

Der Königssee - eine limnologische Studie als Grundlage für eine Ökosystemanalyse

Otto Siebeck und Walter Traunspurger

Synopsis

The results of the basic research on Königssee, which has been carried out during the last fifteen years, show that we have knowledge of important limnological aspects. Besides the physical and chemical parameters of this ecosystem especially the structural organization of the phyto- and zooplankton of this oligotrophic lake was investigated. This includes thermic, water circulation and water renewal, radiation, chemistry, abundance of phyto- and zooplankton, abundance of nekton, distribution of macrophytes and the benthic organisms of littoral and profundal. Some of these aspects will be considered in this paper.

The analysis of the feeding types of free-living nematodes, the most abundant and species-richest organism group of the benthic metazoan gives a first approach of the functional relationship of pelagial and benthal.

Limnologie, Königssee, Ökosystem, Nematoda, Nahrungstypen.

Limnology, ecosystem, nematoda, feeding-types.

1. Einleitung

Als im Jahre 1978 die "Verordnung über den Alpen- und Nationalpark Berchtesgaden" in Kraft gesetzt wurde, begann auch die limnologische Erforschung des Königssees. Am Anfang stand das vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen geförderte und von der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden und ihrem Leiter Dr. H. Zierl und Mitarbeitern in vielen Belangen unterstützte, sogenannte Königssee-Projekt. Zuvor hatte es nur vereinzelte Messungen und Fangunternehmungen, vor allem vom damaligen Ichthyologen der Zoologischen Staatssammlung in München, Herrn Dr. O. SCHINDLER (1950), gegeben.

Ogleich als erste grundlegende und systematische Untersuchung des Königssees deklariert, bezeichneten wir unsere drei Jahre dauernden Untersuchungen mit dem Titel "Der Königssee - Eine limnologische Projektstudie" (SIEBECK 1985) und nicht etwa "Ökosystemanalyse des Königssees", weil wir darunter etwas anderes verstehen möchten als das, was heutzutage oft schon zur Ökosystemanalyse gerechnet wird.

An unsere "limnologische Projektstudie" schlossen sich mehrere Spezialuntersuchungen an, unter welchen insbesondere die Arbeiten über den Gesundheitsstatus der Königsseefische (HOFFMANN 1984) und deren Nahrungsselektion (GERSTMEIER 1990), über die Litoralfauna (BLANK & al. 1985), insbesondere aber die Nematoden (TRAUNSPURGER 1985, 1991), die Populationsgenetik der Seesaiblinge (HECHT 1984), Fischparasiten (KLEIN & al. 1990), pelagische Rotatorien (LAXHUBER 1987), Chironomiden (GERSTMEIER 1990) und über das Meiobenthos (TRAUNSPURGER 1991) zu nennen sind.

2. Grundlagen zur strukturellen Organisation des Ökosystems Königssee

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen sind somit seit Anfang der 90er Jahre wichtige Kenntnisse, vor allem zur strukturellen Organisation des Königssees vorgelegt worden. Fassen wir sie unter Einbeziehung der Ergebnisse spezieller Arbeiten des Königssee-Projektes zusammen, so bedeutet das, daß wir über folgende Themen schon recht gut informiert sind: Thermik, Wasserzirkulation und Wasseraustausch, Strahlungsklima, Chemie, Phyto- und Zooplanktonabundanzen (ausgenommen Picoplankton), Nektonabundanzen, Makrophytenverteilung (MELZER & al. 1981) und die Besiedlung des Litorals und des Profundals. Hinzu kommen die Ergebnisse der genannten Spezialthemen, die sich auf die Fische des Königssees beziehen.

Aus vielen Ergebnissen ist nun im Detail belegt, daß der Königssee ein Paradebeispiel für einen extrem oligotrophen See darstellt. Dieses Prädikat verleiht ihm nicht nur in der BRD, sondern auch in Mitteleuropa eine Sonderstellung. Es gibt dafür im wesentlichen zwei Gründe:

- 1) seine große Tiefe mit überwiegend steil abfallendem Ufer (max. Tiefe: 190 m; mittlere Tiefe: 98,1 m), die sich aus seiner Entstehungsgeschichte als Grabenbruchsee erklären und
 - 2) seine Position zwischen steil bis zu 2000 m über den Seespiegel aufragenden Gebirgsmassiven, die sowohl für seine windgeschützte Lage als auch für sein kleines (131,1 km²) Einzugsgebiet verantwortlich ist.
- Weitere wichtige morphometrische Daten können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tab. 1: Wichtige morphometrische und limnologische Daten des Königssees.

Tab. 1: Important morphometric and limnological data of Königssee.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Seehöhe | 603,3 m (ü.NN) |
| Seeoberfläche | 5,2 km ² |
| Seevolumen | 511,8 x 10 ⁶ m ³ |
| Größte Tiefe | ≈190 m |
| Mittlere Tiefe | 98,1m |
| Maximale Seelänge | 7,725 km |
| Maximale Seebreite | 1,225 km |
| Theoretische Wassererneuerung | 2,3 Jahre |
| Sichttiefe (min./max.) | 6-18 m |
| Leitfähigkeit | 117-174 µS/cm |
| pH | 7,3-8,5 |
| NO ₃ -N | 0,3-0,6 mg/l |
| PO ₄ -P _{total} | 1-11 µg/l |
| O ₂ (Seegrund: 175m) | 6-7 mg/l |

Infolge der großen Tiefe des Königssees stehen die im Laufe von Jahrtausenden im Sediment abgelagerten, durch Erosion importierten Nährstoffe der bis zu Tiefen um 25 m reichenden Produktionszone nicht zur Verfügung, auch nicht während der Zirkulationsphase, wie wir später noch sehen werden. Neue Nährstoffimporte gelangen - inkorporiert, suspendiert oder gelöst - verhältnismäßig rasch in die Tiefe, weil die windgeschützte Lage die Ausbildung eines Epilimnions mit seiner wichtigen Durchmischungsfunktion innerhalb der trophogenen Zone meist verhindert. Die thermische Sprungschicht beginnt daher die meiste Zeit schon knapp unter der Wasseroberfläche.

Wie wir aus chemischen Analysen und aus der vertikalen Tritiumverteilung wissen (FISCHER & al. 1985), wird der Wasseraustausch ab 20 m Wassertiefe mit zunehmender Tiefe immer weiter eingeschränkt. Ab etwa 120 m Tiefe wird das Königsseewasser nur noch etwa einmal in sechs Jahren ausgetauscht.

Diese Eigenschaft behindert den Sauerstofftransport aus der Produktionszone in die Tiefe. Daß wir Anfang der 80er Jahre am Grund in 175 m Tiefe noch 6-7 mgO₂/l gemessen haben, weist darauf hin, wie wenig von den relativ rasch abbaubaren organischen Inhaltsstoffen bis zu den tieferen Bereichen des Seegrundes gelangt. Spezielle Untersuchungen zeigen, daß der rasche Abbau noch während der Sedimentation bei etwa 100 m Tiefe im wesentlichen abgeschlossen ist. Was übrig bleibt, wird so langsam abgebaut, daß es den Grund fast vollständig erreicht.

Geringe Produktion organischer Substanz und rascher Abbau in den oberen Wasserschichten - das sind Voraussetzungen, unter welchen sich im Königssee bis in die Tiefenzone auch weiterhin sogar für Salmoniden noch günstige Sauerstoffverhältnisse trotz eingeschränktem vertikalem Wasseraustausch halten können.

Aus dem reduzierten Wasseraustausch ergibt sich unter anderem auch die besondere Empfindlichkeit des Königssees gegenüber Nährstoffschüben. Erfreulicherweise hat diese Erkenntnis dazu beigetragen, daß die potentielle Gefährdung des Königssees durch Fäkaliablagerungen im Schotterfeld der beiden Besucherzentren St. Bartholomä und Salletalm durch ein im See vor einigen Jahren verlegtes Kanalsystem ausgeschaltet worden ist, in diesem wohl einzigartigen Fall als Vorbeugungs- und nicht als Sanierungsmaßnahme.

Zu den im Vergleich zu anthropogen eutrophierten Seen konstanten Eigenschaften des Königssees zählen, daß NO₃-N/l unter 0,6 mg bleibt, NH₄-N unter 0,02 mg/l, PO₄-P_{Gesamt} unter 11 µg/l und der reaktive PO₄-P unter 2 µg/l, letzterer aber nur in Grundnähe, während er in der Freiwasserzone meist überhaupt nicht nachweisbar ist. Hinzu kommt die für die Gesamtbiozönose des Sees so wichtige Eigenschaft, daß der Sauerstoffgehalt im Bereich der mittleren Seetiefe (d. h. bis etwa 90 m) noch über 9 mg/l liegt.

Im Hinblick auf das niedrige Nährstoffangebot ist es kein Wunder, daß die phytoplanktische Biomasse ebenfalls sehr niedrig ist und vorläufig auch so bleiben wird, d. h. im allgemeinen unter 3 g Trockengewicht unter 1 m² Seeoberfläche. Nur im späteren Frühjahr bis zum Sommer, wenn die Schneeschmelze für Nährstoffschübe sorgte, traten - auf wenige Wochen befristet - höhere Werte auf, mit Spitzenwerten bis zu 12 gTG/m². Nach der erfolgten Kanalisation erwarten wir einen allmählichen Rückgang dieser Spitzenwerte, die nach unserer Meinung auf einem Auswascheffekt der Schmelzwässer im Bereich der ehemaligen Fäkaliendeponien unweit des Seeufers beruhen. Zu dieser Vermutung führte der Befund, daß die in dem betreffenden Zeitraum festgestellten Wasserblüten immer im Seebereich um diese Besucherzentren ihren Ausgang genommen und nie den ganzen See erfaßt haben. Die mit Werten unter 1 gTG/m² pendelnden niedrigen Werte der planktischen Crustaceenbiomasse sind eine Folge des geringen phytoplanktischen Nahrungsangebotes.

Aufgrund der Untersuchungen von GERSTMEIER (1990) ist bekannt, daß gerade auch bei den bevorzugt Plankton fressenden Fischen - im Königssee sind es die Renken und die Saiblinge - zumindest zeitweise auch auf Benthosorganismen angewiesen sind. Daraus folgt die Bedeutung der Kenntnis funktioneller Verbindungen zwischen der Freiwasserzone und dem Litoral und Profundal.

Mit der Analyse der Nahrungsbeziehungen wird die Grenze des Aufgabenbereiches überschritten, der mit der Beschreibung der Organisationsstruktur des Königssees bestimmt ist und sowohl über das Vorkommen der Arten, als auch über den Wechsel der Individuendichte in Raum und Zeit informiert. Dieser Schritt hat bereits in den Aufgabenbereich der Funktionsanalysen, mit anderen Worten, in die prozeßorientierte Ökologie geführt, d. h. in das zentrale Anliegen der Ökologie, welches nicht mit der Strukturanalyse endet, sondern dort beginnt. Denn ohne die Kenntnis ihrer Funktionen bleiben uns die vorgefundenen Strukturen unverständlich und damit das gesamte Ökosystem. Zur Ökosystemanalyse gehört daher die Funktionsanalyse. Zu deren konkreten Aufgaben zählen bekanntlich unter anderem Untersuchungen über die Primärproduktion, über den Weg dieser Biomasse in das Nahrungsgewebe, über die weiteren Nahrungsbeziehungen, über die Effizienz des damit verbundenen Energietransfers von Trophiestufe zu Trophiestufe, über das Recycling der Nährstoffe, über den gesamten Stoffkreislauf und schließlich auch über die funktionellen Querverbindungen zu benachbarten Ökosystemen. Was den gegenwärtigen Stand der Forschung betrifft, so gibt es auch heute noch ungelöste Aufgaben, die zur Analyse der strukturellen Organisation des Königssees gehören. Diese Lücken waren von Anfang an der Grund, daß wir unsere Ergebnisse nicht als eine Ökosystemanalyse bezeichnet haben. Immerhin gibt es auch einige Teiluntersuchungen, die ihr durchaus schon zuzurechnen sind.

Dazu zählen z. B. die Untersuchungen zur phytoplanktischen Primärproduktion. Die Ergebnisse zeigen, daß sich die Produktionsraten zwischen 0,28 gC/m²Tag im Sommer bis zu 0,13 gC/m²Tag im Winter bewegen und im Mittel ein Nahrungsangebot von 5-10 gFG/m² für das herbivore Zooplankton bereit stellen. Die Umsatzraten der durchwegs kleinen Algen liegen in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Wassertiefe des Standorts in der Regel unter einem Tag. Aber wir wissen nicht, welcher Anteil der täglichen Produktion gefressen wird und wieviel zur Tiefe absinkt und dort den Benthosorganismen zur Verfügung steht.

Im Bereich des Pelagials des Königssees sind mit den angedeuteten produktionsbiologischen Untersuchungen und der Nahrungsselektion durch ausgewählte Fischarten somit die ersten Schritte in Richtung einer Ökosystemanalyse getan. Dabei haben die zuletzt genannten Untersuchungen das Interesse auf die funktionellen Beziehungen zu den Benthosorganismen gelenkt. Es sind nicht nur jene Beziehungen, die durch die Fische als Räuber und die Wirbellosen des Benthals als Beute gegeben sind, sondern auch die Nahrungsbeziehungen innerhalb der Wirbellosen, sowohl im Profundal als auch im Litoral. Darauf sei im Folgenden näher eingegangen.

3. Nahrungsbeziehungen der Nematoden im Ökosystem Königssee

Für die Untersuchung der Bodenbewohner wurden im Jahre 1986 monatlich drei Corer (Länge 60 cm, Durchmesser 6 cm) aus zehn verschiedenen Tiefen des Königssees gesammelt. Die Organismen wurden mit einem Scheidetrichter (UHLIG & al. 1973) extrahiert und auf einem 40 µm Netz aufgefangen.

Die strukturelle Analyse der Benthosorganismen (Tab. 2) zeigt, daß die Nematoden die dominante Organismengruppe der Bodenbewohner innerhalb der Metazoen darstellen. Ihr relativer Anteil liegt sowohl im Litoral (1-10 m) als auch im Profundal (60-190 m) bei etwa 80 %, in der Übergangszone (15-30 m) bei rund 60 % (vgl. Tab. 2). Ihre höchste mittlere Dichte erreichen die Nematoden in 5 m Tiefe mit rund 700 000 Individuen/m², ihre geringste Dichte in 190 m mit rund 30.000 Individuen/m². Die Zahl der bisher nachgewiesenen Nematodenarten beträgt 120. Nach den vorliegenden Untersuchungen (TRAUNSPURGER 1991) sind die Nematoden demnach die individuen- und artenreichste Organismengruppe der Metazoen im Königssee.

Der Faktor Nahrung hat einen hohen Stellenwert für die Artzusammensetzung, das Vorkommen und die Verteilung aquatischer Nematoden. Lebendbeobachtungen und Darminhaltsuntersuchungen zeigten, daß sich freilebende Nematoden von Bakterien und Algen, Pilzen, Pflanzensäften, gelöster organischer Substanz und anderen kleinen Organismen wie Tardigraden und Enchyträen ernähren.

Um über diese Strukturen auch erste Ansätze für eine Funktionsanalyse des Ökosystems zu gewinnen, werden die Nematoden im folgenden nach ihrem Ernährungstyp aufgeschlüsselt. Es handelt sich um "deposit-feeder" (Bakterien- und Algenfresser, ohne Zähnchen in der Mundhöhle), "epistrate-feeder" (Bakterien- und Algenfresser, mit kleinen Zähnchen in der Mundhöhle), Räuber/Allesfresser (Nematoden mit einer meist größeren Mundhöhle und einem oder mehreren großen Zähnen) und Nematoden, deren Mundhöhle mit einem Saugstachel zum Anstechen pflanzlicher, tierischer oder pilzlicher Gewebe ausgestattet ist.

Tab. 2: Mittlere Abundanz der Benthosorganismen (Ind./100 cm²) im Litoral (0-10 m), der Übergangszone (15-30 m) und im Profundal (60-190 m) des Königssees im Jahr 1986.

Tab. 2: Mean abundance of benthic organisms (ind./100 cm²) in littoral (0-10 m), littoriprofundal (15-30 m) and profundal (60-190 m) of Königssee in 1986.

| Organismengruppe | Litoral | Übergangszone Ind./100 cm ² | Profundal |
|---------------------|---------|---|-----------|
| Nematoden | 2960 | 577 | 376 |
| Phyllopoda/Copepoda | 355 | 248 | 65 |
| Ostracoden | 41 | 30 | 9 |
| Chironomiden | 112 | 40 | 9 |
| Oligochaeten | 28 | 3 | 1 |
| Tardigraden | 226 | 81 | 38 |
| Sonstige | 64 | 7 | 3 |

Die absolute und relative Häufigkeit dieser Ernährungstypen in den einzelnen Tiefen des Königssees (Abb. 1 und 2) geben einen ersten Hinweis auf die funktionelle Vernetzung innerhalb dieser benthischen Lebensgemeinschaft. Darüber hinaus liefern sie Informationen zum vielfältigen Nahrungsangebot. Es liegt auf der Hand, daß die im Pelagial gebildeten, abgesunkenen Substanzen den Bodenbewohnern in verschiedenen Tiefen des Sees in unterschiedlicher Konsistenz und Beschaffenheit zur Verfügung gestellt werden. Dementsprechend verteilen sich die verschiedenen Ernährungstypen:

- In allen Tiefen dominieren die Bakterien- und Algenfresser (deposit-feeder).
- Im Litoral dominieren vor allem Arten mit einer kleinen Mundhöhle, welchen vermutlich vor allem die kleinen Algenarten und die Bakterien als Nahrung dienen.
- In größeren Tiefen halten sich bevorzugt die deposit-feeder mit einer breiteren Mundhöhle auf. Möglicherweise sind die in diese Tiefen sedimentierten Algenzellen verhältnismäßig groß, weil die kleineren auf dem Weg dorthin bereits abgebaut worden sind.
- Die epistrate-feeder, die aufgrund ihrer Zähnchen auch größere Partikel aufknacken und aussaugen können, zeigen zwei Maxima. Vielleicht ernähren sich diese Nematoden im oberen Maximum (1 und 2 m) vorwiegend vom Aufwuchs und die im unteren Maximum (60 m) bevorzugt von den schwer abbaubaren Algen, die bis dahin abgesunken sind.
- Der prozentuale Anteil der epistrate-feeder innerhalb der unterschiedenen Ernährungstypen der Nematoden ist in den Tiefen von 30-190 m deutlich höher als in den geringeren Tiefen.
- Nematoden mit Stachel zeigen bei 5 m Tiefe ein deutliches Maximum. Ihnen dienen die Makrophyten als Nahrung, während in 30 m Pilzfresser dominieren.
- Die Räuber/Allesfresser haben in 1 m, 5-10 m und 30 bzw. 60 m jeweils höhere Abundanzen. Dieses Verteilungsmuster ist nicht ohne weiteres zu verstehen.

Die Analyse der Ernährungstypen der Nematoden liefert einen ersten Einblick in die funktionellen Beziehungen zwischen Pelagial und Benthos, sowie innerhalb des Benthos. Die hohen Individuendichten weisen darauf hin, daß die Nematoden im Stoffkreislauf des Ökosystems See eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen.

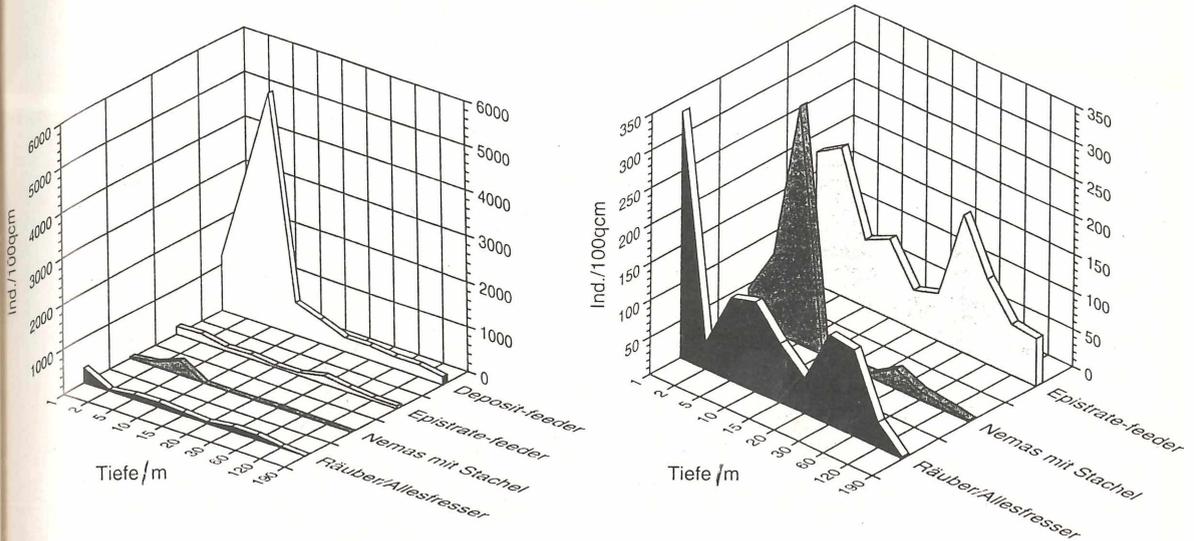


Abb. 1: Mittlere Häufigkeit (Ind./100 cm²) der unterschieden Ernährungstypen der Nematoden in den untersuchten Tiefen des Königssees.

a) "deposit-feeder" b) "epistrate-feeder", Räuber/Allesfresser und Nematoden mit Mundstachel.

Fig. 1: Mean abundance (ind./100 cm²) of the different feeding-types of nematodes in the investigated depths of Königsee.

a) "deposit-feeder" b) "epistrate-feeder", predators/omnivores and nematodes with stylet.

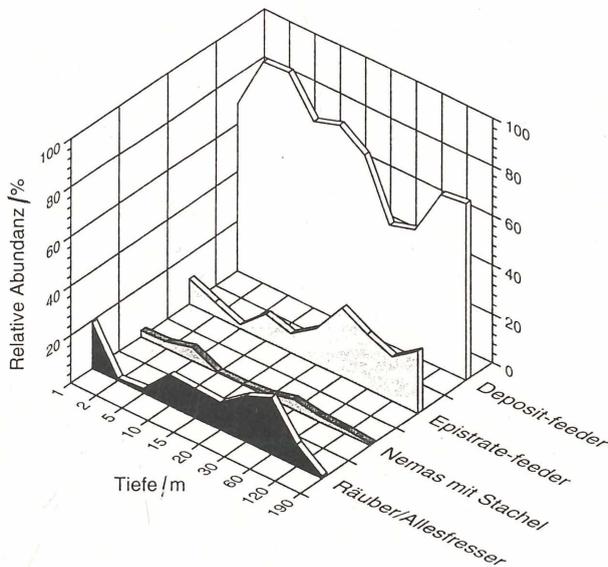


Abb. 2: Relative Häufigkeit (%) der unterschieden Ernährungstypen der Nematoden in den untersuchten Tiefen des Königssees.

Fig. 2: Relative abundance (%) of the different feeding-types of nematodes in the investigated depths of Königsee.

Literatur

- BLANK, K., HUBER, P. & W. KOLBINGER, 1985: Zur Kenntnis der litoralen Fauna des Königssees, unter besonderer Berücksichtigung der Insekten. - Diplomarbeiten der LMU München.
- FISCHER, K.H., WEIS, W., SIEBECK, O. & R. MÜLLER, 1985: Implications of slow deep water renewal of Lake Königssee derived from combined tritium-³helium measurements. - Arch. Hydrobiol., 102 (4): 409-414.
- GERSTMEIER, R., 1990: Fischbiologie des Königssees. Nahrungsangebot und Nahrungswahl, Band II. - Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 23: 68 S.
- HECHT, W., 1984: Populationsgenetische Studien an Seesaiblingen (*Salvelinus alpinus* L.) aus Königssee, Obersee und Grünsee mit Hilfe von Isoenzymen. - Dissertation Technische Universität München: 222 S.
- HOFFMANN, R., 1984: Untersuchungen zum Gesundheitsstatus der Fische im Königssee. - Abschlußbericht.
- KLEIN, M., NEGELE, R.-D., LEUNER, E., BOHL, E. & R. LEYRER, 1990: Fischbiologie des Königssees: Fischereibiologie und Parasitologie. - Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 21: 123 S.
- LAXHUBER, R., 1987: Abundance and distribution of pelagic rotifers in a cold, deep oligotrophic alpine lake (Königssee). - Hydrobiologia 147: 189-196.
- MELZER, A., MARKL, A. & J. MARKL, 1981: Die submerse Makrophytenvegetation des Königssees in ihrer quantitativen Verbreitung. - Ber. Bayer. Bot. Ges., 52: 99-107.
- SCHINDLER, O., 1950: Der Königssee als Lebensraum. Erste Mitteilung über die bisherigen Ergebnisse. - Ver. Zool. Staatss. München, 1: 97-129.
- SIEBECK, O., 1985: Der Königssee. Eine limnologische Projektstudie. - Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte 5 (2. Auflage): 131 S.
- TRAUNSPURGER, W., 1985: Ökologische und systematische Untersuchung der Nematodenfauna im Litoral des Königssees. - Diplomarbeit LMU München: 137 S.
- TRAUNSPURGER, W., 1991: Fischbiologie des Königssees. Nahrungsangebot und Nahrungswahl, Band I. - Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 22: 151 S.
- UHLIG, G., THIEL, H. & J.S. GRAY, 1973: The quantitative separation of meiofauna. - Helgoländer wiss. Meeresunters. 25: 173-195.

Adresse

Prof. Dr. O. Siebeck, Dr. W. Traunspurger, Zoologisches Institut der Universität München, Abteilung Limnologie, Seidlstr. 25, 80335 München.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [23_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Traunspurger Walter, Siebeck Otto

Artikel/Article: [Der Königssee - eine limnologische Studie als Grundlage für eine Ökosystemanalyse 63-68](#)