke *Chaoborus flavicans* berücksichtigt. Naturgegeben stellen sie aufgrund ihrer Größe (bis 1,5 cm) und ihres Gewichtes trotz ihrer geringen Abundanz den größten Anteil an der Gesamt-Biomasse des Zooplanktons.

Die durchschnittliche Gesamtbiomasse (Trockengewicht) des Zooplanktons im Jahr 2002 beträgt 250 mg/m<sup>3</sup>. Die mittlere Biomasse der Crustaceen beträgt 51 mg/m<sup>3</sup>, die sich aus 19,5 mg/m<sup>3</sup> Copepoden und 31,5 mg/m<sup>3</sup> Cladoceren zusammensetzt. Der Anteil der Rotatorien an der Gesamt-Zooplanktonbiomasse ist mit 46,5 mg/m<sup>3</sup> auffallend hoch, was in eutrophen Seen durchaus

erzielt werden kann. Die mittlere Biomasse von *Chaoborus flavicans* beträgt 152,7 mg/m.

Vergleicht man die prozentuelle Verteilung der Zooplankton-Biomasse (Rotatoria, Cladocera und Copepoda) von Seen unterschiedlicher Trophiestufen, lassen sich im Groben drei Szenarien beschreiben. So dominieren tendenziell in eutrophen Seen die Rotatorien gemeinsam mit den Cladoceren, wohingegen in oligotrophen Seen die Copepoden vorherrschen. In mesotrophen Seen erreichen sowohl Cladoceren als auch Copepoden hohe Biomasseanteile. In Tabelle 8 sind einige Kärntner Seen angeführt und entsprechend ihrer Trophie von oligo- bis eutroph gereiht. Weiters gibt die Tabelle Auskunft über die prozentuellen Anteile der Rotatorien, Cladoceren und Copepoden an der zooplanktischen Biomasse. Der Vergleich zeigt, dass sich der Goggausee bezüglich der Zooplankton-Biomasse zu den meso- bis eutrophen Seen reiht, was auch der Gesamtbeurteilung des Sees entspricht. Die Biomasse von *Chaoborus flavicans* wurde in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Wie aus Abbildung 39 ersichtlich ist, folgt dem Biomassenhöhepunkt der Rotatorien ein Maximum der Crustaceen im Frühsommer, gepaart mit einem massiven Aufkommen der Larve von *Chaoborus flavicans*.

Tab. 8: Vergleich der Zusammensetzung der Zooplankton-Biomasse von Seen unterschiedlicher Trophiestufen (O = oligotroph, M = mesotroph, E = eutroph, polym. = polymiktisch, dim. = dimiktisch und merom. = meromiktisch).

See	mittlere Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ]	Rotatoria %	Cladocera %	Copepoda %	Trophie	Mixis	Autor
Weizelsdorfer Badensee	19,3	1,1	39,3	59,6	O	polym.	FRESNER (1995)
Badensee Kirschenheuer	23,5	1,3	35,7	63	O	polym.	FRESNER (1995)
Ferlacher Badensee	96,6	0,1	32,6	67,3	O	dim.	FRESNER (1995)
Ossiacher See	246,7	0,01	11	89	O - M	dim.	FRESNER (1999)
Wörthersee	141	0,1	12,6	87,3	M	merom.	FRESNER (2004)
Millstätter See	64	0,01	84,8	15,29	M	merom.	FRESNER (2005)
Keutschacher See	137	4,4	10,2	85,4	M	dim.	RAKOBITSCH (1980)
Feldsee	67	3	74,6	22,4	M	dim.	SCHARF (1995)
Piburger See	148	26,3	66,9	6,8	M	dim.	SCHABER (1974)
Ossiacher See	31,1	3,4	38,6	58	M - E	dim.	WAPPIS (1980)
Goggaussee	97,3	47,8	20	32,2	M - E	merom.	
Hafnersee	494	25,5	9,5	65	E	dim.	RAKOBITSCH (1980)
Piburger See	247	52,6	44,1	3,3	E	dim.	SCHABER (1974)

Am 21. März 2002 beträgt die Zooplankton-Biomasse (Trockengewicht) 62,8 mg/m<sup>3</sup>. Davon entfallen 33,3 % auf die Rotatorien, 55,2 % auf *Chaoborus flavicans* und 11,5 % auf die Crustaceen. Interessant ist, dass die Büschelmückenlarven mehr Biomasse haben als ihre potenzielle Beute, die Crustaceen. Ein Grund dafür liegt in der schnellen Turn-over-Rate der Beuteorganismen, sodass sich eine inverse Nahrungspyramide ergeben kann. Im April 2002 hat sich die Biomasse mit 153 mg/m<sup>3</sup> mehr als verdoppelt. Das Abundanzmaximum der Rotatorien mit 1,14 Mio. Ind./m<sup>3</sup> bedingt einen Anteil von 80 % an der Zooplanktonbiomasse (123 mg/m<sup>3</sup>). Auch die Biomasse der Crustaceen hat sich vervierfacht, während die von *Chaoborus flavicans* stark abgenommen hat. Im Mai bleibt mit

156,8 mg/m<sup>3</sup> die Biomasse ähnlich hoch wie im April. Das Frühjahrsmaximum der Rotatorien ist überschritten und fällt auf 56 % der Zooplankton-Biomasse ab, die Crustaceen nehmen zu (69,4 mg/m<sup>3</sup>) und erzielen 44 %. Büschelmückenlarven sind im Mai keine festzustellen, wahrscheinlich, weil die Probenahme aufgrund des sauerstofffreien Tiefenwassers nur bis in 8 m Tiefe durchgeführt wurde und tiefer schwebende Larven nicht gefangen wurden. Mit 581,1 mg/m<sup>3</sup> steigt im Juni die Zooplankton-Biomasse deutlich an. Der Biomasseanteil von *Chaoborus flavicans* beträgt 58 % der Zooplankton-Biomasse, was einer geringen Abundanz von 0,13% entspricht. Die Crustaceen erzielen mit 165,7 mg/m<sup>3</sup> ihr Maximum, wobei der überwiegende Teil von den Cladoceren (115 mg/m<sup>3</sup>) gebildet wird.

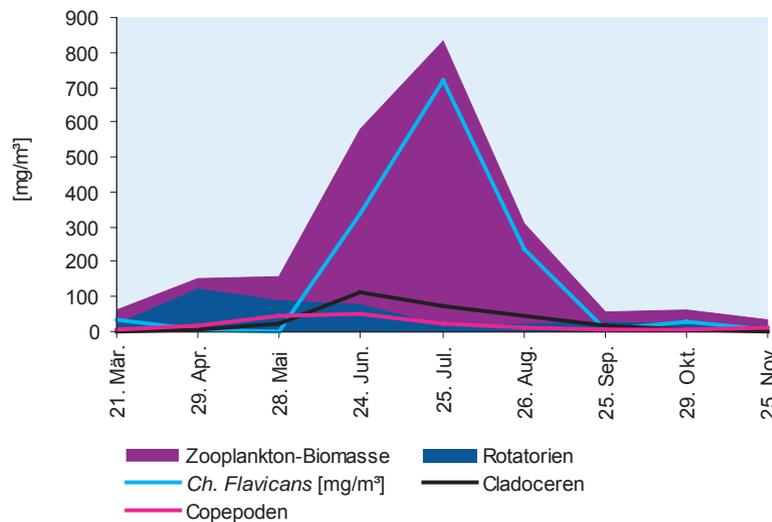


Abb. 39: Verteilung der Zooplankton-Biomasse [mg/m<sup>3</sup>] auf die Gruppen der Rotatorien, Cladoceren, Copepoden und *Chaborus flavicans* im Jahr 2002.

Der geringe Anteil der Rotatorien (13,5 %) ergibt sich nicht durch einen Rückgang der Rotatorien-Biomasse, sondern durch die beachtliche Zunahme von *Chaoborus flavicans*. Im Juli wird mit 830,8 mg/m<sup>3</sup> die maximale Zooplankton-Biomasse erreicht. *Chaoborus flavicans* ist mit 86 % dafür verantwortlich und erzielt im Juli eine Individuendichte von 3.338 Ind./m<sup>3</sup>. Am 26. August ist vor allem durch den Rückgang der *Chaoborus*-Population eine Abnahme der Zooplankton-Biomasse auf 311,8 mg/m<sup>3</sup> zu beobachten. Weiterhin stellen die Büschelmückenlarven einen Anteil von 75 % an der gesamten Zooplankton-Biomasse. Zum nächsten Termin im September beträgt die Biomasse der Büschelmückenlarven nur noch 8,3 mg/m<sup>3</sup> (15%), was in der Zooplankton-Biomasse (55,5 mg/m<sup>3</sup>) zum Ausdruck kommt. Auch bei den Crustaceen ist eine Abnahme zu verzeichnen, während die Rotatorien keine Änderung zeigen. Am 29. Oktober beträgt die Zooplankton-Biomasse 64,3 mg/m<sup>3</sup>. Dieser Biomasse-Anstieg ist wieder auf *Chaoborus flavicans* zurückzuführen. Die Biomasse der Crustaceen sinkt etwa auf die Hälfte des Vormonats (13 mg/m<sup>3</sup>), während die der Rotatorien gleich bleibt. Im November wird die niedrigste Zooplankton-Biomasse (33,6 mg/m<sup>3</sup>) im Jahr 2002 festgestellt. Auch die Rotatorien erzielen mit 39 % (16,21 mg/m<sup>3</sup>) ihre geringste Biomasse.

Wie Tabelle 9 zeigt, ist der Anteil der Rotatorien mit 18,6 % am Aufbau der Zooplankton-Biomasse (Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und *Chaoborus flavicans*) beteiligt. HERZIG & MOOG

(1976) stellen für die Rotatorien im Goggausee einen Biomasseanteil von 93 % fest (Abundanzanteil: 99,7 %). Die Autoren rechneten *Chaoborus flavicans* nicht in die Biomasse ein. Ohne Einberechnung dieser Büschelmückenlarve läge der Rotatorienanteil im Jahr 2002 bei ungewöhnlich hohen 47,8 %. Im Vergleich zu anderen Seen ist dieser Wert extrem hoch. So beträgt zum Beispiel die Rotatorien-Biomasse des als oligotroph eingestuftes Ratzteiches (Baggersee) bei Kirschentheur in Kärnten nur 1,3 % (FRESNER 1995) der Gesamtbiomasse, im mesotrophen Feldsee sind es lediglich 3,4 % (SCHARF 1995). Im eutrophen Hafnersee liegt der Anteil bei 25,5 % (RAKOBITSCH 1980) (vergleiche Tab. 9). Dieser Vergleich veranschaulicht, dass mit zunehmendem Nährstoffgehalt der Anteil der Rotatorien an der Gesamt-Biomasse des Zooplanktons steigt.

Tab. 9: Vergleich der Biomasse [mg/m<sup>3</sup>] der Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und *Chaborus flavicans*.

Datum	Rotatorien mg/m <sup>3</sup>	Copepoden mg/m <sup>3</sup>	Cladoceren mg/m <sup>3</sup>	<i>Chaborus flavicans</i> mg/m <sup>3</sup>	Summe mg/m <sup>3</sup>
21.03.2002	20,89	7,13	0,07	34,73	62,82
29.04.2002	122,95	16,52	5,42	8,27	153,16
28.05.2002	87,46	45,19	24,21	0,00	156,87
24.06.2002	77,78	51,03	114,92	337,38	581,11
25.07.2002	19,17	22,63	71,23	717,77	830,8
26.08.2002	23,16	9,24	44,55	234,85	546,65
25.09.2002	26,04	4,39	16,83	8,27	55,53
29.10.2002	25,15	8,43	4,32	26,46	64,36
25.11.2002	16,21	10,49	0,31	6,62	33,63
<b>Mittelwert:</b>	<b>46,53</b>	<b>19,45</b>	<b>31,32</b>	<b>152,71</b>	<b>250,01</b>
%	18,61	7,78	12,53	61,08	100

## Abundanz

In Tabelle 10 sind die Abundanzen der Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und von *Chaoborus flavicans* angeführt. Im Untersuchungsjahr 2002 wurden im Goggausee mit *Mesocyclops leuckarti* ein cyclopoider Copepode und mit *Eudiaptomus gracilis* ein calanoider Copepode nachgewiesen. HERZIG & MOOG (1976) stellten mit *Cyclops (strenuus) abyssorum* neben *Mesocyclops leuckarti* noch einen zweiten cyclopoiden Copepoden fest und bemerkten im Gegensatz zu den aktuellen Aufsammlungen das Fehlen eines calanoiden Copepoden. Dieses Fehlen wurde ebenso von FINDENEKG (1963) erwähnt und mit dem Vorkommen von *Chaoborus flavicans* in Verbindung gebracht. Der von der Büschelmückenlarve ausgehende Fraßdruck erklärt auch die geringen Abundanzen (24 %) von *Eudiaptomus gracilis* und die der Cladoceren (19 %) im Crustaceenplankton.

Unter den Cladoceren fanden sich *Daphnia longispina*, *Ceriodaphnia pulchella* und *Bosmina longirostris*, die auch von HERZIG & MOOG (1976) determiniert wurden. Mit *Diaphanosoma brachyurum* und *Chydorus sphaericus* wurden im Jahr 2002 zwei weitere Cladoceren bestimmt.

## Rotatoria

Der Goggausee weist mit 21 Rotatorien eine große Artenvielfalt auf. In seiner Abundanzausprägung dominierten im Jahresverlauf zwei Arten. Dies war einerseits *Keratella cochlearis* mit 66 % und andererseits *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* mit 16 % Anteil an der Rotatorienabundanz. Alle anderen Rotatorienarten lagen unter 10 % und waren nicht zu allen Terminen anzutreffen. In Bezug auf die Abundanz dominieren die Rotatorien mit fast 97 % das tierische Plankton. Dieser ungewöhnlich hohe Anteil der Rotatorien im Goggausee wird nicht nur während des Untersuchungsjahres 2002 (max. 99,6 %; min. 85,4 %) sondern auch von HERZIG & MOOG (1976) beschrieben.

Der Abundanzverlauf der Rotatorien für das Untersuchungsjahr 2002 ist wie folgt zu beschreiben. Zum ersten Beprobungstermin am 21. März ist für die Rotatorien eine Dichte von 1,06 Mio. Ind./m<sup>3</sup> festzustellen. Sie erzielten am 29. April ein Frühjahresmaximum mit einer Abundanz von 4,14 Mio. Ind./m<sup>3</sup>. Dieses Entwicklungsmaximum wird hauptsächlich von *Keratella cochlearis* (73 %) und *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* (25 %) gebildet. Zur nächsten Probenahme am 28. Mai sinkt die Gesamt-Abundanz der Rotatorien auf 1,69 Mio. Ind./m<sup>3</sup>. Vor allem die dominanten Populationen wie *Keratella cochlearis* (48 %) und *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* (20 %) verzeichnen einen Rückgang in der Individuendichte. Mit 22 % gesellt sich *Gastropus stylifer* zu den dominierenden Arten. Am 24. Juni

Tab. 10: Vergleich der Abundanzen [Ind./m<sup>3</sup>] der Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und *Chaborus flavicans*.

Datum	Rotatorien Ind./m <sup>3</sup>	Copepoden Ind./m <sup>3</sup>	Cladoceren Ind./m <sup>3</sup>	<i>Chaborus flavicans</i> Ind./m <sup>3</sup>	Summe Ind./m <sup>3</sup>
21.03.2002	1.064.877	12.254	38	161	1.077.169
29.04.2002	4.144.323	33.254	969	38	4.178.546
28.05.2002	1.693.300	65.946	3.785	0	1.763.031
24.06.2002	1.085.723	62.231	85.154	1.569	1.233.108
25.07.2002	503.792	29.746	28.085	3.338	561.623
26.08.2002	219.723	24.692	11.769	1.092	256.185
25.09.2002	467.154	10.415	2.415	38	479.985
29.10.2002	1.160.686	9.923	600	123	1.171.209
25.11.2002	1.109.923	4.700	77	30	1.114.700
<b>Mittelwert:</b>	<b>1.272.167</b>	<b>28.129</b>	<b>14.766</b>	<b>710</b>	<b>1.315.772</b>
%	96,69	2,14	1,12	0,05	100

ist eine weitere Dominanzänderung der Rotatorienarten bei einer Gesamtabundanz von 1,18 Mio. Ind./m<sup>3</sup> zu bemerken. Die Präsenz von *Keratella cochlearis* bleibt mit 43 % ähnlich wie im Monat zuvor. *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* (7 %) hingegen wird von *Ascomorpha saltans* (16 %), *Gastropus stylifer* (14 %) und *Testudinella patina* (9 %) verdrängt. Im Juli ist ein weiteres Absinken der Gesamtindividuenzahl der Rotatorien bis auf 0,5 Mio. Ind./m<sup>3</sup> zu verzeichnen. *Keratella cochlearis* nimmt von 43 % des Vormonats auf 22 % ab, und prägt mit *Ascomorpha saltans* (29 %) und *Ascomorpha ecaudis* (22 %) das Rotatorienplankton. Am 26. August ist die geringste Individuendichte mit 0,218 Mio Ind./m<sup>3</sup> zu verzeichnen. *Keratella cochlearis* f. *hispida* (32 %), *Keratella cochlearis* (16 %), *Trichocerca capucina* (17 %), *Hexarthra mira* (11 %) und *Trichocerca cylindrica* (8 %) bilden die dominanten Arten. Am 25. September steigt die Rotatorienzahl leicht an (0,46 Mio. Ind./m<sup>3</sup>) und gipfelt im Oktober in einem herbstlichen Maximum (1,161 Mio Ind./m<sup>3</sup>), welches deutlich kleiner ausfällt als das im Frühjahr. Im September nimmt *Keratella cochlearis* auf 40 % und im Oktober auf 85 % der Zooplankton-Biomasse zu. Zum letzten Beprobungstermin am 25. November ist die Abundanz der Rotatorien mit 1,110 Mio. Ind./m<sup>3</sup> kaum geringer als im Vormonat und *Keratella cochlearis* dominiert mit 92 %.

### *Keratella cochlearis* (GOSSE 1851) und *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* Gruppe

*Keratella cochlearis* (Foto 6), als eurytherme Art, ist in fast allen stehenden Gewässern vorkommend, lediglich acide und hypertrophierte Gewässer werden gemieden (KOSTE 1978). HERZIG (1987) beschreibt sie als eine typisch perennierende Art, die ihren Peak zu einem beliebigen Zeitpunkt ausbildet. Auch *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* (Foto 7), als perennierende Form, ist in jeder Probe.

Abbildung 40 zeigt den Entwicklungsverlauf der beiden Arten. Zu erkennen ist, dass sie ihre maximalen Abundanzen zeitlich getrennt

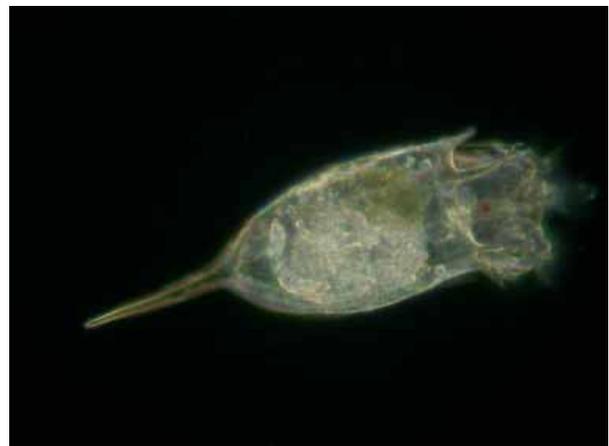


Foto 6: *Keratella cochlearis*. Foto: G. Santner

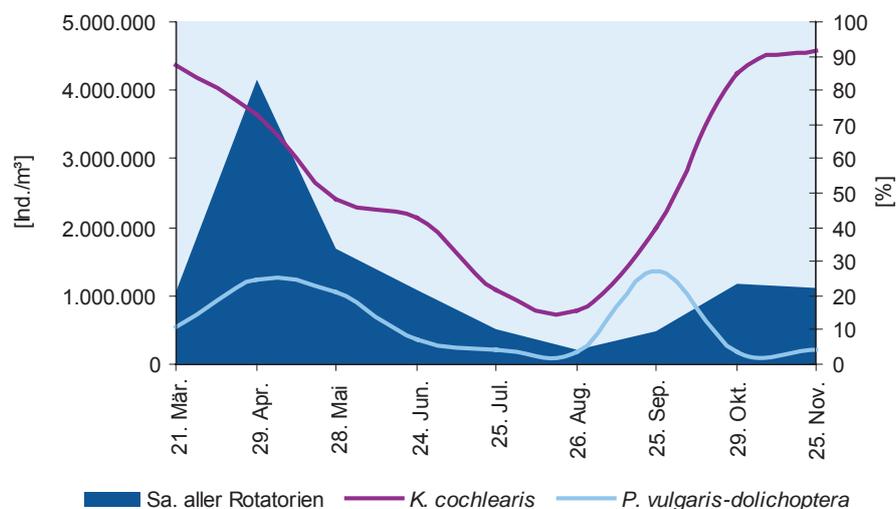


Abb. 40: Prozentuelle Verteilung der Individuendichte [%] von *Keratella cochlearis* und *Polyarthra vulgaris-dolichoptera* Gruppe im Goggaussee im Jahr 2002.

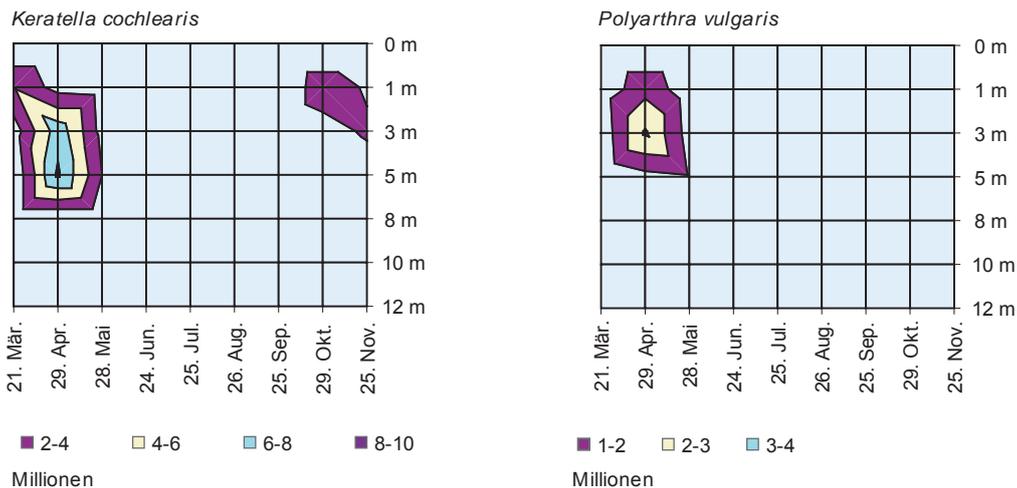


Abb. 41: Aufenthaltstiefen von *Keratella cochlearis* (links) und *Polyarthra vulgaris-dolichopectera* (rechts) [Mio. Ind./m<sup>3</sup>] im Goggaussee im Jahr 2002.

ausgebildet haben, wobei *Keratella cochlearis* stets die dominante Art ist. Laut POURRIOT (1977) ernähren sich beide Arten ausschließlich phytophag. Als Nahrung kommen Nanoplanktonalgen wie *Cryptomonas* sp. (POURRIOT 1977), kleine Chrysomonaden, Flagellaten und kleine chlorococcale Formen (NAUWERCK 1963) in Frage, welche im Goggaussee im Untersuchungs-jahr verfügbar sind. Ihr Nahrungsanspruch macht *Keratella cochlearis* und *Polyarthra vulgaris-dolichopectera* zu Nahrungskonkurrenten. Im Goggaussee wird eine direkte Nahrungskonkurrenz neben der zeitlichen Trennung der Entwicklungsmaxima auch durch eine Trennung der bevorzugten Aufenthaltstiefen der Arten umgangen (Abb. 41). Demnach befindet sich ein Großteil der Population von *Keratella cochlearis* in 5 m und von *Polyarthra vulgaris-dolichopectera* in 3 m Tiefe.

### *Ascomorpha saltans* BRATSCHE 1870

Als Kosmopolit bewohnt *Ascomorpha saltans* (Foto 8) das Pelagial und Litoral oligo- bis mesotropher Gewässer (KOSTE 1978). Im Goggaussee ist *Ascomorpha saltans* im Juni (178.353 Ind./m<sup>3</sup>) und Juli (148.423 Ind./m<sup>3</sup>) im Plankton anzutreffen (Abb.42). Die bevorzugte Aufenthaltstiefe liegt zwischen 1 und 3 m. Als stenophage Art ist sie eng an das Vorkommen geeigneter Nahrungsalgen gebunden. Daher ist stets ein gleichzeitiges Auftreten von *Ascomorpha*-Arten mit Dinoflagellaten zu beobachten. Die Nahrungsalgen werden vom Rädertier angebohrt und ausgesaugt (POURRIOT 1977, KOSTE 1978). Bisher wurde ein Vorkommen von *Ascomorpha saltans* vorwiegend in oligo- bis mesotrophen Seen beobachtet. Im schwach eutrophen Goggaussee ist sie zeitlich und



Foto 7: *Polyarthra vulgaris-dolichopectera*. Foto: G. Santner



Foto 8: *Ascomorpha saltans*. Foto: [http://data.acnatsci.org/biodiversity\\_databases/rotifer](http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer)

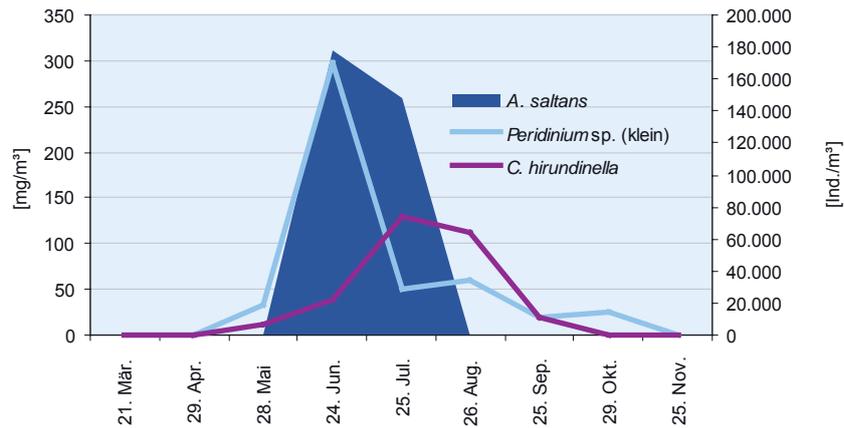


Abb. 42: Abundanz [Ind./m<sup>3</sup>] von *Ascomorpha saltans* im Goggausee im Jahr 2002 verglichen mit der Biomasse [mg/m<sup>3</sup>] von *Peridinium* sp. (klein) und *Ceratium hirundinella*.

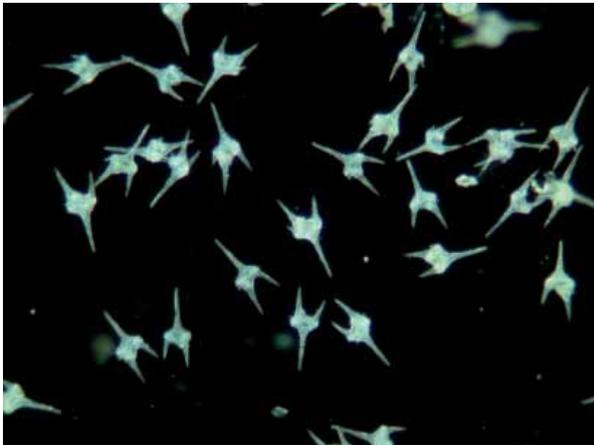


Foto 9: *Ceratium hirundinella*. Foto: G. Santner

räumlich eng an das Vorkommen von Dinoflagellaten, vor allem *Ceratium hirundinella* (Foto 9) und *Peridinium* sp. (klein) gekoppelt (Abb 42).

### ***Gastropus stylifer* IMHOFF 1891**

*Gastropus stylifer* (Foto 10) ist im Goggausee von April bis August mit einer kleinen Population im Plankton vertreten, wobei im Mai maximal 393.692 Ind./m<sup>3</sup> beobachtet werden (Abb. 43). Die Hauptaufenthaltstiefen sind zwischen 1 und 3 m anzugeben. Als stenophage Art ist ihr Auftreten ebenfalls sehr an das Vorkommen von Dinoflagellaten (*Peridinium* sp., *Gymnodinium helveticum* und *Ceratium hirundinella*) (RUTTNER-KOLLISKO 1972) gekoppelt, deren Zellinhalt sie so wie *Ascomorpha saltans* anbohrt und aussaugt.

In Abbildung 43 ist der Bezug zu den geeigneten Nahrungsalgen grafisch dargestellt. Diese Räuber-Beute-Beziehung lässt sich folgendermaßen beschreiben: Im März (408 mg/m<sup>3</sup>) und April (298 mg/m<sup>3</sup>) des Jahres 2002 sind die Dinoflagellaten fast ausschließlich durch *Gymnodinium helveticum* vertreten. Mit dem Anstieg der Wassertemperatur und dem geeigneten Nahrungsangebot beginnt sich auch *Gastropus stylifer* zu vermehren. Der Fraßdruck auf *Gymnodinium helveticum* führt neben anderen Faktoren (Nährstoffverknappung) im Mai zum Rückgang der Algenpopulation auf 64 mg/m<sup>3</sup> und zur maximalen Entwicklung der Population von *Gastropus stylifer* mit 383.692 Ind./m<sup>3</sup>. Im Juni nimmt die Populationsdichte von *Gastropus stylifer* auf 160.384 Ind./m<sup>3</sup> ab. Das weitere Schwinden von *Gastropus stylifer* (Juli: 9.250 Ind./m<sup>3</sup>) beruht weniger auf einem Mangel an Nahrungsangebot als viel mehr auf dem Konkurrieren um dasselbe Nahrungsspektrum



Foto 10: *Gastropus stylifer*. Foto: R. Fresner

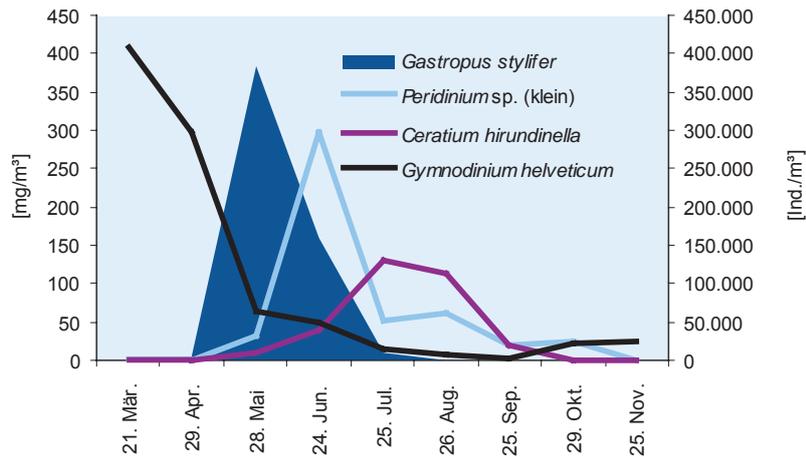


Abb. 43: Abundanz [Ind./m³] von *Gastropus stylifer* im Goggaussee im Jahr 2002 verglichen mit der Biomasse [mg/m³] von *Peridinium* sp. (klein), *Gymnodinium helveticum* und *Ceratium hirundinella*.

mit *Ascomorpha saltans*, die scheinbar effizienter *Ceratium hirundinella* aussaugen kann (Abb. 43).

**Hexarthra mira (HUDSON, 1871)**

*Hexarthra mira* (Foto 11) lebt im Plankton erwärmter Seen und Teiche sowie im Brackwasser und ernährt sich von Detritus (KOSTE 1978). Im Goggaussee tritt *H. mira*, als sommerwarme Seen besiedelnde Art, von Mai bis September im Plankton auf (Abb. 44). Auch die Aufenthaltstiefe von 1 bis maximal 3 m (Abb. 45) spricht für die Besiedelung der durchwärmten Wasserschichten.



Foto 11: *Hexarthra mira*. Foto: [http://data.acnatsci.org/biodiversity\\_databases/rotifer](http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer)

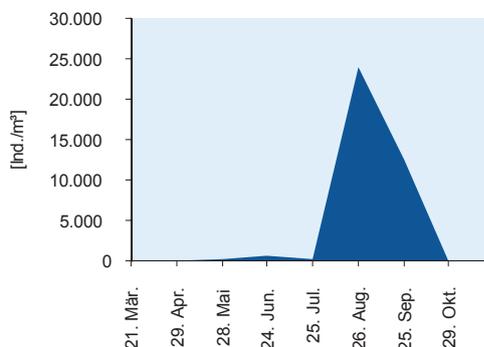


Abb 44: Individuendichte [Ind./m³] von *Hexarthra mira* [Ind./m³] im Goggaussee im Jahr 2002.

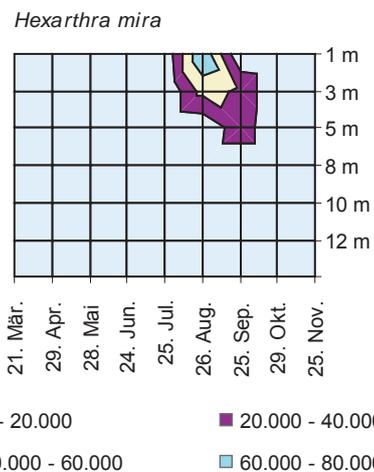


Abb. 45: Tiefenverteilung von *Hexarthra mira* [Ind./m³] im Goggaussee im Jahr 2002.

## Crustaceen

Von den sieben im Goggaussee angetroffenen Crustaceen sind die beiden vorkommenden Copepoden, *Eudiaptomus gracilis* und *Mesocyclops leuckarti* das ganze Jahr über anzutreffen. Die Cladoceren, *Bosmina coregoni*, *Daphnia longispina* und *Ceriodaphnia pulchella* fehlen je nur zu einem Termin. *Chydorus sphaericus* und *Diaphanosoma brachyurum* treten je nur zu einem Termin auf.

Zu Beginn des Untersuchungsjahres im März sind die Crustaceen mit 12.292 Ind./m<sup>3</sup> abundant. Die cyclopoiden Nauplien, die jungen Entwicklungsstadien von *Mesocyclops leuckarti*, stellen 90 % des Crustaceenplanktons. Auch zum nächsten Termin Ende April sind die Crustaceen hauptsächlich durch die Entwicklungsstadien (Nauplien, Copepodide und Adulte) von *M. leuckarti* (84 %) vertreten, wobei ein deutlicher Anstieg der Crustaceenabundanz auf 34.223 Ind./m<sup>3</sup> stattfindet. *Daphnia longispina* und *Ceriodaphnia pulchella* treten erstmals in den Proben auf. Im Mai ist eine weitere Zunahme der Crustaceendichte bis auf 69.730 Ind./m<sup>3</sup> zu verzeichnen, wobei ein Rückgang von *Mesocyclops leuckarti* auf 61 % und eine Zunahme von *Eudiaptomus gracilis* auf 33 % beobachtet wird. Ende Juni zeigen die Crustaceen mit 147.385 Ind./m<sup>3</sup> ihre maximale Abundanz. Zu diesem Termin dominieren die Cladoceren mit 57 %, wobei 42 % der Crustaceenabundanz von *Ceriodaphnia pulchella* gebildet werden. Mit 57.813 Ind./m<sup>3</sup> ist im Juli ein starker Rückgang der Crustaceen mit einem ausgeglichenen Verhältnis zwischen Copepoden (42 %) und Cladoceren (49 %) zu bemerken. Bis zum nächsten Termin am

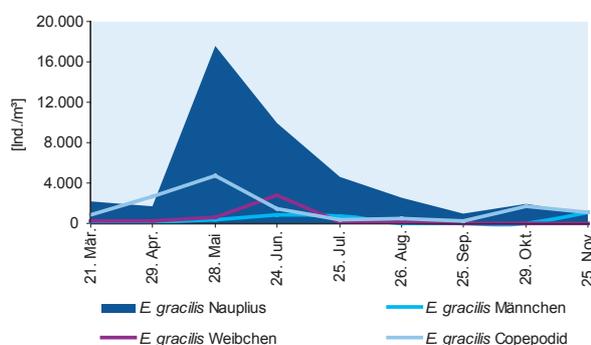


Abb. 46: Individuendichten der Entwicklungsstadien von *Eudiaptomus gracilis* [Ind./m<sup>3</sup>] im Goggaussee im Jahr 2002.

26. August sind wieder die Copepoden mit vorwiegend den cyclopoiden Nauplien und Copepodiden dominant. Während von *Eudiaptomus gracilis* 107 Adulte im m<sup>3</sup> gezählt werden können, sind von *Mesocyclops leuckarti* fast keine mehr zu finden. Die Cladoceren sind nur durch *Daphnia longispina* (5.446 Ind./m<sup>3</sup>) und *Ceriodaphnia pulchella* (6.169 Ind./m<sup>3</sup>) in nennenswerten Größen vorhanden. Bemerkenswert ist, dass *Diaphanosoma brachyurum*, eine wärmeliebende Art, nur in dieser Probe mit 38 Ind./m<sup>3</sup> gezählt wird. Im September sind die Crustaceen mit 3 % (12.830 Ind./m<sup>3</sup>) an der Zooplanktonabundanz beteiligt. Dominant sind dabei die juvenilen Stadien von *Mesocyclops leuckarti* (72 %) und *Eudiaptomus gracilis* (9 %). Auch im Oktober bleibt die Abundanz der Crustaceen mit 10.523 Ind./m<sup>3</sup> niedrig. Bis zum letzten Termin am 25. November sinkt die Individuendichte bis auf 4.777 Ind./m<sup>3</sup> ab. Wie in den Monaten zuvor sind hauptsächlich Nauplien und Copepodide vorhanden.

Eine Tierart, die bei der Abundanz nicht auffällt, ist die Büschelmücke *Chaoborus flavicans*. Im Untersuchungsjahr 2002 ist *Chaoborus flavicans* in vergleichsweise geringen Individuendichten (zwischen 30 und 3.338 Ind./m<sup>3</sup>) im Goggaussee anzutreffen.

### *Eudiaptomus gracilis* G. O. Sars 1862

*Eudiaptomus gracilis* (Foto 12) ist der häufigste Diaptomidae Europas und ist in Kärnten weit verbreitet. Er bewohnt Seen, Teiche und Weiher. Als perennierende Art bildet er in vielen Gewässern einen dominierenden Planktonbestandteil. Seine Entwicklungsmaxima bildet er zu unterschiedlichen Jahreszeiten aus (KIEFER & MUCKLE 1959, EINSLE 1966). Im Goggaussee ist *Eudiaptomus gracilis*, als Vertreter der calanoiden Copepoden, mit seinen Entwicklungsstadien (Nauplien, Copepodide und Adulte) (Abb. 46) das ganze Jahr über in den Planktonfängen anzutreffen. HERZIG & MOOG (1976) und FINDENEGG (1963) hingegen konnten diese Art nicht nachweisen und brachten das Fehlen mit dem Vorkommen der Büschelmücke, *Chaoborus flavicans*, in Verbindung. Diese Büschelmückenlarven üben einen erheblichen Fraßdruck auf das



Foto 12: *Eudiaptomus gracilis*. Foto: G. Santner



Foto 13: *Mesocyclops leuckarti*. Foto: G. Santner

Zooplankton aus. Experimentelle Untersuchungen in den 1970er Jahren (KAJAK & RANKE-RYBICKA 1970, SWÜSTE et al. 1973, ANDERSON & RAASVELDT 1974) haben ergeben, dass sie sich bevorzugt von calanoiden Copepoden und Cladoceren ernähren. Ein erster Entwicklungsanstieg der Weibchen (2.777 Ind./m<sup>3</sup>) und Männchen (861 Ind./m<sup>3</sup>) von *Eudiaptomus gracilis* ist im Juni gegeben, als die Entwicklungsstadien der Nauplien und Copepodide abgenommen haben (Abb. 46). Ein zweiter Abundanzanstieg wird im November mit einer Zunahme der männlichen Tiere (1.038 Ind./m<sup>3</sup>) festgestellt.

### **Mesocyclops leuckarti (CLAUS 1857)**

Im Goggausee wird *Mesocyclops leuckarti* (Foto 13), der als Kosmopolit mit monozyklischem Entwicklungsverlauf in allen Erdteilen und Klimazonen anzutreffen ist, als einziger Vertreter

der Cyclopoidae bestimmt. Er bewohnt verschiedene kleinere Gewässer, wie Weiher, Teiche, Altwässer und verschiedenste Tümpel (außer temporäre) sowie das Pelagial größerer Seen. Der saisonale Abundanzverlauf von *Mesocyclops leuckarti* im Goggausee entspricht den Angaben zahlreicher Autoren (NAUWERCK, 1963; EINSLE, 1968; MITTERHOLZER, 1970; KIEFER, 1978; WAPPIS, 1980, RAKOBITSCH, 1985), die ein Maximum im Frühsommer beobachteten. Der Jahreszyklus ist allgemein durch eine winterliche Entwicklungsstagnation im vierten oder fünften Copepodidstadium gekennzeichnet. Mit zunehmender Erwärmung des Sees reifen die Copepodidstadien rasch heran und produzieren Eier, aus denen die Sommergeneration hervorgeht. Im Goggausee treten die geschlechtsreifen Tiere im Mai (Männchen 5.738 Ind./m<sup>3</sup>) und Juni (Weibchen 4.792 Ind./m<sup>3</sup>) maximal in Erscheinung (Abb. 47) und begründen die neue Generation, die durch den zweiten Anstieg der Nauplien im August eingeleitet wird.

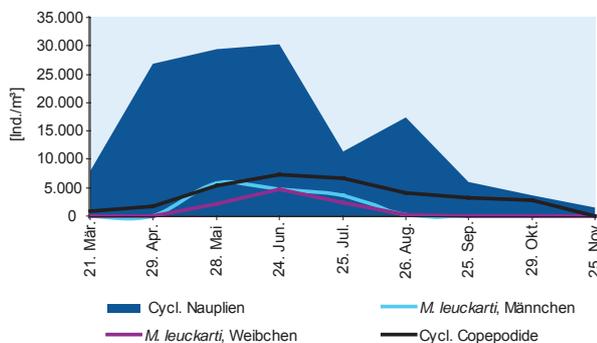


Abb 47: Individuendichten der Entwicklungsstadien von *Mesocyclops leuckarti* [Ind./m<sup>3</sup>] im Goggausee im Jahr 2002.

### **Daphnia longispina O. F. MÜLLER, 1785**

*Daphnia longispina* (Foto 14) ist ein typischer Bewohner von eutrophen flachen aber nicht austrocknenden Kleingewässern, Weihern und Altwässern. In Fischteichen der Niederungen und des Hügellandes bildet diese Art den vorherrschenden Bestandteil des Zooplanktons. Sie besiedelt auch schwach verschmutzte Dorfteiche, nährstoffreiche Talsperren und selten Seen. In Humusgewässern wird sie bis zu einem pH-Wert von 5 angetroffen. Sie neigt zur Überwinterung, kommt aber meist nur von Mitte April bis Ende

November, bisweilen in den Dezember hinein, vor. Monozyklische Populationen treten nicht selten in Kleingewässern mit Entfaltungsgipfel im Sommer auf. *D. longispina* ist mit Ausnahme vom 28. März im Goggausee zu allen Beprobungsterminen vertreten und lässt einen eingipfeligen Entwicklungsverlauf erkennen (Abb. 48). Eine maximale Populationsdichte zeigt sich im Juni mit 11.646 Ind./m<sup>3</sup>.



Foto 14: *Daphnia longispina*. Foto: G. Santner

Grenze der Sprungschicht vorkommt (FLÖSSNER 1972). Während der Sommermonate herrscht parthenogenetische (Jungferzeugung) Vermehrung vor. Im Herbst (September) erscheinen Männchen und schließlich kommt es zu Bildung von Dauereiern, die überwintern und die nächste Generation bilden (FLÖSSNER 1972). Im Goggausee ist *Diaphanosoma brachyurum* nur im August mit 38 Ind./m<sup>3</sup> anzutreffen.



Foto 15: *Diaphanosoma brachyurum*. Foto: R. Fresner

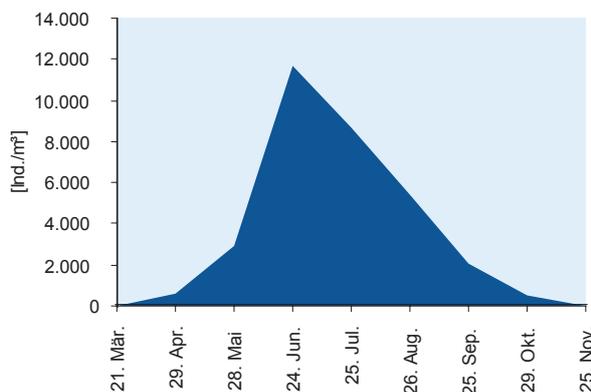


Abb. 48: Individuendichten [Ind./m<sup>3</sup>] von *Daphnia longispina* im Goggausee im Jahr 2002.

### ***Diaphanosoma brachyurum* LIEVEN 1848**

*Diaphanosoma brachyurum* (Foto 15) tritt als gemäßigte Warmwasserform erst bei höheren Wassertemperaturen im Pelagial und häufig auch im Litoral nicht zu nährstoffarmer Seen in Erscheinung, wo die Art meist epilimnisch bis zur oberen

### ***Ceriodaphnia pulchella* SARS 1862**

*Ceriodaphnia pulchella* ist ein typischer Vertreter des Teichplanktons und entwickelt sich optimal in eutrophen, humusarmen, schwach sauren bis alkalischen Gewässern. Die Art besiedelt neben Teichen verschiedener Größe auch kleine Seen. Die kleinen Cladoceren kann man von April bis Dezember im Plankton antreffen. Gewöhnlich sind sie dzyklisch, mit schwachem Dichtemaximum im Frühsommer und einem stärkeren im Herbst. Gelegentlich treten auch monozyklische Populationen auf (FLÖSSNER 1972). Im Goggausee ist *Ceriodaphnia pulchella* von Ende April bis November vertreten. Allerdings sind im April, Oktober und November nur wenige Exemplare beobachtet worden. Ein Populationsmaximum wird im Juni mit 61.653 Ind./m<sup>3</sup> erreicht (Abb. 49).

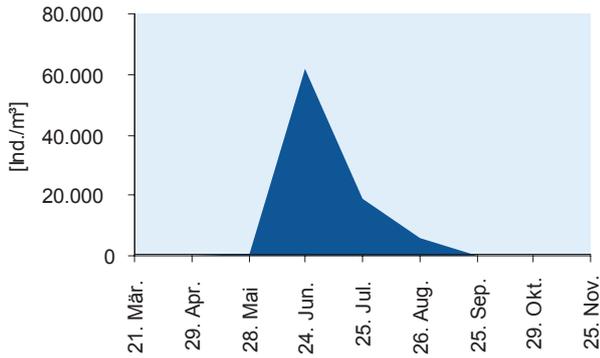


Abb. 49: Individuendichten [Ind./m³] von *Ceriodaphnia pulchella* im Goggaussee im Jahr 2002.

### Räuber-Beute-Beziehungen

Der durchschnittliche Biomasseanteil des sich herbivor ernährenden Zooplanktons liegt im Jahr 2002 bei 36,1 %. Neben den Cladoceren finden sich in dieser Gruppe alle Nauplien, Copepodide und Adulte der calanoiden Copepoden sowie die Rotatorien, die speziell im Frühjahr einen beachtlichen Biomasseanteil erzielen. Als räuberischer Zooplanktonorganismus ist für den Goggaussee nur *Mesocyclops leuckarti* zu nennen. Eine räuberische Cladocere wird nicht beobachtet. Mit *Chaoborus flavicans* beherbergt der Goggaussee eine Insektenlarve, die neben den Fischen einen großen Einfluss

auf die Populationsentwicklung der Rotatorien und Crustaceen nimmt. Die Larven von *Chaoborus flavicans* bilden den größten Teil der Zooplankton-Biomasse (Rotatorien, Crustaceen, *Chaoborus*-Larven) mit einem Jahresdurchschnittswert von 62 %.

Die Abundanz sowie die saisonale Sukzession der Insektenlarve könnte aufgrund ihres Verhaltens, sich tagsüber in Bodennähe aufzuhalten, unterschätzt werden. Zudem wurden im Mai und September nur bis in 8 m Tiefe Proben gezogen, da eine sauerstofffreie Tiefenschicht festgestellt worden ist. Die Larven dieser Büschelmücke kommen im Pelagial, sowie im Sediment vor. Ältere Stadien sind in der Lage, sich über längere Zeit im sauerstofffreien Tiefenwasser aufzuhalten, eine Strategie, die zur Verminderung des Fraßdruckes durch Fische beiträgt. Die Larve selbst hingegen übt einen starken Fraßdruck auf das Zooplankton aus. Daher ist *Chaoborus flavicans* im Goggaussee mitverantwortlich für die geringen Abundanzen des Crustaceenplanktons (FINDENEGG 1963, LÖFFLER et al 1975, HERZIG & MOOG 1976) und in weiterer Folge verantwortlich für die hohe Individuendichte der Rotatorien. Sie können das Nahrungsangebot aufgrund geringer Konkurrenz besser nutzen.

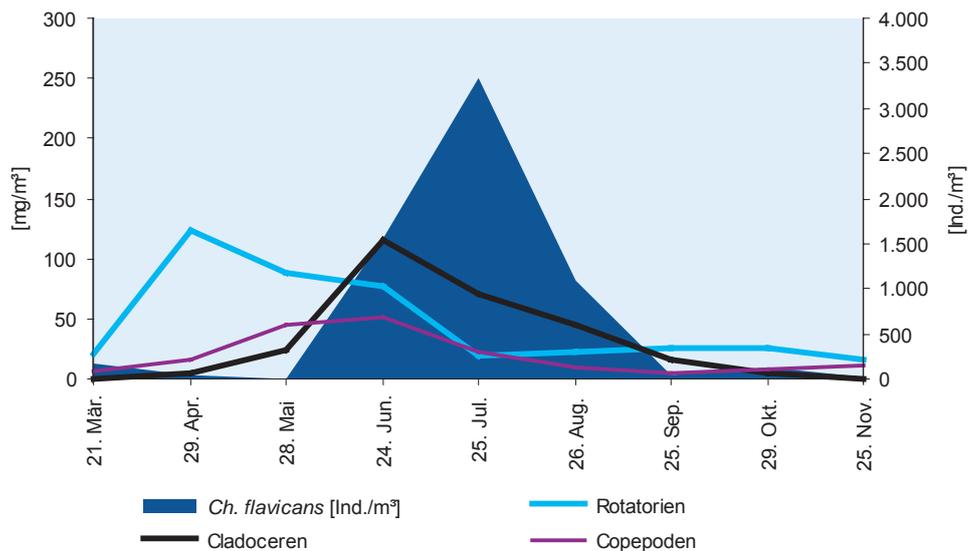


Abb. 50: Räuber-Beute-Beziehung zwischen dem Räuber, *Chaoborus flavicans* [Ind./m³] und den Beutegruppen Rotatoria, Copepoda und Cladocera [mg/m³] im Goggaussee im Jahr 2002.

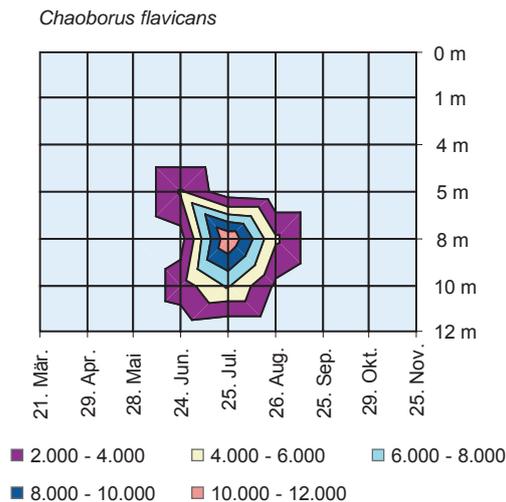


Abb. 51: Tiefenverteilung von *Chaoborus flavicans* im Gogga-see im Jahr 2002.

Der Lebenszyklus von *Chaoborus flavicans* wird eingehend von PARMA (1971) beschrieben. Aus den im Sommer im Litoral abgelegten Eiern schlüpfen nach 2 bis 4 Tagen die ersten Larvenstadien (L1). Insgesamt werden 4 Larvalstadien durchlaufen. Die ersten beiden Larvenstadien sind rein pelagische Formen und positiv phototaktisch. Mit dem 3. Larvenstadium beginnt eine benthische Lebensweise. Die längste Zeit seines Lebens verbringt *Chaoborus flavicans* im 4. Larvenstadium. Dieses Larvenstadium lebt tagsüber benthisch und vollführt Vertikalwanderungen in der Nacht. Im Gogga-see geht mit dem Auftreten von *Chaoborus flavicans* (Foto 16) in den Sommermonaten ein Rückgang der Biomasse der Rotatorien, der Cladoceren und der Copepoden einher (Abb. 50). Als Hauptaufenthaltstiefe ist der Bereich zwischen 6 und 9 m anzugeben, wie aus Abbildung 51 zu entnehmen ist.

Der Gogga-see hat eine sehr hohe Rotatorien-dichte. Die Crustaceen sind eher durch kleine Arten, wie *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia pulchella* oder *Mesocyclops leuckarti*, vertreten. Obwohl die Phytoplanktonbiomasse des Gogga-see sehr hoch ist, können sich hier keine großen Cladoceren, wie *Daphnia hyalina* oder carnivore Crustaceen, entwickeln. Nach LAMPERT (1987) spricht die Größenzusammensetzung des Planktons im Gogga-see, kleine Cladoceren und viele Rotatorien, für ein Szenario mit vielen großen Fischen. Diese würden die großen Filtrierer (vor allem große Cladoceren) und wegen der Ausbeu-

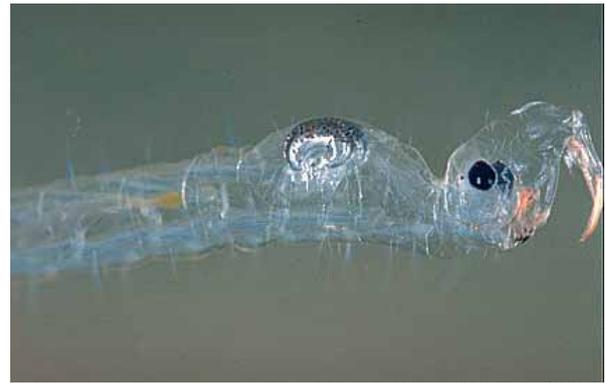


Foto 16: *Chaoborus flavicans*. Foto: <http://www.bioimages.org.uk>

tung dieser Ressource auch noch die mittleren Filtrierer und die carnivoren Zooplankter (zweite Wahl) fressen. Die kleinen Filtrierer werden vom Fraßdruck entlastet und bleiben übrig. Nun ist im Gogga-see aber kein übermäßiger Bestand an planktivoren Fischen vorhanden, der das Fehlen großer Zooplankter hinreichend erklären könnte. Für das Fehlen der größeren Zooplankter (Wasserflöhe) im Gogga-see kann die Dipterenlarve *Chaoborus flavicans* als planktivorer Räuber verantwortlich gemacht werden. Durch das zum Teil massive Auftreten dieser Büschelmückenlarve wird der Fraßdruck, vor allem auf die mittelgroßen Zooplankter, erheblich verstärkt.

Während in früheren Arbeiten über den Gogga-see (FINDENEGG 1963, HERZIG & MOOG 1976) keine calanoide Copepodenart angeführt ist, konnte bei der vorliegenden Untersuchung *Eudiaptomus gracilis* nachgewiesen werden. Im Gegenzug konnten keine Individuen von *Cyclops (strenuus) abyssorum* festgestellt werden, die bei der Untersuchung 1974 (HERZIG & MOOG 1976) determiniert wurde. Vermutlich erlag *Cyclops (strenuus) abyssorum* dem Fraßdruck der Büschelmückenlarve, während der agilere *Eudiaptomus gracilis* dem Fraßdruck entging und sich etablieren konnte.

Die Untersuchungen des Zooplanktons im Schwerpunktjahr erlauben es den, Gogga-see als „See der Rädertiere“ zu bezeichnen. Die Meromixis und damit verbunden die hohe Nährstoffkonzentration sowie die Insektenlarve *Chaoborus flavicans*, die dezimierend auf die Crustaceen (potentielle Nahrungskonkurrenten und Räuber) einwirkt, begünstigen die Entwicklung der Rotatorien.

# Literaturverzeichnis

- ANDERSON, R. S. & L. G. RAASVELDT (1974): *Gammarus* and *Chaoborus* predation. - Can. Wildlife Service, Occasional Papers, Nr. 18: 23 pp.
- BERGER, F. (1975): Zur Hydrochemie des Goggauses in Kärnten. - Carinthia II, 165./85.: 177-179, Klagenfurt.
- BOTRELL, H. H., A. DUNCAN, Z. M. GLIWICZ, E. GRYGIEREK, A. HERZIG, A. HILLBRECHT-ILKOWSKA, H. KURSAWA, P. LARSON & T. WEGLENSKA (1976): A review of some problems in zooplankton production studies. - Norw. J. Zool., 24: 419 - 456.
- BRENNER, T. (1975): Fische im Goggaussee. - Carinthia II, 165./85.: 191-196, Klagenfurt.
- DOKULIL, M. (1975): Phytoplankton, Primärproduktion und Bakterien im Goggaussee. - Carinthia II, 165./85.: 180-183, Klagenfurt.
- EINSLE, U. (1966): Die Buchenseen bei Radolfzell (Bodensee) und ihr Zooplankton. - Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, 9: 27 - 63.
- EINSLE, U. (1968): Die Gattung *Mesocyclops* im Bodensee. - Arch. Hydrobiol., 64 (2): 131-169.
- EINSLE, U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. - Süßwasserfauna von Mitteleuropa, 8/41: 208 pp.
- FINDENEGG, I. (1963): Ein meromiktischer Kleinsee, der Goggaussee in Kärnten. - Anz. d. Österr. Akademie der Wissenschaften, mathem.-naturwiss. Klasse, (7): 85-95.
- FLÖSSNER, D. (1972): Branchiopoda, Branchiura. - In: DAHL, F. (1972): Die Tierwelt Deutschlands, 60. Teil, Gustav Fischer Verlag: 501 pp, Jena.
- FRESNER, R. (1995): Populationsökologische Untersuchungen des Zooplanktons dreier Kärntner Baggerseen (Weizelsdorfer Badensee, Kirschentheur Badensee und Ferlacher Badensee). - Dissertation Univ. Graz: 257 pp.
- FRESNER, R. (1999): Reaktionen des Zooplanktons des Ossiacher Sees auf Fischbestands- und Trophieänderungen. - Carinthia II, 189./109.: 537-548, Klagenfurt.
- FRESNER, R., M. REICHMANN, G. SANTNER, M. MAIRITSCH, M. AMBROS, W. HONSIG-ERLENBURG, G. WEISSEL, B. HUMMITZSCH, J. PETUTSCHNIG & L. SCHULZ (2004): Der Millstätter See - Limnologische Langzeitentwicklung 1970-2002. - Veröffentlichung des Kärntner Institutes für Seenforschung: 61 pp, Klagenfurt.
- HERBST, H. V. (1962): Blattfußkrebse. - Kosmos - Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung: 130 pp, Stuttgart.
- HERZIG, A. & O. MOOG (1976): Die vertikale Verteilung des Zooplanktons im Goggaussee (Der Einfluß von Algen und *Chaoborus flavicans*). - Carinthia II, 166./86.: 373-385, Klagenfurt.
- HERZIG, A. (1987): The analysis of planktonic rotifers populations: A plea for long term investigations. - Hydrobiol. 157: 163-180.
- KAJAZ, Z. & B. RANKE-RYBICKA (1974): Feeding and production efficiency of *Chaoborus flavicans* Meigen larvae in eutrophic and dystrophic lakes. Pol. - Arch. Hydrobiol., 17, 1/2: 225-232.
- KIEFER, F. (1960): Ruderfußkrebse - Copepoda. - Kosmos - Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung: 97 pp, Stuttgart.
- KIEFER, F. & R. MUCKLE (1959): Beobachtungen am Crustaceenplankton des Überlinger Sees (Bodensee) 1957 - 1959. Das Auftreten der Arten im Jahresverlauf. - Beitr. naturk. Forsch. Südw.-Deutschl., 18: 5-41.
- KIEFER, F. (1978): Das Zooplankton der Binnengewässer 2. Teil. - Schweizb. Verlagsbuchhandlung.
- KOSTE, W. (1978): Rotatoria - Die Rädertiere Mitteleuropas - Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt. - 2. Auflage. neu bearbeitet von W. KOSTE, I Textband, Verlag Gebrüder Bornträger: 673 pp, Berlin, Stuttgart.
- LAMPERT, W. (1987): Predictability in lake ecosystems: The role of biotic interactions. - In: SCHULZE, E. D., H. ZWÖLFER (Hrsg.) Ecological Studies, Vol. 61: 333-346, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- LIEDER, U. (1996): Crustacea - Cladocera - Bosminidae. - Süßwasserfauna von Mitteleuropa, 8/2-3: 80 pp.
- LÖFFLER, H., E. SCHULZE, F. BERGER, M. DOKULIL, A. JANTSCH & T. BRENNER (1975): Arbeitsbericht der limnologischen Exkursion Goggaussee 1974 - Limnologische Lehrkanzlei der Universität Wien. - Carinthia II, 165./85.: 165-196, Klagenfurt.
- LÖFFLER, H. (1975): The onset of meromictic conditions in Goggaussee, Carinthia. - Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 2284-2289.
- MITTERHOLZER, E. (1970): Populationsdynamik und Produktion des Zooplanktons im Greifensee und Vierwaldstättersee. Schweiz. - Zeitschr. Hydrolog., 32: 91-147.
- NAUWERCK, A. (1963): Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. - Symbolae Botanicae Upsaliensis, XVII, 5: 163 pp.
- PARMA, S. (1971): *Chaoborus flavicans* Meigen: an autecological study. - Ph. D. thesis, Univ. Groningen: 128 pp.
- POURRIOT, R. (1977): Food and feeding habits of Rotifera. - Arch. Hydrobiol. Beih./Ergebn. Limnol., 8: 243-260.
- RAKOBITSCH, K. (1980): Die Abhängigkeit des Zooplanktons vom unterschiedlichen Trophiegrad des Hafnersees und Keutschacher Sees (Kärnten). - Dissertation Univ. Graz: 223 pp.
- RUTTNER-KOLLIŠKO, A. (1977): Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. - Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol., 8: 71-76.
- RUTTNER-KOLLIŠKO, A. (1972): Rotatoria, 99-234. In: BICK, H., G. BREITIG, TH. GROSPIETSCH, CH. HOLMQUIST, H. LÖFFLER, E. REISINGER, A. RUTTNER-KOLLIŠKO, O. A. SAETHER, J. SCHWOERBEL (1972): Die Binnengewässer Bd. XXVI, Das Zooplankton der Binnengewässer, 1. Teil, 294 pp, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SCHABER, P. (1974): Das Zooplankton (Metazoa) im Piburger See. - Dissertation Univ. Innsbruck: 152 pp.
- SCHARF, B. (1995): Räumliche und zeitliche Verteilung des Zooplanktons im hypolimnisch belüfteten Feldsee in Kärnten. - Diplomarbeit Univ. Graz: 189 pp.
- SWÜSTE, H., R. CREMER & S. PARMA (1973): Selective predation by larvae of *Chaoborus flavicans* (Diptera, Chaoboridae). - Verh. Int. Ver. Limnol., 18: 1559-1563.
- TAURER, M. (2002): Die Großmuscheln in den Stillgewässern Kärntens. - Carinthia II, Sonderheft, 59: 192 pp, Klagenfurt.

- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - Mitt. int. Verein Limnol., 9: 1-38.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1976): Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. - Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 33: 53-83.
- WAPPIS, E. (1980): Zur Populationsökologie des Zooplanktons des Ossiacher Sees. - Dissertation Univ. Graz: 168 pp.

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage des Goggausees.	7
Abb. 2:	Mittlere Temperaturen [°C] der Tiefenstufen: 0 m, 6 m, 8 m und 12 m im Jahresverlauf über den Zeitraum von 1978 bis 2002.	13
Abb. 3:	Temperaturen [°C] der Tiefenstufen: 0 m, 6 m, 8 m und 12 m zu den Einzelterminen des Jahres 2002.	13
Abb. 4:	Tiefenprofile der Wassertemperatur [°C] im Jahr 2002 (Detail: Wassertemperatur zwischen 8 m und 12 m).	14
Abb. 5:	Jahresmittel der Sichttiefen [m] im Zeitraum von 1974 bis 2003 mit Minimal- und Maximalwerten (n = Anzahl der Messungen pro Jahr).	14
Abb. 6:	Korrelation zwischen Sichttiefe [m] und epilimnischer Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] im Zeitraum von 1981 bis 2003.	15
Abb. 7:	Sichttiefe [m] im Jahr 2002 im Vergleich zur Entwicklung der Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] im Wasserkörper 0 bis 3 m.	15
Abb. 8:	Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees zur Zeit der Frühjahrstemperaturgleiche (dT < 3 °C, T <sub>min</sub> > 2 °C) im Zeitraum von 1987 bis 2003.	16
Abb. 9:	Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees zur Zeit der Herbsttemperaturgleiche (dT < 3 °C, T <sub>min</sub> > 2 °C) im Zeitraum von 1985 bis 2002.	17
Abb. 10:	Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees an Terminen mit Temperaturschichtung (dT > 10 °C) im Zeitraum von 1974 bis 2003.	17
Abb. 11:	Vergleich der jahreszeitlichen Entwicklung der Sauerstoffkonzentration [mg/l] im Tiefenprofil zwischen Goggaussee (2002) und Hafnersee (1974).	18
Abb. 12:	Mittlere Sauerstoffkonzentration [mg/l] mit Minimal- und Maximalwerten und Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] im Epilimnion (0 bis 6 m) des Goggausees im Jahr 2002.	19
Abb. 13:	Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees für das Jahr 2002.	20
Abb. 14:	Sauerstoffprofile [mg/l] des Goggausees während der Herbstzirkulation (November) ausgesuchter Termine von 1985 bis 2002.	20
Abb. 15:	Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	21
Abb. 16:	Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] des Goggausees im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	21
Abb. 17:	Gesamt-Phosphor-Konzentration [µg/l] im Epilimnion (0 bis 6 m; Grafik links) und im Monimolimnion (7 bis 12 m; Grafik rechts); Mittel-, Minimal- und Maximalwerte im Jahr 2002.	22
Abb. 18:	Gesamt-Phosphor-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m und mittlere Temperatur des Wasserkörpers von 0 bis 12 m [dt °C]; (oben links: absolut geteilt, oben rechts: relativ, unten links: absolut gesamt) im Jahr 2002.	23
Abb. 19:	Orthophosphat-P-Inhalt [kg] des Goggausees im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	24
Abb. 20:	Orthophosphat-P-Inhalt [kg] des Goggausees im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	24
Abb. 21:	Ammonium-N-Inhalt [kg] des Goggausees im Wasserkörper von 0 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	24
Abb. 22:	Ammonium-N-Inhalt [kg] im Wasserkörper von 0 bis 6 m und von 7 bis 12 m (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003 mit den gleitenden Durchschnitten über je 4 Perioden.	25
Abb. 23:	Nitrat-N-Inhalt des Goggausees im Epilimnion (0 - 6 m) und in der darunter liegenden Wassersäule (7 bis 12 m) (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte) von 1974 bis 2003.	25
Abb. 24:	Vertikalprofile der Konzentration der Parameter: Ammonium-N [mg/lx10], Nitrat-N [mg/lx100] und Sauerstoff [mg/l] des Goggausees im Jahr 2002.	26
Abb. 25:	pH-Werte des Goggausees im Zeitraum von 1979 bis 2002 (Jahresmittel-, Minimal- und Maximalwerte).	27
Abb. 26:	Mittel des pH-Wertes der einzelnen Tiefenstufen im Zeitraum von 1979 bis 2003 mit Minimal- und Maximalwerten.	27
Abb. 27:	Tiefenprofile des pH-Wertes in den Monaten des Jahres 2002 (blau) im Vergleich mit dem langjährigen Mittel von 1974 bis 2003 (lila).	28
Abb. 28:	Vergleich der mittleren Leitfähigkeit [µS/cm] von 48 Kärntner Seen mit der mittleren Leitfähigkeit des Goggausees von 1979 bis 2002.	29
Abb. 29:	Mittlere Konzentration [mg/l] der Elektrolyte: Kalzium, Magnesium, Natrium, Chlorid und Kalium im Goggaussee von 1979 bis 2003.	29
Abb. 30:	Jahresmittel der Leitfähigkeit [µS/cm] im Goggaussee mit Minimal- und Maximalwerten und linearer Regression seit 1978.	30
Abb. 31:	Änderung der Natrium- und Chlorid-Konzentration [mg/l] von 1987 bis 2003.	30
Abb. 32:	Änderung der Leitfähigkeit [µS/cm] in den Tiefenstufen: Oberfläche, 2 m, 6 m, 9 m, 10 m und über Grund im Untersuchungsjahr 2002 verglichen mit der Leitfähigkeit der Hauptzubringer an zwei Terminen (20. März und 25. September 2002).	30
Abb. 33:	Vergleich der mittleren Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] von 1990 bis 2003 aus 36 Kärntner Seen mit Minimal- und Maximalwerten (berechnet aus nicht interpolierten Werten).	32
Abb. 34:	Jahresmittel der epilimnischen Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] im Goggaussee von 1981 bis 2003 inklusiv Minimal- und Maximalwerte.	32
Abb. 35:	Oben: epilimnische (0 bis 6 m) Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ], unten: prozentueller Anteil der Algengruppen an der epilimnischen Algen-Biomasse von 1981 bis 2003.	33
Abb. 36:	Relation der epilimnischen (0 bis 6 m) Inhalte [kg] von Orthophosphat-P, Nitrat-N, Ammonium-N, Gesamtstickstoff und benötigtem Stickstoff von 1981 bis 2003 (n = Anzahl der Messungen).	34
Abb. 37:	Zusammensetzung der epilimnischen (0 bis 6 m) Algen-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] im Vergleich mit der Verhältniszahl anorganischer Stickstoff : Orthophosphat-P und der N-Limitierung 16 : 1 im Jahr 2002.	34
Abb. 38:	Sukzessive Änderung der Tiefenverteilung der dominanten Phytoplankton-Arten [mg/m <sup>3</sup> ]: <i>Anabena danica</i> , <i>Cryptomonas</i> sp. groß und mittel, <i>Peridinium</i> sp., <i>Fragilaria acus</i> und Chrysophyceen im Jahr 2002 (Hinweis: keine einheitliche Skalierung der x-Achse).	36

Abb. 39:	Verteilung der Zooplankton-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] auf die Gruppe der Rotatorien, Cladoceren, Copepoden und <i>Chaoborus flavicans</i> im Jahr 2002.	40
Abb. 40:	Prozentuelle Verteilung der Individuendichte [%] von <i>Keratella cochlearis</i> und <i>Polyarthra vulgaris-dolichoptera</i> Gruppe im Goggaussee im Jahr 2002.	43
Abb. 41:	Aufenthaltstiefen von <i>Keratella cochlearis</i> (links) und <i>Polyarthra vulgaris-dolichoptera</i> [Mio. Ind./m <sup>3</sup> ] (rechts) im Goggaussee im Jahr 2002.	44
Abb. 42:	Abundanz [Ind./m <sup>3</sup> ] von <i>Ascomorpha saltans</i> im Goggaussee im Jahr 2002 verglichen mit der Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] von <i>Peridinium</i> sp. (klein) und <i>Ceratium hirundinella</i> .	45
Abb. 43:	Abundanz [Ind./m <sup>3</sup> ] von <i>Gastrophus sylifer</i> im Goggaussee im Jahr 2002 verglichen mit der Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] von <i>Peridinium</i> sp. (klein), <i>Gymnodinium helveticum</i> und <i>Ceratium hirundinella</i> .	46
Abb. 44:	Individuendichten von <i>Hexarthra mira</i> [Ind./m <sup>3</sup> ] im Goggaussee im Jahr 2002.	46
Abb. 45:	Tiefenverteilung von <i>Hexarthra mira</i> [Ind./m <sup>3</sup> ] im Goggaussee im Jahr 2002.	46
Abb. 46:	Individuendichten der Entwicklungsstadien von <i>Eudiaptomus gracilis</i> [Ind./m <sup>3</sup> ] im Goggaussee im Jahr 2002.	47
Abb. 47:	Individuendichten der Entwicklungsstadien von <i>Mesocyclops leuckarti</i> [Ind./m <sup>3</sup> ] im Goggaussee im Jahr 2002.	48
Abb. 48:	Individuendichten [Ind./m <sup>3</sup> ] von <i>Daphnia longispina</i> im Goggaussee im Jahr 2002.	49
Abb. 49:	Individuendichten [Ind./m <sup>3</sup> ] von <i>Ceriodaphnia pulchella</i> im Goggaussee im Jahr 2002.	50
Abb. 50:	Räuber-Beute-Beziehung zwischen dem Räuber, <i>Chaoborus flavicans</i> [Ind./m <sup>3</sup> ] und den Beutegruppen Rotatoria, Copepoda und Cladocera [mg/m <sup>3</sup> ] im Goggaussee im Jahr 2002.	50
Abb. 51:	Tiefenverteilung von <i>Chaoborus flavicans</i> im Goggaussee im Jahr 2002.	51

## Fotoverzeichnis

Foto 1:	Goggaussee. Foto: Kärntner Institut für Seenforschung	6
Foto 2:	<i>Rhodeus sericeus amarus</i> (Bitterling). Foto: E. Woschitz	8
Foto 3:	<i>Anadonta cygnea</i> (Teichmuschel). Foto: M. Ambros	8
Foto 4:	<i>Anabaena danica</i> . Foto: J. Mildner	35
Foto 5:	<i>Fragilaria acus</i> . Foto: J. Mildner	37
Foto 6:	<i>Keratella cochlearis</i> . Foto: G. Santner	43
Foto 7:	<i>Polyarthra vulgaris-dolichoptera</i> . Foto: G. Santner	44
Foto 8:	<i>Ascomorpha saltans</i> . Foto: <a href="http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer">http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer</a>	44
Foto 9:	<i>Ceratium hirundinella</i> . Foto: G. Santner	45
Foto 10:	<i>Gastrophus stylifer</i> . Foto: R. Fresner	45
Foto 11:	<i>Hexarthra mira</i> . Foto: <a href="http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer">http://data.acnatsci.org/biodiversity_databases/rotifer</a>	46
Foto 12:	<i>Eudiaptomus gracilis</i> . Foto: G. Santner	48
Foto 13:	<i>Mesocyclops leuckarti</i> . Foto: G. Santner	48
Foto 14:	<i>Daphnia longispina</i> . Foto: G. Santner	49
Foto 15:	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> . Foto: R. Fresner	49
Foto 16:	<i>Chaoborus flavicans</i> . Foto: <a href="http://www.bioimages.org.uk">http://www.bioimages.org.uk</a>	51

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Morphometrische Daten des Goggausees.	6
Tab. 2:	Fische des Goggausees (11 Arten).	8
Tab. 3:	Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden.	11
Tab. 4:	Trophieklassen nach der Gesamt-Phosphor-Konzentration [µg/l] und der Phytoplankton-Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] (ÖNORM 6231:2001).	12
Tab. 5:	Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentrationen [µg/m <sup>3</sup> ] im Mixolimnion (0 bis 7 m) im Zeitraum von 1974 bis 2003 (n = Anzahl der Termine).	21
Tab. 6:	Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentrationen [µg/m <sup>3</sup> ] im Mixolimnion (0 bis 7 m) im Jahr 2002 (n = Anzahl der Termine).	22
Tab. 7:	Artenliste des Zooplanktons (° kennzeichnet Arten, die von HERZIG & MOOG (1976) und FINDENEGG (1963) beobachtet wurden und * Arten, die 2002 nicht mehr vorkamen).	39
Tab. 8:	Vergleich der Zusammensetzung der Zooplankton-Biomasse von Seen unterschiedlicher Trophiestufen (O = oligotroph, M = mesotroph, E = eutroph, polym. = polymiktisch, dim. = dimiktisch und merom. = meromiktisch).	40
Tab. 9:	Vergleich der Biomasse [mg/m <sup>3</sup> ] der Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und <i>Chaoborus flavicans</i> .	41
Tab. 10:	Vergleich der Abundanzen [Ind./m <sup>3</sup> ] der Rotatorien, Copepoden, Cladoceren und <i>Chaoborus flavicans</i> .	42

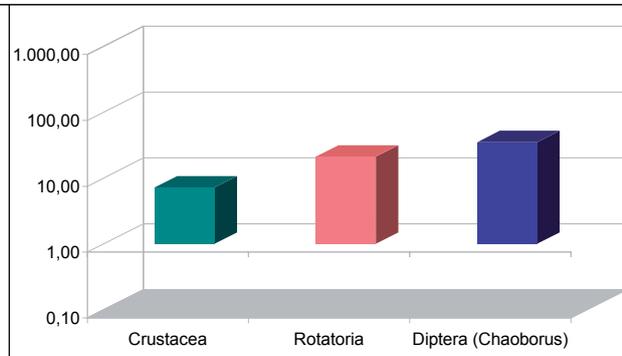
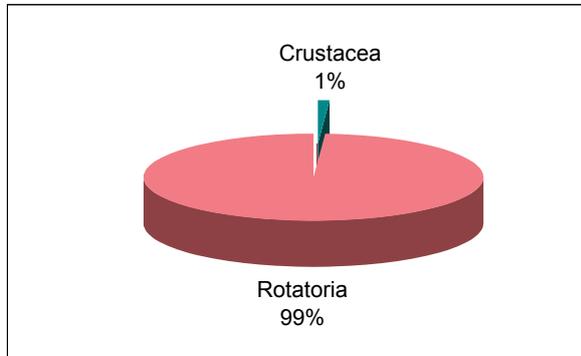
# Anhang

Datum 21.03.2002

## Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]

Biomasse [mg/m<sup>3</sup>]



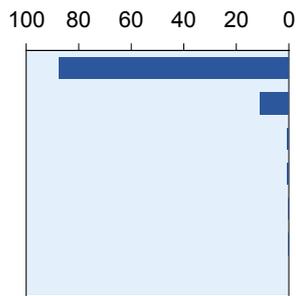
	[n/m <sup>3</sup> ]	[mg/m <sup>3</sup> ]
Crustacea	12.254	7,13
Rotatoria	1.064.877	20,89
Diptera (Chaoborus)	162	34,73

## Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

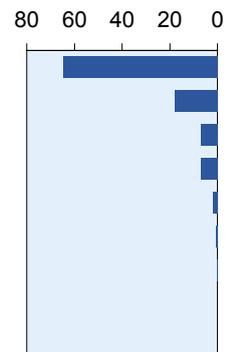
Rotatoria [%]

Crustacea [%]

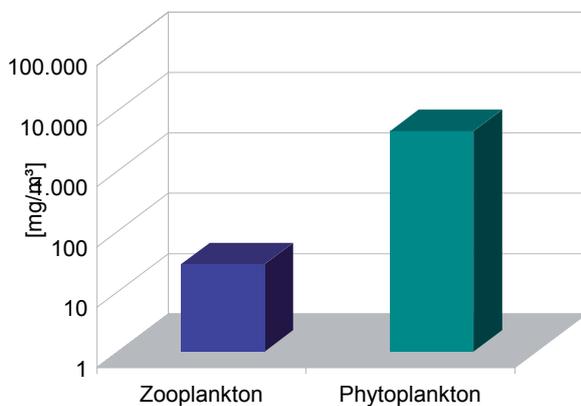
*Keratella cochlearis*  
*Polyarthra vulgaris-dolich.*  
*Keratella quadrata*  
*Keratella cochl./hispid*  
*Kellicottia longispina*  
*Gastropus stylifer*  
*Filinia longiseta*



*Cycl. Nauplien*  
*Eudiaptomus gracilis* Nauplius  
*Eudiaptomus gracilis* Copepodid  
*Cycl. Copepodide*  
*Eudiaptomus gracilis* Weibchen  
*Eudiaptomus gracilis* Männchen  
*Bosmina longirostris*



## Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



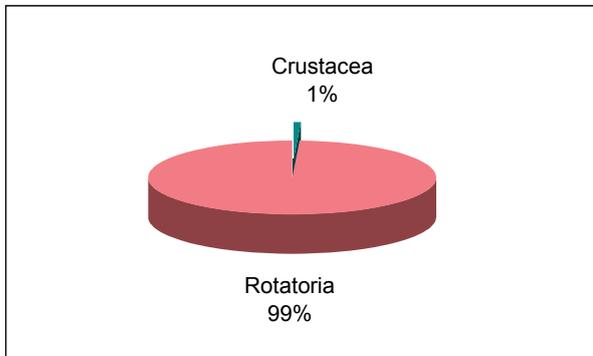
## Limnologische Parameter

Sichttiefe: 2,5 m			
	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	4,1	6,5	4,7
pH	6,6	8,4	7,2
O <sub>2</sub> [mg/l]	0,3	8,8	2,4
O <sub>2</sub> [%]	0	156	65,1
P <sub>tot</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	26	136	50
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m <sup>3</sup>	7.366,2		
0-12 m in mg/m <sup>3</sup>	4.335,7		

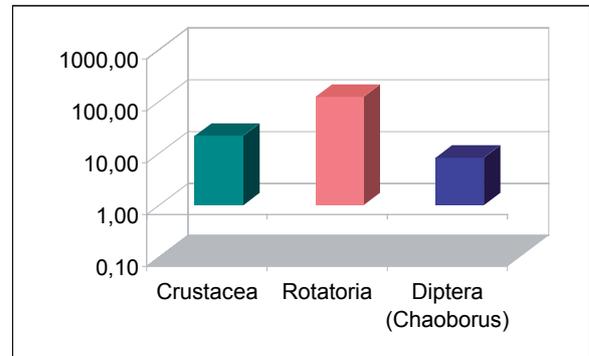
Datum 29.04.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]

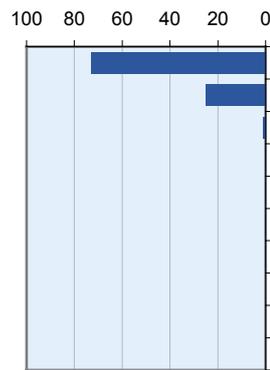


Group	[n/m³]	[mg/m³]
Crustacea	34.223	21,95
Rotatoria	4.144.323	122,95
Diptera (Chaoborus)	38	8,27

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

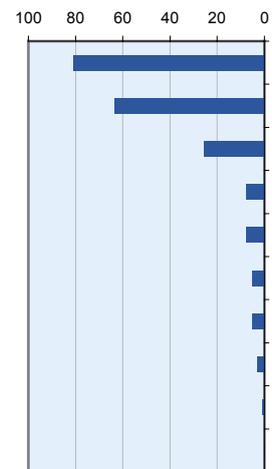
Rotatoria [%]

- Keratella cochlearis*
- Polyarthra vulgaris-dolich.*
- Keratella quadrata*

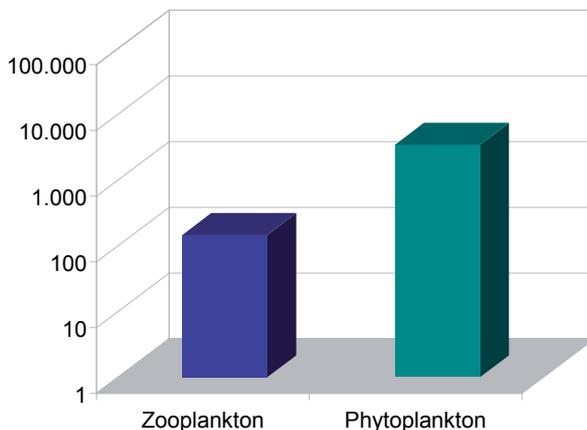


Crustacea [%]

- Cyclopoide Nauplien
- Daphnia longispina*
- Bosmina longirostris*
- Ceriodaphnia pulchella*
- Eudiaptomus gracilis* Copepodid
- Cyclopoide Copepodide
- Eudiaptomus gracilis* Nauplien
- Chydorus sphaericus*
- Eudiaptomus gracilis* Weibchen
- Eudiaptomus gracilis* Männchen



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



### Limnologische Parameter

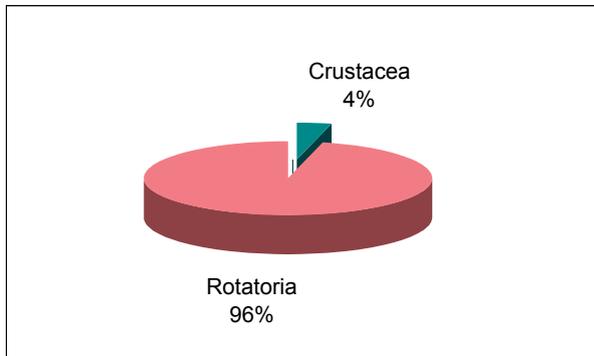
Sichttiefe: 1,7 m

	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	5	7,2	12,4
pH	6,6	7,7	9,0
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	5,8	18,8
O <sub>2</sub> [%]	0	180	67,0
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	30	44	65
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	4.733,2		
0-12 m in mg/m³	3.409,3		

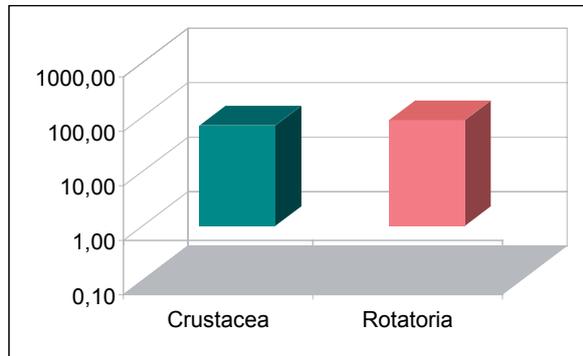
Datum 28.05.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]



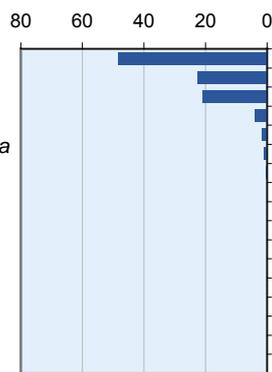
	[n/m³]
Crustacea	69.730,77
Rotatoria	1.693.300,00
Diptera (Chaoborus)	0,00

	[mg/m³]
Crustacea	69,40
Rotatoria	87,46
Diptera (Chaoborus)	0,00

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

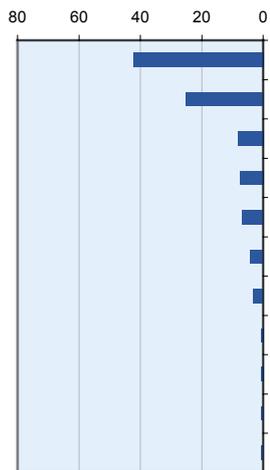
Rotatoria [%]

- Keratella cochlearis*
- Gastropus stylifer*
- Polyarthra vulgaris-dolichoptera*
- Keratella cochlearis/hispida*
- Bdelloidea
- Asplanchna priodonta*
- Brachionus angularis*

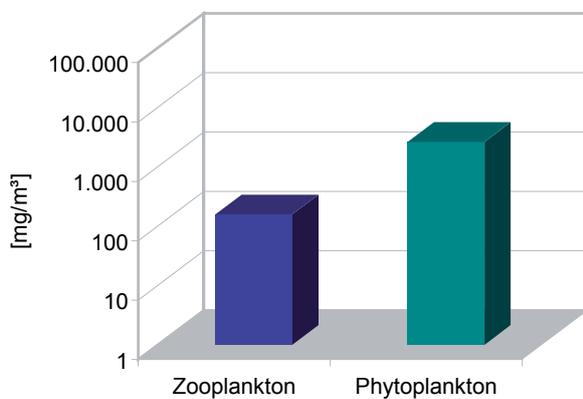


Crustacea [%]

- Cyclopoide Nauplien
- Eudiaptomus gracilis* Nauplien
- Mesocyclops leuckarti* Männchen
- Cyclopoide Copepodide
- Eudiaptomus gracilis* Copepodid
- Daphnia longispina*
- Mesocyclops leuckarti* Weibchen
- Ceriodaphnia pulchella*
- Eudiaptomus gracilis* Männchen
- Bosmina longirostris*



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



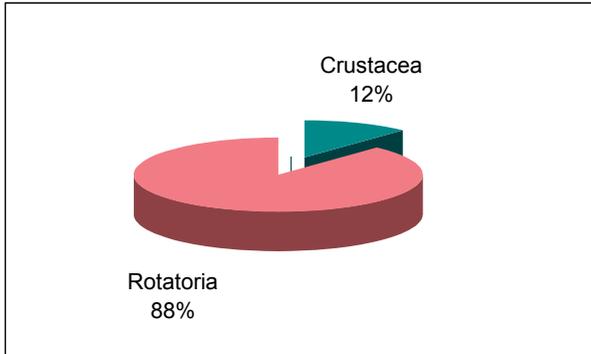
### Limnologische Parameter

Sichttiefe: 1,9 m			
	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	5,1	17,5	9,8
pH	6,9	8,5	7,5
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	9,6	3,2
O <sub>2</sub> [%]	0	109	79,0
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	21	100	57
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	1.251,9		
0-12 m in mg/m³	2.602,1		

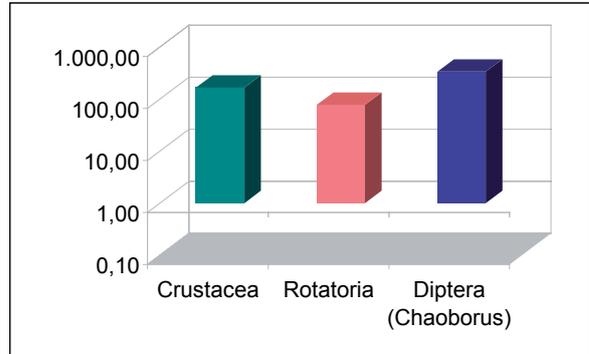
Datum 24.06.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]

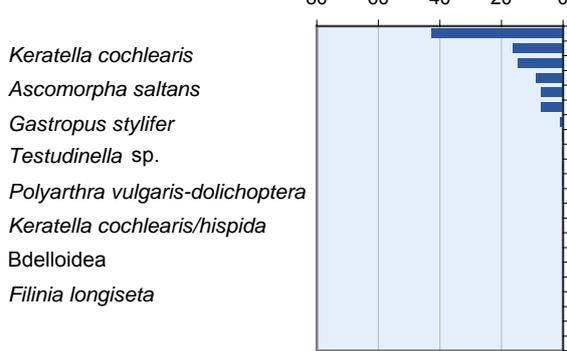


	[n/m³]
Crustacea	147.384,62
Rotatoria	1.085.723,08
Diptera (Chaoborus)	1.569,23

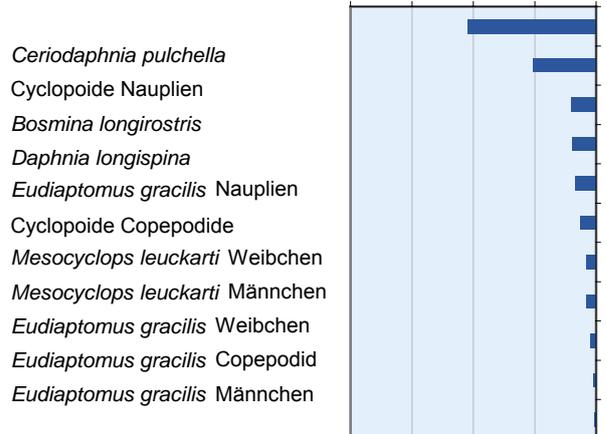
	[mg/m³]
Crustacea	165,96
Rotatoria	77,78
Diptera (Chaoborus)	337,38

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

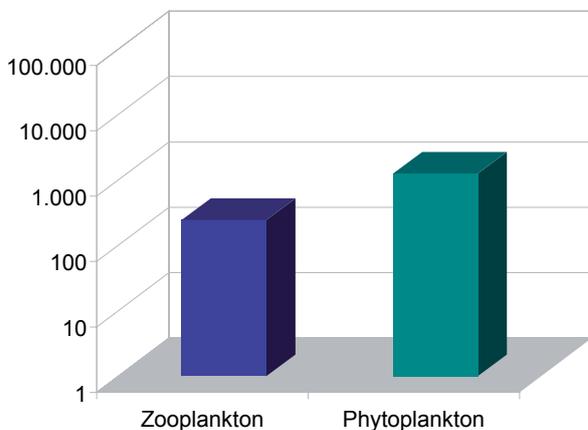
Rotatoria [%]



Crustacea [%]



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



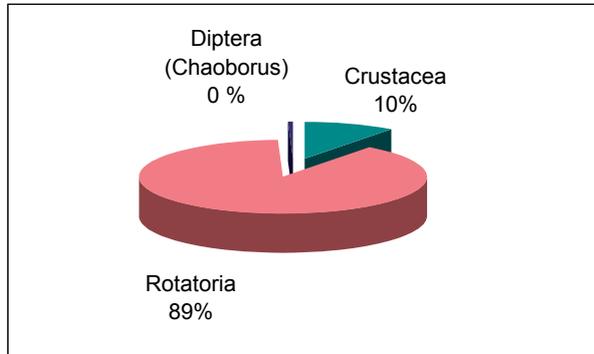
### Limnologische Parameter

Sichttiefe:	3,2 m		
	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	5,2	25,9	12,4
pH	7	8,3	7,5
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	10,3	4,8
O <sub>2</sub> [%]	0	114	60,0
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	19	92	56
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	1.315,5		
0-12 m in mg/m³	1.245,6		

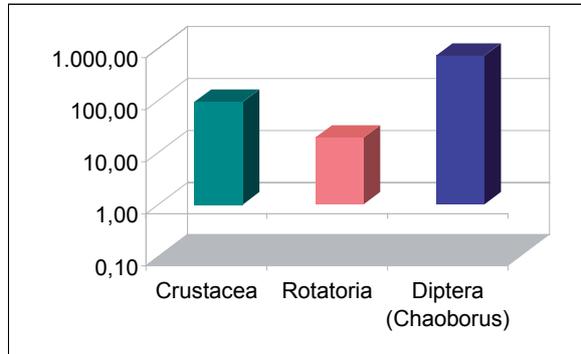
Datum 25.07.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



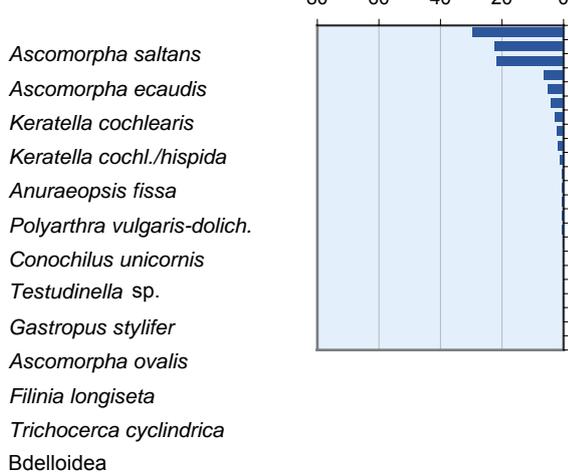
Biomasse [mg/m³]



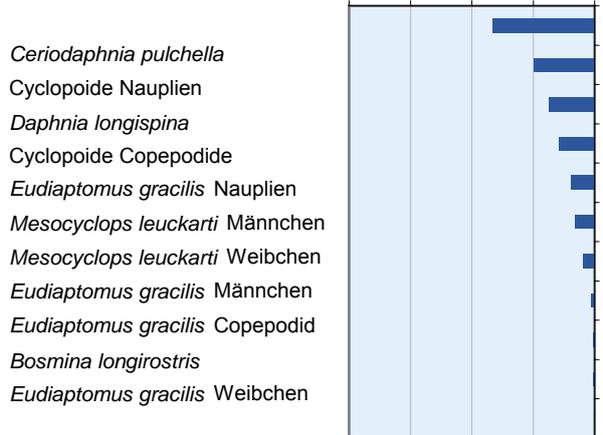
	[n/m³]		[mg/m³]
Crustacea	57.830,77	Crustacea	93,85
Rotatoria	503.792,31	Rotatoria	19,17
Diptera (Chaoborus)	3.338,46	Diptera (Chaoborus)	717,77

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

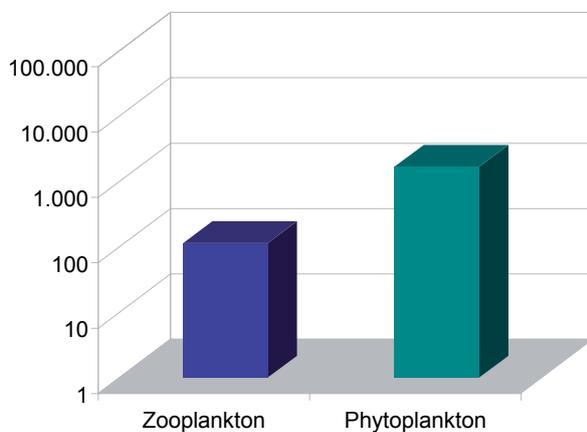
Rotatoria [%]



Crustacea [%]



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



### Limnologische Parameter

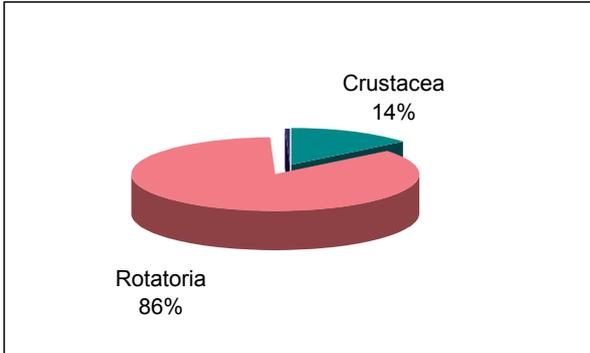
Sichttiefe: 2,2 m

	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	5,6	23,3	13,4
pH	6,8	8,7	7,6
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	9	4,6
O <sub>2</sub> [%]	0	116	61,7
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	14	144	0,053
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	2.185,0		
0-12 m in mg/m³	1.673,1		

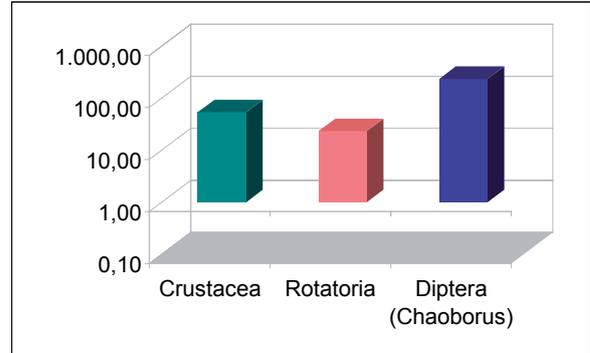
Datum 26.08.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



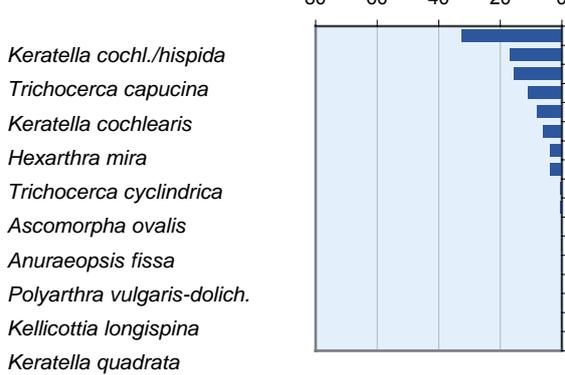
Biomasse [mg/m³]



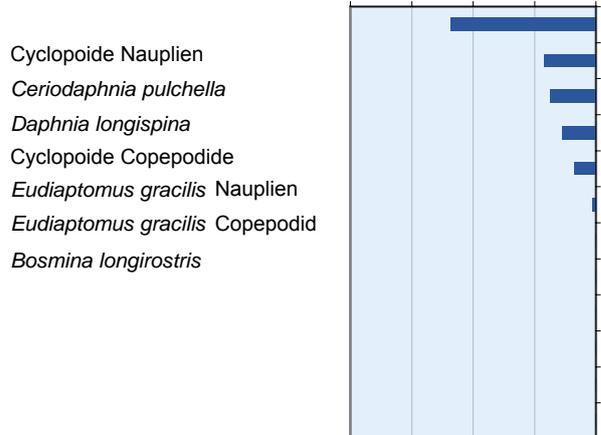
	[n/m³]		[mg/m³]
Crustacea	36.461,54	Crustacea	53,78
Rotatoria	219.723,08	Rotatoria	23,16
Diptera (Chaoborus)	1.092,31	Diptera (Chaoborus)	234,85

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

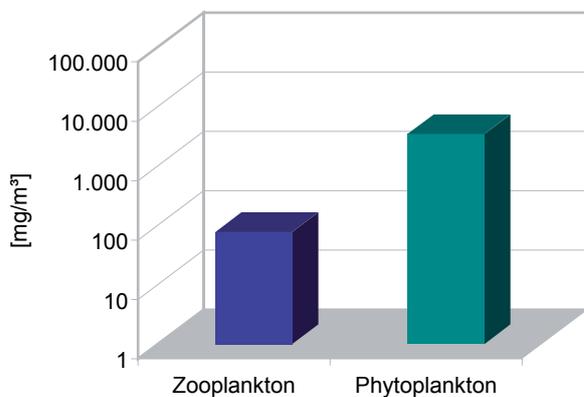
Rotatoria [%]



Crustacea [%]



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



### Limnologische Parameter

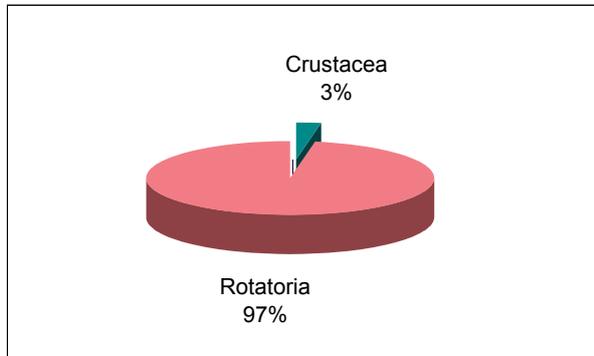
Sichttiefe: 1,8 m

	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	6	21,8	13,1
pH	6,8	9	7,5
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	11,9	3,8
O <sub>2</sub> [%]	0	146	57,6
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	25	118	52
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	5.393,3		
0-12 m in mg/m³	3.437,8		

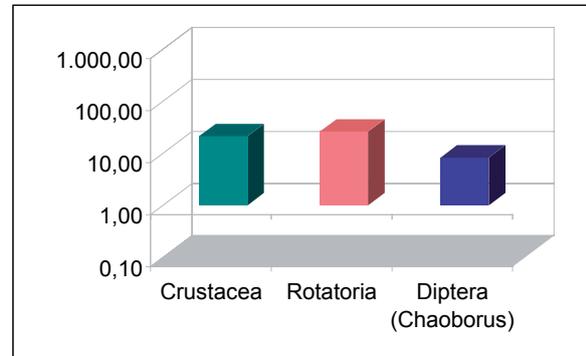
Datum 25.09.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]

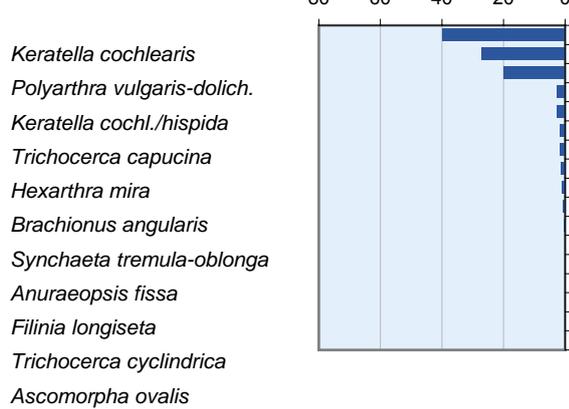


	[n/m³]
Crustacea	12.830,77
Rotatoria	467.153,85
Diptera (Chaoborus)	38,46

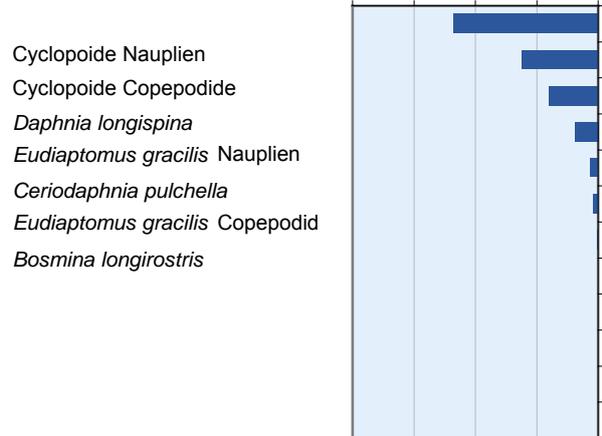
	[mg/m³]
Crustacea	21,22
Rotatoria	26,04
Diptera (Chaoborus)	8,27

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

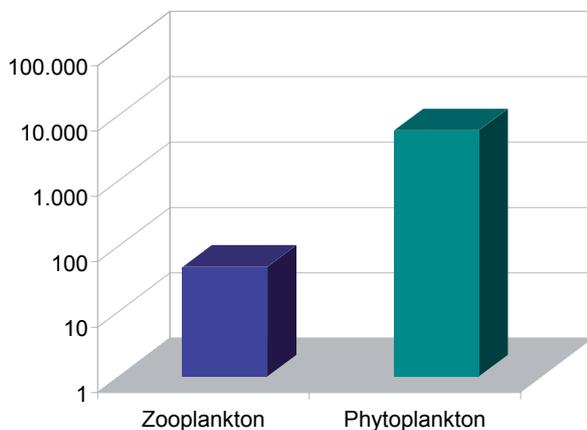
Rotatoria [%]



Crustacea [%]



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



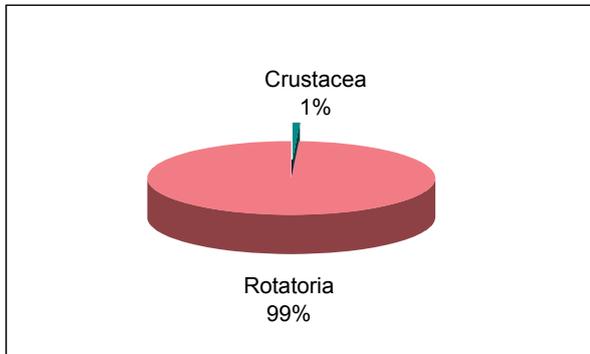
### Limnologische Parameter

Sichttiefe: 1 m		Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]		6,2	14,8	10,9
pH		6,7	7,8	7,2
O <sub>2</sub> [mg/l]		0	7,3	3,0
O <sub>2</sub> [%]		0	78	36,2
P <sub>tot</sub> [µg/m³]		23	119	54
Algenbiomasse				
0-6 m in mg/m³		11.240,1		
0-12 m in mg/m³		5.763,9		

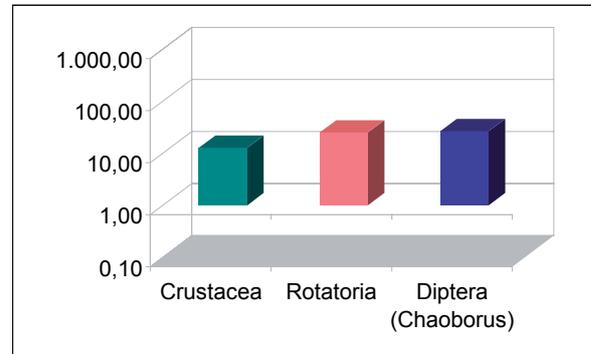
Datum 29.10.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]

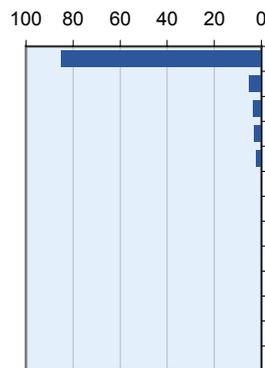


	[n/m³]	[mg/m³]
Crustacea	10.523,08	12,75
Rotatoria	1.160.685,85	25,15
Diptera (Chaoborus)	123,08	26,46

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

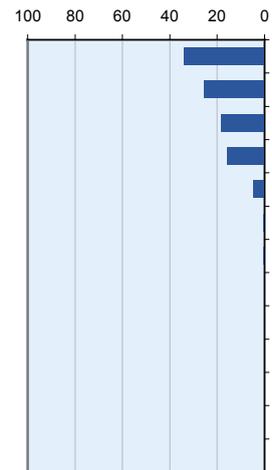
Rotatoria [%]

- Keratella cochlearis*
- Synchaeta tremula-oblonga*
- Lecane flexilis*
- Poliarthra vulgaris-dolich.*
- Anuraeopsis fissa*

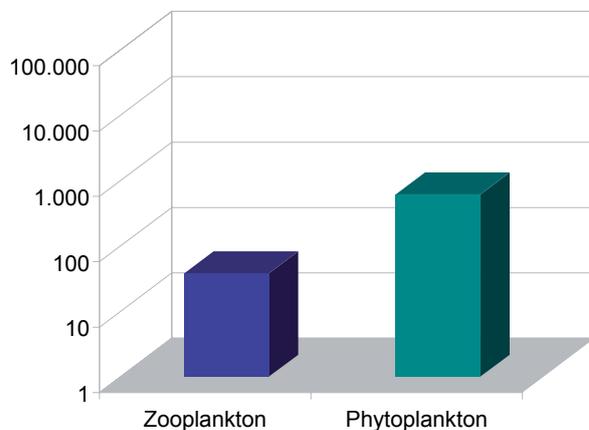


Crustacea [%]

- Cyclopoide Nauplien
- Cyclopoide Copepodide
- Eudiaptomus gracilis* Nauplien
- Eudiaptomus gracilis* Copepodid
- Daphnia longispina*



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



### Limnologische Parameter

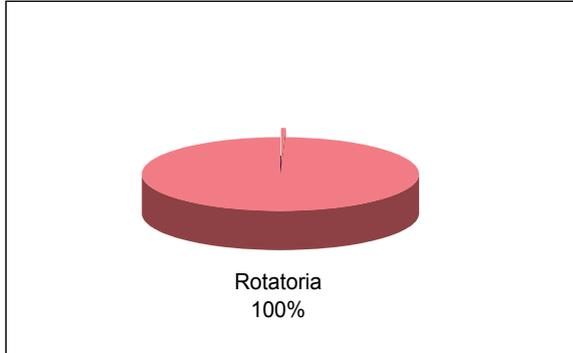
Sichttiefe: 2,2 m

	Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]	6,5	10,3	8,8
pH	6,7	7,2	7,0
O <sub>2</sub> [mg/l]	0	5,6	3,0
O <sub>2</sub> [%]	0	54	29,8
P <sub>tot</sub> [µg/m³]	25	147	49
Algenbiomasse			
0-6 m in mg/m³	736,0		
0-12 m in mg/m³	609,0		

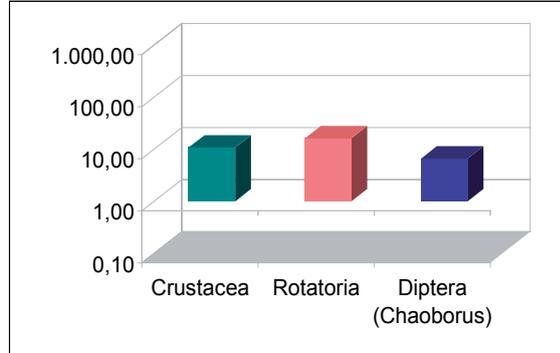
Datum 25.11.2002

### Zusammensetzung des Zooplanktons

Individuendichten [%]



Biomasse [mg/m³]



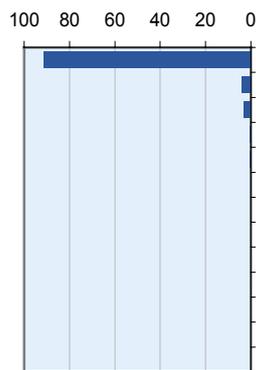
	[n/m³]
Crustacea	4.776,92
Rotatoria	1.109.923,08
Diptera (Chaoborus)	30,77

	[mg/m³]
Crustacea	10,80
Rotatoria	16,21
Diptera (Chaoborus)	6,62

### Prozentuelle Verteilung der Individuendichten

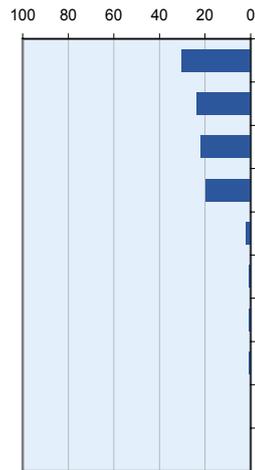
Rotatoria [%]

- Keratella cochlearis*
- Polyarthra vulgaris-dolich.*
- Anuraeopsis fissa*
- Keratella quadrata*

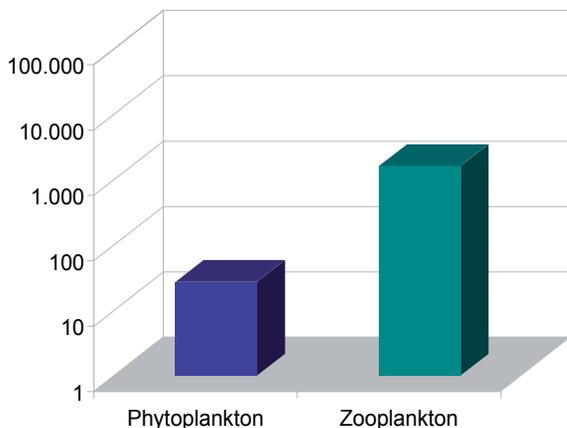


Crustacea [%]

- Cyclopoide Nauplien
- Eudiaptomus gracilis* Copepodid
- Eudiaptomus gracilis* Männchen
- Eudiaptomus gracilis* Nauplien
- Cyclopoide Copepodide
- Eudiaptomus gracilis* Weibchen
- Daphnia longispina*
- Ceriodaphnia pulchella*



### Vergleich der Phyto-/Zooplanktonbiomassen



### Limnologische Parameter

Sichttiefe: 1,5 m		Minimum	Maximum	MW
Temperatur [°C]		6,13	6,76	6,3
pH		6,63	7,28	7,0
O <sub>2</sub> [mg/l]		0	3,59	2,1
O <sub>2</sub> [%]		0	32,2	19,1
P <sub>tot</sub> [µg/m³]		24	101	36
Algenbiomasse				
0-6 m in mg/m³		1.677,1		
0-12 m in mg/m³		1.594,0		

## Tiefenkarte des Goggausees

# Tiefenkarte des Goggauseses



## Morphometrische Daten des Goggauseses

Seehöhe [m u. A.]:	775
Fläche [ha]:	10,5
max. Tiefe [m](x):	12
max. Länge [m]:	750
max. Breite [m]:	200
mittlere Tiefe [m]:	9,3
mittlere Breite [m]:	125
Uferlänge [km]:	1,8
Volumen [Mio. m <sup>3</sup> ]:	0,87
Abfluss MQ [m <sup>3</sup> /s]:	0,045
Wassererneuerungszeit [Monate]:	7,2
Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]*:	2,75
Rechtswert (tiefster Punkt):	512538
Hochwert (tiefster Punkt):	184562

\* Quelle: Flächenverzeichnis der österreichischen Flussgebiete - Draugebiet 1995

