©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

DIE SONDERSTELLUNG DES KÖNIGSSEES UNTER DEN BAYERISCHEN SEEN

Otto Siebeck

Zu den Besonderheiten des Königssees, die jedem Besucher auffallen, gehören seine langgestreckte Form und die an seinem Rande fast überall und z.T. bis 2 000 m hoch aufsteigenden Felswände. Eine weitere Besonderheit sind die steil abfallenden Ufer. Diese 3 Eigenschaften sind auf die Entstehungsgeschichte des Königssees zurückzuführen. Sie begann bereits vor ca. 140 Millionen Jahren durch die Anlage eines nach NNO gerichteten Deckenbruches, längs dessen sich die Dachsteinplatten mehrere hundert Meter tief abgesenkt haben. Das Königsseebecken geht somit auf einen Grabenbruch zurück, an dessen weiterer Ausbildung die gewaltigen Eismassen während der nachfolgenden Eiszeiten beteiligt waren.

Die ungewöhnliche Tiefe des Königssees (Tabelle 1), seine langgestreckte Form und die ringsum steil aufragenden Gebirgszüge sind morphometrische Besonderheiten. Sie stehen aber nicht für sich allein. Sie haben vielmehr weitreichende Folgen für den aquatischen Lebensraum und damit für das gesamte Ökosystem Königssee. Das wird verständlich, wenn wir folgendes bedenken: Aufbau und Erhalt eines Ökosystems setzen ein hinreichendes Nährstoff- und Energieangebot voraus. Letzteres stammt von der Sonne, deren Strahlung den aquatischen Lebensraum durch die Wasseroberfläche erreicht. Im Falle des Königssees besitzt ein großes Wasservolumen eine verhältnismäßig kleine Oberfläche. Das Energieangebot pro Volumeneinheit ist daher klein im Vergleich zu Seen mit größerer Oberfläche, aber gleichem oder kleinerem Volumen. Im Vergleich zu einem See mit flacher Umgebung ist beim Königssee aber auch das Energieangebot pro Oberflächeneinheit bereits reduziert, weil durch die umliegenden Berge ein Abschirmeffekt zustande kommt. Dieser Abschirmeffekt gilt aber auch für den Wind, und so kommt es, daß der Transport der in den oberen Wasserschichten durch Strahlungsabsorption gebildeten Wärme in die Tiefe im Vergleich zu entsprechend großen Seen im Flachland eingeschränkt ist. Diese Einschränkung betrifft auch die Verteilung der Nährstoffe, denn Wärmetransport bedeutet im Wasser immer auch Wasseraustausch und damit auch Transport der in ihm gelösten und suspendierten Substanzen.

Aus diesen Betrachtungen folgt, daß viele außergewöhnliche Eigenschaften des Königssees auf die geschilderten morphometrischen Besonderheiten zurückzuführen sind. Wir werden daher wiederholt auf sie zurückkommen, wenn wir uns im folgenden detaillierter mit den Eigenschaften dieses Sees befassen.

1. Das Strahlungsklima

Zu den Eigenschaften eines Gewässers, die für das Strahlungsklima von Bedeutung sind, gehört seine spektrale Transmission. Da sowohl die Absorption als auch die Streuung der Strahlung im Wasser wellenlängenabhängig sind, erfährt die in das Gewässer eingedrungene Strahlung nicht nur eine quantitative, sondern auch eine qualitative Veränderung. Die im Wasser gelösten und suspendierten organischen Bestandteile absorbieren bevorzugt den kurzwelligen Teil des Spektrums. Niedrige Transmissions-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Tabelle 1: Morphometrische und hydrographische Kenndaten

	Königssee [1]
Seehöhe	603,3 (m ü.NN.)
Geographische Position	12°58' ö.L., 47°33' n.B.
Seeoberfläche (A_O)	5,218 (km^2)
Seevolumen (V)	511,785 x 10^6 (m^3)
Größte Tiefe (z_m)	190 (m)
Mittlere Tiefe ($\bar{z}$)	98,1 (m)
Relative Tiefe (z_r)	7,4 (%)
Uferlänge (L)	19,96 (km)
Uferentwicklung (D_L)	2,46
Maximale Seelänge (l)	7,725 (km)
Maximale Seebreite (b)	1,225 (km)
Hydraulische Belastung (q_s)	41,7 (m/Jahr)
Mittlere Abflußmenge (MQ)	7,0 ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Abflußmenge (Q_J)	222,16 x 10 (m^3/Jahr)
Theoretische Wasser-erneuerung ($\frac{V}{Q_J}$)	2,3 (Jahre)
Einzugsgebiet (F_N)	131,13 (km^2)
Umgebungsfaktor (f_u)	25,2

[1] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1980, unpubl.

werte in diesem Bereich sind daher ein erster Hinweis auf eine hohe Produktion im See oder auf hohe Importe von organischem Material.

Im Königssee durchdringt "blaues Licht" (ca. 400 nm) die 1 m - Wasserschicht im Mittel zu 70 %, "grünes Licht" (ca. 500 nm) zu 90 % und "oranges Licht" (ca. 600 nm) zu 80 %. Dementsprechend lautet die optische Kennzahl des Königssees 798 und aus Tabelle 2 folgt, wie sehr sich dieser See in seinen Transmissionseigenschaften von den bisher daraufhin untersuchten Seen unterscheidet. Die hohe Transmission im kurzwelligen Teil des Spektrums (400 - 500 nm) ist übrigens ein typisches Merkmal für oligotrophe Gewässer. Die optische Kennziffer liefert uns somit bereits einen ersten Hinweis auf den Trophiezustand des Königssees.

Da der Spektralbereich zwischen 400 - 600 nm im sichtbaren Teil des Sonnenspektrums liegt, ist es nicht verwunderlich, daß auch die Bestimmung der Sichttiefe der hohen Transmission entsprechend zu großen Werten führt. Im Untersuchungszeitraum (1978 - 1980) lagen die Werte zwischen 6 - 12 m, wobei Maximalwerte bis zu 18 m feststellbar waren (SIEBECK 1982).

Die hohe Transparenz des Königssees ist, wie schon angedeutet wurde, vor allem auf die niedrige Konzentration gelöster und suspendierter organischer Substanzen zurückzuführen. Dies ist zweifellos eine Folge seiner Nährstoffarmut, auf die wir noch zurückkommen werden. Was die partikulären Bestandteile betrifft, so sinken diese im Laufe der Zeit ab, wobei sie im Uferbereich den Grund schon in geringer Wassertiefe errei-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

chen. Hier können sie bei Welleneinwirkung aber auch leicht wieder aufgewirbelt werden. Dieser die Transmission herabsetzende Trübungseinfluß ist im Königssee wegen dessen windgeschützter Lage reduziert. Auch die überwiegend steil abfallenden Ufer schränken den Aufwirbelungseffekt ein, weil nur ein relativ schmaler Bereich des Ufergrundes im Einflußbereich der Wellen liegt. Diese Feststellung erhält noch ein besonderes Gewicht, wenn man bedenkt, daß die Uferentwicklung (D_L) des Königssees mit einem Wert von 2,46 verhältnismäßig groß ist (Chiemsee: 1,97 (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1976), Kochelsee 1,64 (Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung 1979)).

Wir haben damit bereits 2 Einflüsse auf das Strahlungsklima des Königssees, die aufgrund morphometrischer Eigenschaften zustandekommen: der steile Abfall des Ufergrundes und die tiefe Einbettung des Sees in seine Umgebung. Durch letztere kommt es zu einem weiteren Einfluß: der Verkürzung der Tageslänge. Die tägliche Zeitspanne, innerhalb welcher eine Nettoproduktion des Phytoplanktons möglich ist, wird im Königssee daher kürzer sein als in anderen Seen, die weniger tief in ihrer Umgebung eingebettet sind.

Tabelle 2:	Optische Kenndaten verschiedener Seen
Königssee	798
Achensee	797
Weißensee	788
Wörthersee	687
Faakersee	577
Millstätter See	477
Irrsee	476
Mondsee	476
Afritzer See	377
Feldsee	377
Turnersee	377
Ossiacher See	377
Krottensee	366
Zeller See	256

2. Wärmeinhalt und Temperaturverteilung

Als Wärmeinhalt eines Sees bezeichnet man die in ihm zu einem gegebenen Zeitpunkt enthaltene Wärmemenge, die sich aufgrund der Wärmebilanz ergibt. Der Wärmeinhalt erreicht während des Winters seinen minimalen, im Sommer seinen maximalen Wert. Letzteren bezeichnet man als jährlichen Wärmegewinn (WETZEL 1975).

Der jährliche Wärmegewinn des Königssees ist mit ca. 12 000 cal/cm² erwartungsgemäß niedrig und liegt damit nur wenig über 50 % des Wärmegewinns des Chiemsees. Sicherlich ist dieser niedrige Wert nicht ausschließlich auf den Abschirmeffekt der umliegenden Gebirge zurückzuführen, sondern auch auf die besonderen Witterungsverhältnisse in Alpentälern (z.B. verzögerte Wolkenauflösung) (Tabelle 3).

Für das biologische Geschehen im See ist es von erheblicher Bedeutung, wie der gegebene Wärmeinhalt im See verteilt ist. Infolge der windgeschützten Lage des Königssees und seiner großen Tiefe kann man erwar-

Tabelle 3

Jahreswärmegewinn verschiedener Seen
(ausgenommen Chiemsee und Königssee, alle Daten aus HUTCHINSON 1957)

See	Geographische Lage	Meereshöhe m ü.NN.	Fläche km^2	Jahreswärmegewinn $cal \cdot cm^{-2}$
Bodensee	47° 39'	395	538,5	29 000
Zürichsee	47° 15'	409	88,66	21 700
Chiemsee *)	47° 53'	518	82,2	20 473
Attersee	47° 52'	469	46,7	27 600
Zugersee	47° 04'	416	38,2	29 500
Traunsee	47° 53'	422	25,7	33 400
Walensee	47° 09'	423	24,2	36 000
Tegernsee	47° 45'	725	9,12	25 400
Hallstätter See	47° 35'	508	8,58	26 600
Greifensee	47° 23'	439	8,56	16 000
Staffelsee	47° 42'	648	7,65	15 200
Kochelsee	47° 39'	599	5,86	20 900
Königssee *)	47° 33'	603	5,20	11 800
Schliersee	47° 44'	778	2,19	14 700
Lunzer Untersee	47° 57'	607	0,68	13 700

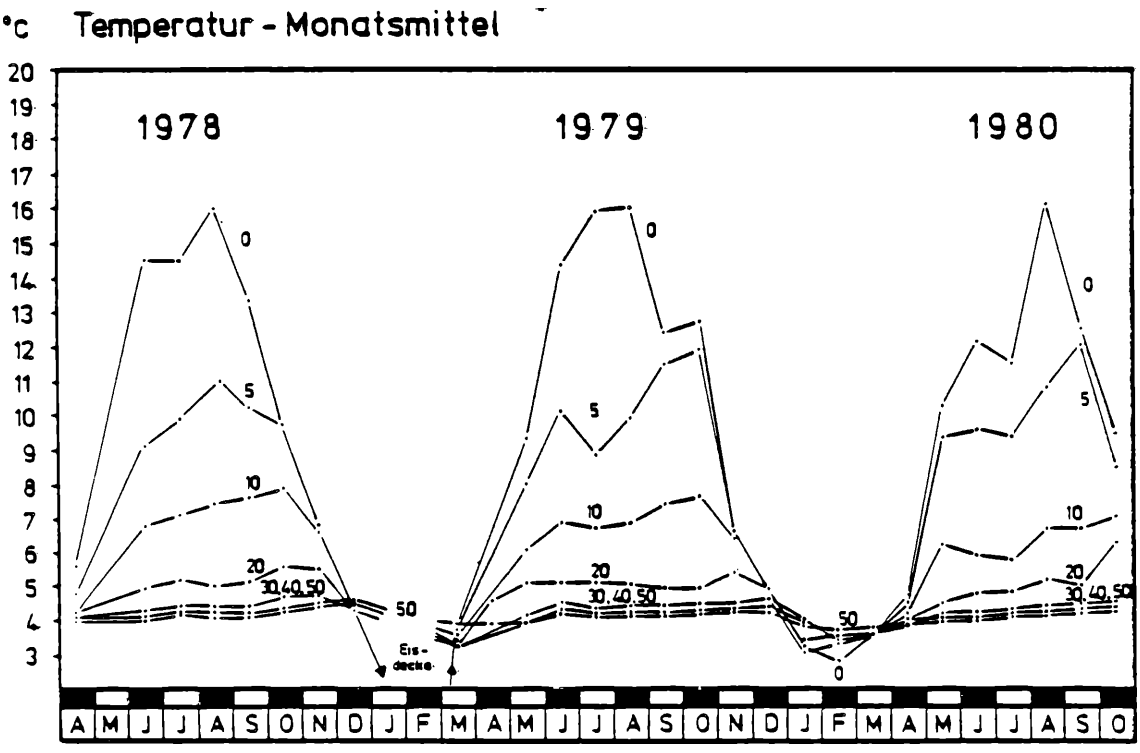
*) Chiemsee 1981; Königssee 1980

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ten, daß der sommerliche Wärmeinhalt auf eine verhältnismäßig schmale Oberflächenschicht beschränkt ist. Das ist auch der Fall: Schon in 10 m Wassertiefe wird die 8° C-Marke im Monatsmittel nicht überschritten und in 20 m Tiefe liegt die Obergrenze bereits bei 6° C. Das findet man beispielsweise im Bodensee erst in etwa 40 m Tiefe! Da auch die Oberflächentemperaturen im Monatsmittel 16° C kaum überschreiten, können wir im Königssee keine ausgesprochen wärmeliebenden Organismen erwarten. Der Königssee ist somit ein Lebensraum für Organismen mit Präferenz für niedrige Temperaturen bzw. mit keinen besonderen Temperaturansprüchen innerhalb der Grenzen, die für unsere Breitengrade typisch sind (Abb. 1).

Abb. 1: Temperaturmonatsmittel im Königssee für verschiedene Wassertiefen



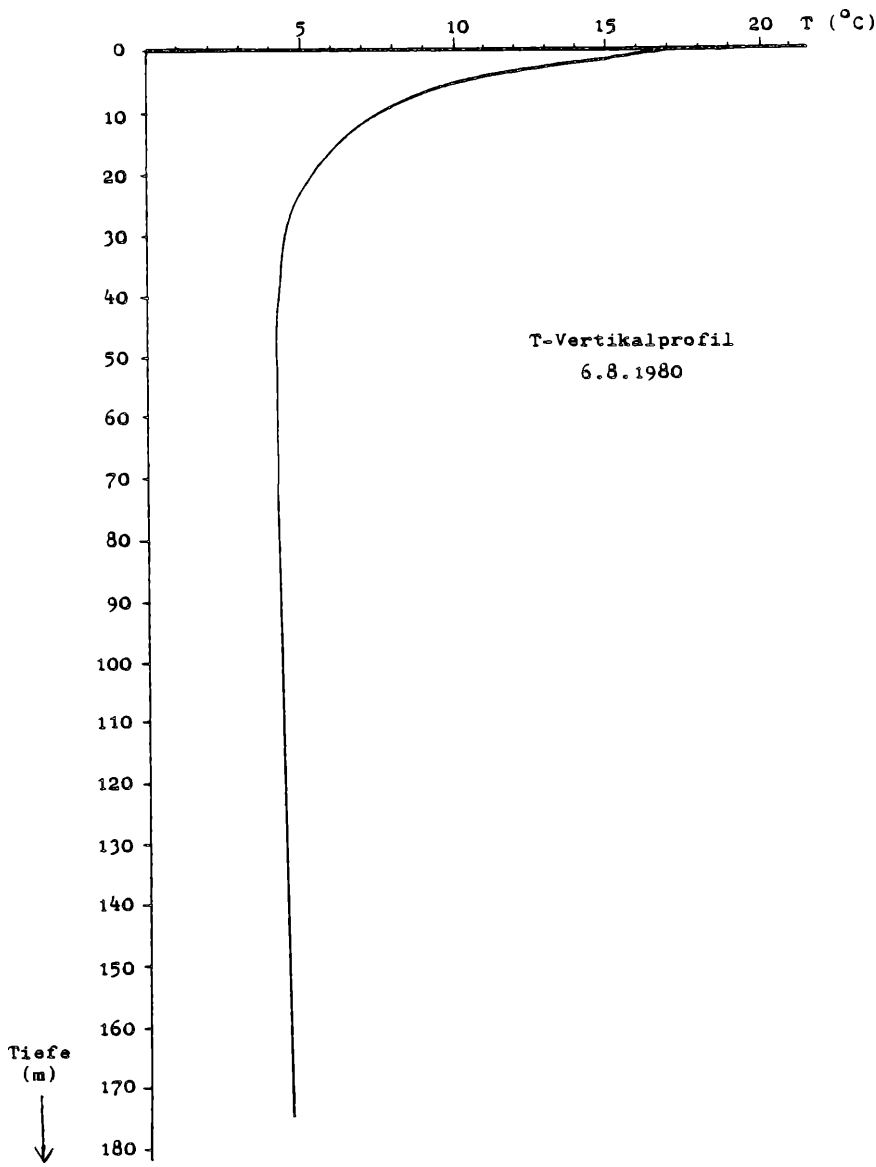
3. Die Durchmischungsverhältnisse

In Seen mit einer mittleren Wassertiefe von mindestens 8 - 10 m, die zwischen 55° - 40° nördlicher Breite und nicht über etwa 1 000 m ü.NN. gelegen sind, gibt es im allgemeinen 2 Durchmischungsphasen (im Herbst und Frühjahr). Man nennt diese Seen daher dimiktisch. In den meisten Seen zirkuliert dann das Wasser bis zum Grund (holomiktisch); in selteneren Fällen endet die Durchmischung mehr oder weniger weit vom Seegrund entfernt (meromiktisch). Zwischen den Durchmischungsphasen liegen stabile Schichtungsphasen, in welchen der vertikale Wasseraustausch zwischen den Schichten unterschiedlicher Dichte mehr oder weniger stark eingeschränkt ist (Sommer- bzw. Winterstagnation).

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Innerhalb einer Wasserschicht von gleicher Dichte liegen optimale Voraussetzungen für eine Durchmischung vor. Sie wird daher schon bei minimaler Windeinwirkung an der Oberfläche in Gang gesetzt und erfaßt schließlich die gesamte Wassermasse bis zum Seegrund. Liegt jedoch ein vertikaler Dichtegradient vor, so muß vom Wind bis zur völligen Durchmischung ein größerer Arbeitsaufwand geleistet werden. Unter sommerlichen Verhältnissen reicht dieser Arbeitsaufwand in der Regel aber nicht zur völligen Durchmischung aus, sondern nur bis zu einer gewissen Tiefe einer Oberflächenschicht, die als Epilimnion bezeichnet wird. Es liegt auf der Hand, daß die Dicke der epilimnischen Schicht u.a. von der vorausgegangenen Windtätigkeit und der Größe der Seeoberfläche abhängt. Im Falle des Königssees sollte man ein Epilimnion von mindestens 7 m Dicke erwarten, wenn man lediglich die Arealgröße beachtet. Stattdessen beobachtet man jedoch, daß der Temperaturgradient bereits knapp unter dem Wasserspiegel seinen Anfang nimmt (Abb. 2).

Abb. 2: Typischer vertikaler sommerlicher Temperaturverlauf im Königssee



©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Das für die warme Jahreszeit in anderen Seen so typische, anhaltende Epilimnion fehlt im Königssee und das ist zweifellos eine Folge der windgeschützten Lage des Sees, denn nach Windeinwirkung stellt es sich für einige Stunden oder Tage immer wieder ein, wenn auch meist nur in kleiner Schichtdicke (dm bis wenige Meter). Da der temperaturbedingte Dichtegradient bis in etwa 30 m Wassertiefe reicht und sich damit über die gesamte Produktionszone und darüber hinaus ausdehnt, bedeutet dies eine wesentliche Einschränkung des vertikalen Stoffaustausches. Es entfällt somit weitgehend auch der Transport von Nährstoffen, die beim Absinken abgestorbener Organismen (Phyto-, Zooplankter, Bakterien) freigesetzt werden, von unten nach oben. Dieser Effekt müßte im Verlauf des Sommers zu einer Nährstoffverarmung führen, die im Vergleich zu Seen mit typischen Epilimnion erheblich stärker ins Gewicht fallen sollte. Darüber liegen aber noch keine speziellen Untersuchungen vor.

Die windgeschützte Lage des Sees hat aber noch weitere Folgen. Betrachtet man den Temperaturverlauf bis zum Seegrund, so fällt auf, daß die geothermisch bedingte Temperaturinversion ganzjährig erhalten bleibt. Daraus folgt, daß die Vollzirkulation während der Zirkulationsphasen im Frühjahr und im Herbst nicht zustande kommt (Abb. 3).

Anhand der Sauerstoff-Isohypsen (Abb. 4) kann diese Aussage differenziert werden: Wir sehen, daß im März 1980 ein fast vollständiger Ausgleich der Sauerstoff-Konzentration bis in eine Tiefe von ca. 40 m zustandegekommen ist. Kleinere zeitabhängige Unterschiede unterhalb dieser Tiefe, z.B. in 75 m, zeigen jedoch, daß ein Sauerstoffnachschub erfolgt. Das spricht für einen immerhin vorhandenen, aber doch stark eingeschränkten Transport in die Tiefe bzw. vertikalen Wasseraustausch unterhalb der Produktionszone.

Untersuchungen zur Bestimmung der Tritiumkonzentration in verschiedenen Tiefen und ihrer Veränderungen haben unsere Vorstellungen über Art und Umfang des vertikalen Austausches inkl. der Zufuhr durch Zuflüsse und Niederschläge ergänzt und z.T. erweitert. Aus allen Befunden zusammengenommen zeichnet sich derzeit folgendes Bild ab: Die obere 20 m-Schicht des Königssees wird von den Zuflüssen am schnellsten ersetzt. Sie wird während der Zirkulationsphasen voll durchmischt. Eine Tiefenschicht, die etwa ab 120 m Wassertiefe beginnt und bis zum Seegrund reicht, ist am Austauschgeschehen nur noch wenig beteiligt. Die Schätzungen laufen darauf hinaus, daß ein völliger Austausch dieser Zone ca. 6 Jahre in Anspruch nimmt. Zwischen diesen beiden Schichten nimmt der Austausch mit zunehmender Tiefe rasch ab. Daraus folgt, daß der Königssee kein holomiktischer See ist, sondern ein meromiktischer, sofern man zuläßt, daß unter diesen Begriff auch Durchmischungen fallen, die zwar nicht während einer Zirkulationsphase, aber nach einigen bis vielen zum vollständigen Wasseraustausch führen.

Die windgeschützte Lage des Königssees und die für die Wärmeabgabe im Verhältnis zum Seevolumen kleine Oberfläche sind auch Ursache für den vergleichsweise späten Beginn der herbstlichen Zirkulationsphase und das langsame Vordringen der Homothermie in die Tiefe (Abb. 3).

4. Chemische Verhältnisse

Ein Blick auf Tabelle 4 zeigt, daß die für die pflanzliche Ernährung in verhältnismäßig großer Menge benötigten N- und P-Verbindungen im Vergleich zu allen anderen bayerischen Seen von gleichem oder größerem Wasservolumen, aber auch im Vergleich zu den meisten kleineren Seen

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 3: Temperatur-Isoplethen des Königssees

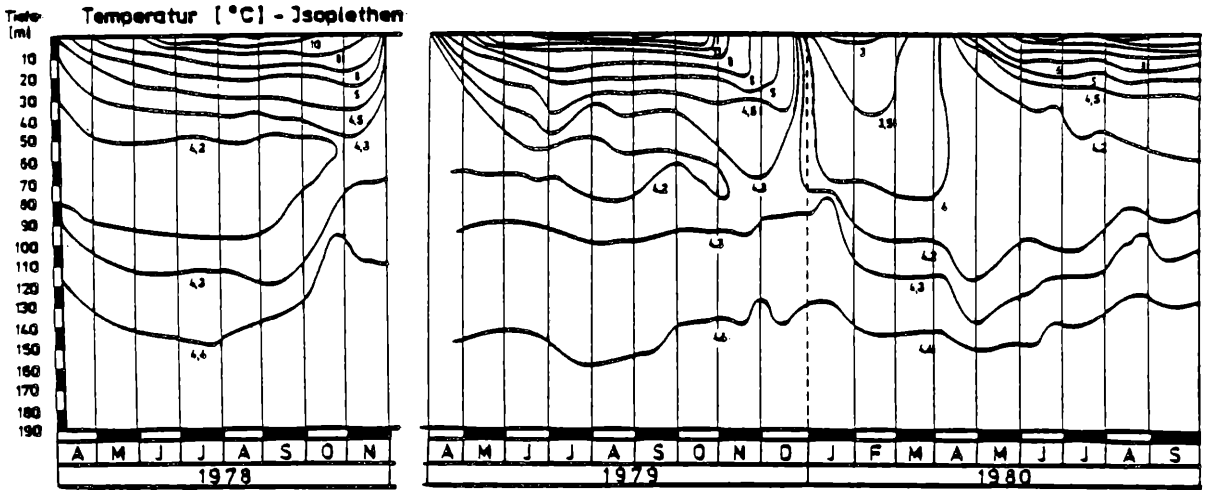


Abb. 4: Veränderung der Sauerstoff-Konzentration in verschiedenen Wassertiefen vom Mai 1979 bis September 1980. Man beachte den Unterschied zwischen den Tiefen 12, 20, 30, 40 und 50 m einerseits und den Tiefen 100, 125, 150 und 175 m andererseits.

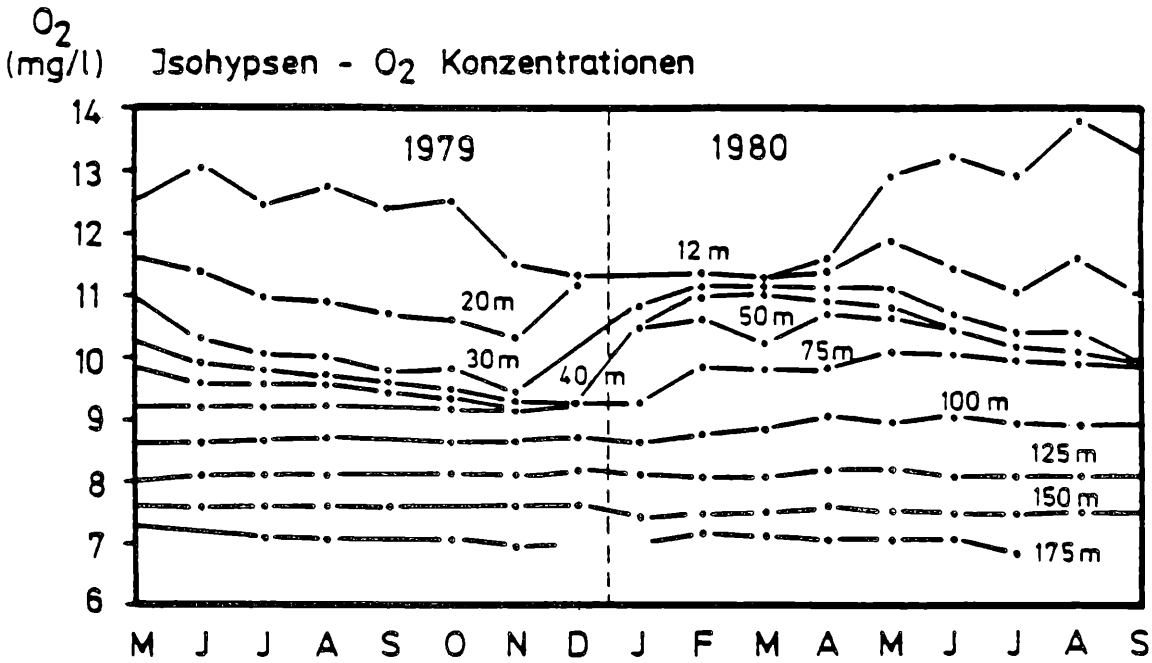


Tabelle 4 **Chemische Meßdaten**

Meßgrößen		[1] Regenwasser München	[1] Grundwasser Harlaching VII	[1] Leitungswasser München	Königssee	Fasaneriesee	[3] [2] Kochelsee	[2] Walchensee
Gesamthärte	mval/l				1,5–2,2		3,2–3,5	2,5–2,8
Leitfähigkeit m	$\mu S \cdot cm^{-1}$				117–174		180–255	185–215
pH		5,6	7,6	7,5	7,3–8,5		6,6–8,6	
Alkalinität	mval/l				1,4–2,1		2,8–3,4	2,4–2,8
Ca^{2+}	mg/l	3,5	92,0	83,9	25–36,5	91,7		40–48
Mg^{2+}	mg/l	1,0	19,5	22	1,9–6,9	21,2		10,5–11,5
Na^{+}	mg/l	0,5	16	2,45	0,04–0,22	16,2		ca. 0,8
K^{+}	mg/l	0,8	1,5	1,5	0,10–0,12	4,9		0,1–0,16
$Fe_{ges.}$	mg/l						< 0,01–0,2	10–80
sCO_2	mg/l	18,0	298	328,7	58–90			105,6–127,6
NO_3-N	mg/l	2,5	22	5,1	0,3–0,6	4,7	2–10	0,3–0,54
NO_2-N	mg/l				< 0,02			0–0,005
NH_4-N	mg/l	2,6	< 0,01	< 0,01	< 0,02	n. n.		0–0,016
SiO_2	mg/l				0,2–5,3		0,1–2,3	< 0,03–2,1
PO_4-P_{total}	µg/l				1–11	38	20 – < 400	8–60
PO_4-P_{ortho}	µg/l				n. n. – (2,0)*)	< 1–20	n. n. – < 400	0–45
Cl^{-}	mg/l	0,9	30	6,11	0,1–0,7	25,6	0,2–2,1	1,1–1,4
SO_4^{2-}	mg/l	9,5	47	18,8	2,0–6,5	43,5	10–20	13–15

1) Dr. Frimmel, persönliche Mitteilung
2) Bayerisches Landesamt für Wasserforschung bzw. Dr. Steinberg, persönliche Mitteilung
3) Dr. Hamm, persönliche Mitteilung
*) 2,0 nur am Grund, St. Bartholomä und Sallet bis 7 µg/l

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

(zu den Ausnahmen zählen einige Hochgebirgsseen) in erheblich geringerer Konzentration vorhanden sind. Es besteht kein Zweifel, daß dies vor allem auf die geringen anthropogenen Belastungen im Einzugsgebiet des Königssees zurückzuführen ist, welches unter Vernachlässigung der Flächen, die auf unbewachsene Felsen und Hangschuttmassen entfallen, zu über 91 % aus Wald und natürlichen Pflanzengesellschaften besteht. Nur ein kleiner Rest von ca. 8 % entfällt auf Wirtschaftswiesen. Die Nährstoffimporte aus dem Einzugsgebiet sind aus diesem Grunde verhältnismäßig klein. Schätzungen ergeben ca. 800 kg P/Jahr und ca. 125 t N/Jahr (Chiemsee: ca. 200 t P/Jahr! BLW 1976).

Die gerade geschilderte Situation verdient ganz besonders hervorgehoben zu werden: Mit dem Königssee haben wir einen See, dessen chemische Eigenschaften fast ausschließlich von den natürlichen Gegebenheiten (Zusammensetzung des Gesteins und des Bodens, sowie dessen Beschaffenheit und Bewuchs) seines Einzugsgebietes bestimmt werden. Für ein hochzivilisiertes Land hat ein derartiger See Seltenheitswert. Diese Einschätzung gilt trotz der unvermeidbaren Belastungen über die Atmosphäre bzw. über die Niederschläge.

Wenn wir unsere Betrachtungen auf das Nährstoffangebot innerhalb der Produktionszone (im Jahresmittel ist das die Schicht zwischen 0 - 20 m) beschränken, so gelangen wir zu einer Thematik, die schon in den vorangegangenen Abschnitten angesprochen worden ist: Mangels eines vertikalen Austausches im Sommer innerhalb der Produktionszone infolge der Dichteschichtung ist ein Nährstofftransport aus den darunterliegenden Schichten nach oben höchstens sehr eingeschränkt möglich. Aber auch nach Aufhebung dieser Dichteschichtung während der Zirkulationsphasen ist der Nährstoffnachschub aus der Tiefe des Sees eingeschränkt, einmal wegen der großen Tiefe, das bedeutet einen langen Transportweg und zum anderen wegen des Fehlens einer durchgreifenden Zirkulation.

Wir müssen daher davon ausgehen, daß die Produktion pflanzlicher Substanzen sehr erheblich auf die Nährstoffimporte über die Zuflüsse und über die Niederschläge angewiesen ist. In diesem Zusammenhang dürfte es aus der Sicht der pflanzlichen Produktion von Vorteil sein, daß die niedrige Temperatur eine Einschichtung der Zuflüsse noch in der Produktikonszone ermöglicht, so daß die mitgeführten Nährstoffe im Bereich einer für die Photosynthese hinreichenden Energieeinstrahlung verfügbar sind.

Dennoch ist der Betrag der verfügbaren Nährstoffe gering. Daher bleibt die produzierte pflanzliche Biomasse auf verhältnismäßig niedrigem Niveau, und das gilt zwangsläufig auch für alle diejenigen Organismen, die von ihr leben. Die biologischen Umsätze, die in nährstoffreichen Seen im allgemeinen zu auffälligen Wirkungen führen (z.B. O_2-Akkumulation durch Photosynthese und pH-Zunahme in der Produktionszone, O_2-Verbrauch, CO_2-Akkumulation und pH-Abnahme in der darunter liegenden Abbauzone), treten im oligotrophen Königssee kaum in Erscheinung. So zeichnet sich dieser See durch eine relative Konstanz in seinen chemischen Eigenschaften aus.

Eine Besonderheit gegenüber den bayerischen Voralpenseen sind auch die geringen Ca- und Mg-Konzentrationen. Das ist überraschend, wenn man bedenkt, daß die Gesteine praktisch ausschließlich aus Dachsteinkalk bestehen. Da aber die Zuflüsse den See sowohl oberirdisch als auch unterirdisch über durchwegs steiles Gefälle erreichen, geht man wohl nicht fehl in der Annahme, daß die kurze Fließzeit des Wassers zwischen der Versickerung im Boden und dem Zufluß in den See Ursache für die relativ

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

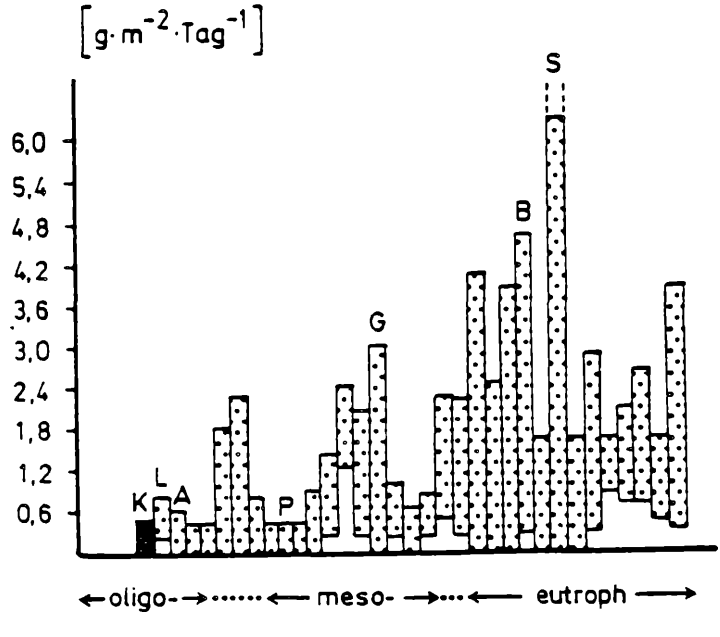
geringe Kalkaufnahme ist. Hinzu kommt aber auch, daß in großen Teilen des Einzugsgebietes die Humusdecke nur spärlich ausgebildet ist und das Wasser sich daher entsprechend wenig mit dem kalklösenden CO_2 belädt.

5. Die photoautotrophe (= pflanzliche) Produktion

Obgleich die hohe Transparenz des Königssees eine mächtige Produktionszone sichert, die im Jahresmittel bis in eine Tiefe von 20 m reicht, ist die mittlere Produktion pro m^2 Seeoberfläche mit 230 mg C sehr niedrig. Damit zählt der Königssee zu den Seen mit niedrigster Produktion, soweit sie z.B. im Rahmen des OECD-Programmes bisher untersucht worden sind (Abb. 5). Sein oligotropher Zustand ergibt sich auch aus den verhältnismäßig geringen Unterschieden in der Produktionsgröße der verschiedenen Wassertiefen, wie es z.B. auch in dem V/O-Wert (V = maximale Produktion/m^3 innerhalb der Vertikalserie unter 1 m^2 Seeoberfläche) von nur 6 - 10 % zum Ausdruck kommt.

Obgleich die Abschirmung der Strahlung (Verkürzung der Tageslänge) und des Windes (Absinken des Phytoplanktons wird bei ruhigem Wasser gefördert) Folgen haben, welche die Größe der Primärproduktion beeinflussen, wollen wir hier keine Einzelheiten diskutieren, zumal dem geringen Nährstoffangebot mit Sicherheit die Schlüsselrolle für die geringe Produktion zufällt.

Abb. 5: Maximum - Minimumwerte der Primärproduktion/Tag in Seen mit verschiedenem Trophiegrad. Der schwarze Balken (K) entspricht den Königsseewerten. Die punktierten Balken entsprechen Seen, die im Rahmen des OECD-Eutrophication-Program untersucht worden sind, z.B. L Lunzer See, A Attersee, P Piburger See, G Greifensee, B Baldeggersee, S Sempacher See (SFBfEP 1980).



©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

6. Primärproduzenten (= pflanzliche Organismen)

Wenn wir uns zunächst den Makrophyten zuwenden, so bleibt festzuhalten, daß sie im Königssee von untergeordneter Bedeutung sind. Die Nährstoffarmut, die niedrige Temperatur, die Steilufer und der oft felsige Untergrund sind Faktoren, die gegen Artenmannigfaltigkeit und auch gegen hohe Individuendichte gerichtet sind. So ist es nicht verwunderlich, daß nur wenige Arten (10 + 1 Unterart) angetroffen werden und unter ihnen nur 3, die größere Bestände erreichen (MELZER et al. 1981): Chara strigosa, eine Art, die als Indikator für Nährstoffarmut und niedrige Temperatur zu werten ist, Chara aspera, die ebenfalls nährstoffarme Gewässer bevorzugt und Ranunculus trichophyllus, der infolge seiner breiten ökologischen Potenz als Zeigerorganismus nicht geeignet ist.

Funktionell dominiert im Königssee, wie in allen Seen mit schmalem Uferbereich, das Phytoplankton, das aber mit den bisher nachgewiesenen 49 Arten ebenfalls noch als artenarm bezeichnet werden kann. Auffällig ist, daß die Klasse der Chrysophyceen die meisten Arten (17!) stellt. Es folgen in deutlichem Abstand die Chlorophyceen (9), die Bacillariophyceen (8), die Dinophyceen (6), die Cryptophyceen (5) sowie die Konjugatophyceen und die Cyanophyceen mit jeweils 2 Arten. Ordnet man nach der Biomasse, so nehmen die Bacillariophyceen Rang 1 ein, gefolgt von den Chrysophyceen, die damit ihre hervorragende Rolle in diesem See unterstreichen.

Obgleich die Phytoplanktonzusammensetzung von vielen Faktoren abhängt, ist man geneigt, den verhältnismäßig hohen Anteil mobiler Arten mit der Temperaturschichtung der produktiven Zone in Zusammenhang zu bringen. Mobilität ist das wirksamste Mittel gegen das Absinken, welches in einer thermisch geschichteten Zone mangels hinreichender Wasserzirkulation gefördert wird. Das Vorherrschen mobiler Formen könnte im Königssee daher von ganz besonderem Anpassungswert sein.

Im Gegensatz zu diesen spekulativen Betrachtungen zeigen die jahreszeitlichen Veränderungen der Phytoplanktonbiomasse eine Charakteristik, die eindeutig auf die besonderen Durchmischungsverhältnisse des Königssees zurückzuführen ist. Es fällt auf, daß es nicht, wie in den meisten dimiktischen Seen, 2 Populationsmaxima gibt eines im Frühjahr und eines im Herbst - sondern immer nur ein einziges im Jahr, das in der Zeit der maximalen Zufuhr von Schmelzwasser zustande kommt: im April bis Juni (Abb. 6). Dieser Befund unterstreicht die Bedeutung der Nährstoffzufuhr aus dem Einzugsgebiet, während die Nährstoffzufuhr aus der tropholytischen Zone in die trophogene Zone offensichtlich von untergeordneter Bedeutung ist.

Abschließend bleibt noch zu vermerken, daß der Königssee auch auf der Grundlage der niedrigen phytoplanktischen Biomassewerte die Chlorophyll a-Werte liegen unter 2 µg/l, das Frischgewicht im Jahresmittel bei 7 g/m² - eindeutig zu den oligotrophen Seen zu rechnen ist.

7. Die Heterotrophen (= tierische Organismen)

Von den 3 Lebensräumen: Litoral, Pelagial und Benthal ist bisher nur das Pelagial untersucht worden. Hier in der Freiwasserzone des Königssees existieren 5 Arten planktischer Krebse (Tabelle 5) und 19 Arten von planktischen Rädertieren (Tabelle 6). Auch diese Angaben kennzeichnen die niedrige Artenzahl, die wahrscheinlich vor allem auf die Nährstoffarmut und die niedrige Temperatur zurückzuführen ist.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Tabelle 5 Artenliste der pelagischen Kleinkrebse des Königssees: Klasse Crustacea [1)]

Copepoda (Unterklasse) DIAPTOMIDAE (Familie): Arctodiaptomus alpinus Imhof 1889 CYCLOPOIDAE (Familie): Cyclops abyssorum G.O. Sars 1863	Branchiopoda (Unterklasse) DAPHNIIDAE (Familie): Daphnia hyalina (s. str.) Leydig 1860 Ceriodaphnia quadrangula (det. Korinek) BOSMINIDAE (Familie): Bosmina longispina (det. Kořinek)

1) Copepoda det. U. Einsle, Branchiopoda det. J. Hrbáček)

Tabelle 6 Artenliste der pelagischen Rotatorien (Rädertiere) des Königssees: Klasse Monogononta [1)]

GASTROPODIDAE (Familie): Ascomorpha ecaudis (Perty 1850) Ascomorpha saltans (Bartsch 1870) Gastropus stylifer (Imhof 1891) COLLOTHECIDALE (Familie): Collothea mutabilis (Hudson 1885) Collothea pelagica (Rousselet 1892) Conochilus unicornis (Rousselet 1892) FILINIDAE (Familie): Filinia terminalis (Plate 1886)	BRACHIONIDAE (Familie): Keratella cochlearis cochlearis (Gosse 1851) Keratella cochlearis robusta (Lauterborn 1900) Keratella cochlearis f. angulifera (Lauterborn 1900) Keratella quadrata (O.F. Müller 1786) Keratella quadrata frenzeli (Eckstein 1895) Keratella hiemalis (Carlin 1943) Kellicottia longispina (Kellicot 1879) SYNCHAETIDAE (Familie): Polyarthra vulgaris (Carlin 1943) incl. forma aptera (vgl. Koste 1978, S. 432) Polyartha dolichoptera dolichoptera (Idelson 1925) Synchaeta cf. tremula (O.F. Müller 1786) Synchaeta pectinata (Ehrenberg 1832)

1) leg. K. Preißler 1978-1979, det. W. Koste

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 6: Phytoplankton- und Crustaceenplankton-Biomasse-Trockengewicht (TG) des Königssees im Jahresverlauf

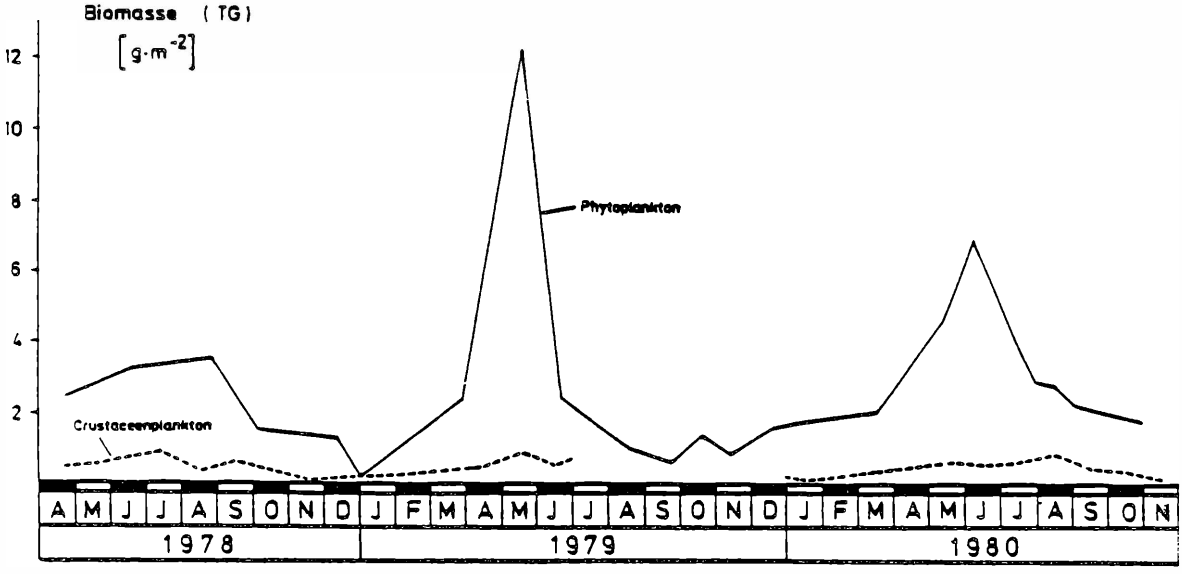
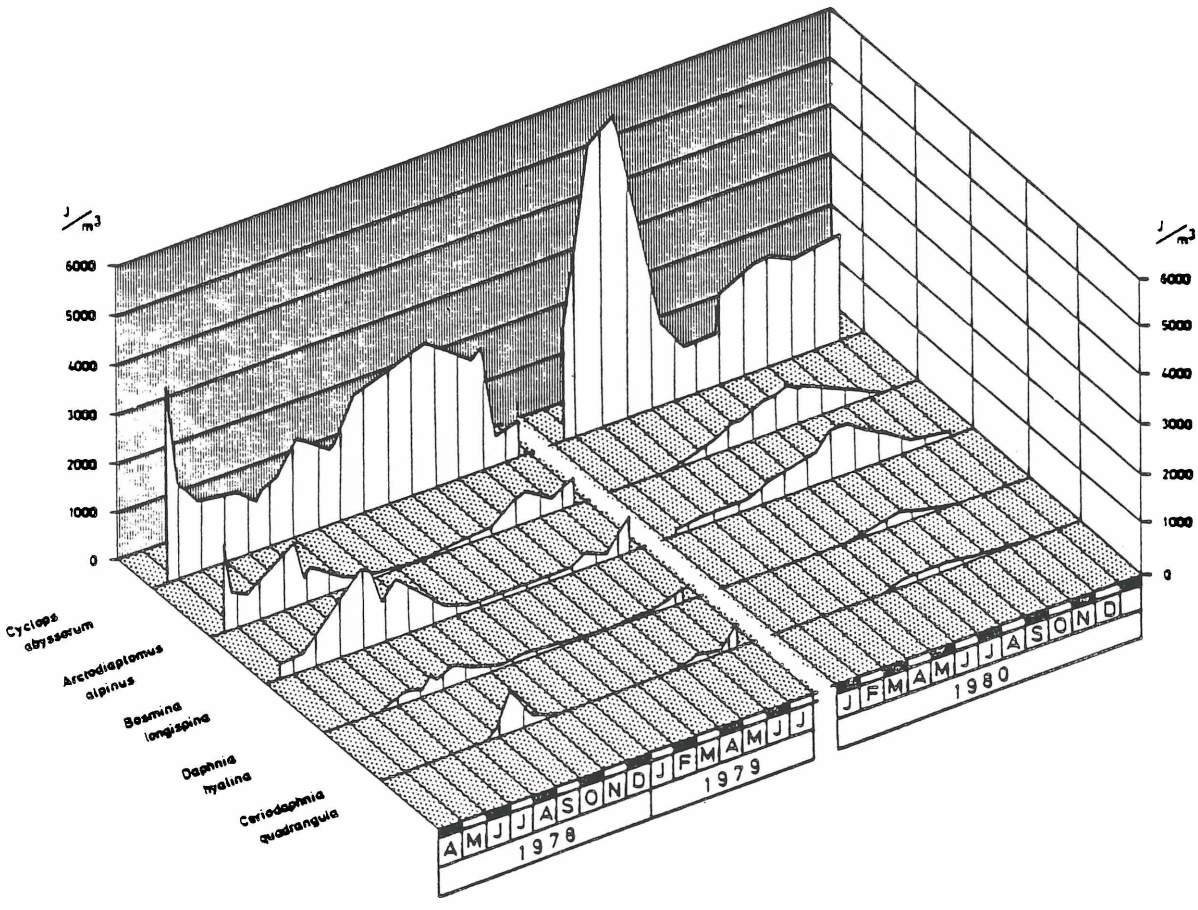


Abb. 7: Die jahreszeitliche Verteilung der fünf pelagischen Crustaceenarten des Königssees



©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Die Vermehrungsphase fällt bei allen Krebsen in die Zeit der Erwärmung des Seewassers, in welcher aber auch der Zustrom des Schmelzwassers und damit der Nährstoffimport ansteigt, so daß in dieser Phase auch die Phytoplanktonproduktion angekurbelt wird und die phytoplanktische Biomasse zunimmt (Abb. 6 und 7).
Sowohl die Krebse als auch die Rotatorien halten sich bevorzugt innerhalb einer oberen Schicht auf, die im großen und ganzen mit der Produktionszone übereinstimmt: die Hauptmasse der Cladoceren und der Rotatorien befindet sich bis zu einer Tiefe von 20 m, die der Copepoden bis zu 40 m.

Betrachten wir nun die Individuenzahlen: die höchste Individuendichte erreicht Cyclops abyssorum mit maximal über 5 000 Tieren/m^3. Alle übrigen Arten bleiben erheblich unter dieser Zahl. Im Maximum wurden bei diesen nicht mehr als etwa 1 000 Tiere/m^3 gezählt (Abb. 7). Die unter den Rädertieren vorherrschenden Arten kommen jedoch zu wesentlich höheren Dichten. Bei Polyarthra vulgaris wurden bis zu 65 000/m^3, bei Kellicottia longispina bis zu 53 000/m^3 und bei Keratella cochlearis bis zu 49 000/m^3 gezählt (LEHMANN-LAXHUBER 1984). Auch bei den anderen Rädertierarten erreichen die meisten höhere Individuendichten als die Krebse. Diese Befunde unterstreichen die Rolle der Rädertiere im Stoffwechselgeschehen der Freiwasserzone.

Aus dem jahreszeitlichen Verlauf der Biomassen des Phyto- bzw. des Krebsplanktons ist zu entnehmen, daß das Phytoplankton anscheinend nicht vom herbivoren Krebsplankton reguliert wird, dieses aber möglicherweise von den planktivoren Fischen. Die bisher abgeschlossenen Untersuchungen reichen aber nicht aus, die in diesem Zusammenhang entstehenden Fragen zu beantworten. Diese Antworten müssen aber vorliegen, bevor die Diskussion über Besatzmaßnahmen erfolgen kann. Dafür spricht insbesondere auch das Vorherrschen planktivorer Fische im Königssee, wie der Renke und des Seesaiblings, die ihrerseits die hervorragende Wasserqualität unterstreichen.

Da in diesem Referat vor allem von den Besonderheiten des Königssees die Rede ist, soll auch der starke Befall der Seesaiblinge durch den Fischbandwurm (Triaenophorus nodulosus), der im Hecht seinen Endwirt findet, erwähnt werden. Auch über den damit zusammenhängenden Fragenkomplex laufen z.Zt. Untersuchungen, deren Ergebnisse abgewartet werden sollen. Das gilt auch für die Bewohner des Litorals und des Benthals, über deren Zusammensetzung und Bestand derzeit Arbeiten durchgeführt werden.

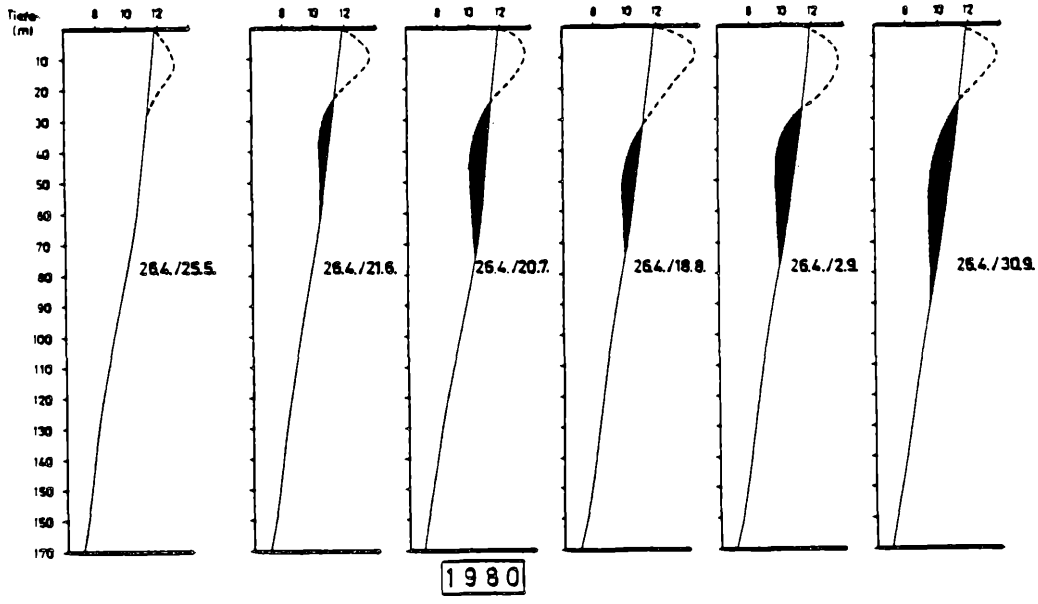
8. Die Destruenten (= Bakterien)

Auch nach Abschluß der derzeit noch laufenden Untersuchungen wird diese Thematik leider immer noch durch eine auffällige Lücke vertreten sein, denn es sind noch keine Untersuchungen über die Zusammensetzung der Bakterienarten und ihre Dichte angesetzt worden. Wir müssen uns daher auf eine der Wirkungen beschränken, die besonders leicht meßbar ist: den Sauerstoffverbrauch beim Abbau organischer Substanzen. Dieser (aerobe) Abbau ist bis zum Seegrund möglich, denn auch dort wurden noch über 6 mg O_2/l nachgewiesen.

Anhand von Abb. 8 wird ersichtlich, daß im Verlauf der sommerlichen Schichtung eine deutliche Abnahme der O_2-Konzentration zu beobachten ist, die jedoch im wesentlichen auf eine Zone beschränkt bleibt, die sich an die Produktionszone anschließt und bis in etwa 90 m Tiefe reicht. Unterhalb dieser Tiefe ist kein O_2-Verbrauch mehr nachweisbar und das heißt, daß er dort ganz besonders niedrig ist.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 8: Entwicklung des relativen Sauerstoff-Defizits im Königssee 1980, bezogen auf die Ausgangslage am 26. April



Wie ist dieser Befund zu verstehen?

Es wurde bereits erwähnt, daß die Produktionszone im Jahresmittel bis in etwa 20 m Tiefe reicht. In dieser Zone wird durch die Photosynthese des Phytoplanktons organisches Material aufgebaut, welches, soweit es nicht über das herbivore Zooplankton in die Nahrungskette eingeschleust wird, nach seinem Absterben dem bakteriellen Abbau unter Sauerstoff-Verbrauch anheim fällt. Dieser Vorgang findet in allen Tiefenschichten des Sees statt. In der Produktionszone wird der Sauerstoff-Verbrauch durch die Sauerstoff-Bildung während der Photosynthese überkompensiert, in der darunter liegenden Zone führt er zu einer deutlichen Abnahme des Sauerstoff-Vorrats, der dort während der Zirkulationsphase aufgebaut worden ist, nach Ausbildung der Dichteschichtung in der Produktionszone aber nicht mehr ergänzt werden kann. Wenn wir etwa ab 90 m Wassertiefe keine Abnahme des Sauerstoff-Vorrats nachweisen können, so bedeutet das, daß der Abbau der organischen Substanzen bis dahin im wesentlichen abgeschlossen ist. Übrig bleiben wohl nur noch die schwer abbaubaren Komponenten. Diese Interpretation wird von weiteren Befunden unterstützt. So wissen wir, daß der Chlorophyll a-Gehalt vor allem zwischen 20 - 75 m reduziert wird (MÜLLER 1981). Das gleiche beobachten wir bei der Konzentration des partikulären organischen Kohlenstoffs. Sedimentationsuntersuchungen zeigen (LEHMANN 1981), daß der organische Anteil des Sediments beim Erreichen einer Tiefe von 75 m bereits auf einen Anteil von 55 % (bezogen auf den Wert in 20 m Tiefe) gesunken ist, während er in der folgenden Absinkstrecke von über 100 m nur noch um weitere 10 % abnimmt.

Diese Ergebnisse sind im Prinzip typisch für tiefe oligotrophe Seen: In der Produktionszone wird verhältnismäßig wenig produziert, folglich ist auch der Anteil der phytoplanktischen Biomasse gering, der nicht in die Nahrungskette über die Herbivoren eingeschleust wird, sondern dem bakteriellen Abbau anheim fällt. Der Sauerstoff-Vorrat in der Tiefe wird daher nur wenig angegriffen und bei der Vollzirkulation rasch wieder aufgefüllt.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Im Königssee liegt der Sauerstoff-Verbrauch in der Tiefenzone zwischen 35 m und Seegrund im Mittel bei 0,86 mg O_2/cm^2 Monat. Das ist sehr wenig und entspricht nach HUTCHINSON (1938) einer Größe, die in oligotrophen Seen beobachtet wird. Wir müssen jedoch bedenken, daß im Königssee keine Vollzirkulation möglich ist. Das Tiefenwasser wird nur allmählich ausgetauscht, ab 120 m Tiefe etwa alle 6 Jahre einmal, und so sind die Gefahren für die O_2-bedürftigen Organismen der Tiefenzone, an Sauerstoff-Mangel einzugehen, größer als in Seen, die stärker bzw. häufiger durchmischt werden. Zur Zeit sind die Sauerstoffverhältnisse in der Tiefenzone günstig. Mit 6 - 8 mg/l liegen sie auch am Seegrund gerade noch in einem Bereich, der auch den Salmoniden gute Lebensbedingungen sichert. Sollte das Baumsterben im Nationalpark Berchtesgaden aber einen größeren Umfang annehmen und so durch vermehrte Erosion auch der Nährstoffeintrag in den Königssee ansteigen, so müßte man mit einer stärkeren Abnahme der Sauerstoff-Konzentration rechnen und damit auch mit einer Umgestaltung der Lebensgemeinschaften des Seegrundes, vielleicht sogar mit anaeroben Verhältnissen. Dafür gibt es aber derzeit noch keine Anhaltspunkte.

9. Der Königssee als naturnahes Ökosystem - eine Aufgabe des Naturschutzes und eine Chance für die Ökosystemforschung

Aus zahlreichen Eigenschaften, die in den vorausgehenden Abschnitten geschildert worden sind, erweist sich der Königssee als letzter großer oligotropher See in Bayern und weit über dessen Grenzen hinaus. Das Fehlen nennenswerter Dauerbelastungen durch anthropogene Nährstoffimporte verdankt dieser See letztlich der schwierigen Erschließbarkeit seines Einzugsgebietes. Da dem Menschen in seinem Drang zu expandieren und die "Flur zu bereinigen" nahezu keine Grenzen gesetzt sind, hätte man über kurz oder lang aber doch eine Entwicklung erwarten müssen, die für den überwiegenden Teil unseres Landes zutrifft und m.E. auch nicht zu vermeiden ist. Dazu wird es aber glücklicherweise nicht kommen, weil es gelungen ist, den Königssee und dessen Umland, zu welchem fast das gesamte Einzugsgebiet zählt, zum Nationalpark Berchtesgaden zu erklären. Der 13. Juli 1972 - an diesem Tage faßte der Bayerische Landtag den Beschluß, einen "Bayerischen Alpenpark" zu planen - und der 1. August 1978 - an diesem Tage wurde die vom damaligen Ministerpräsidenten Dr. h.c. A. GOPPEL unterzeichnete Verordnung über den Alpen- und Nationalpark Berchtesgaden in Kraft gesetzt - sind wichtige Daten für die weitere Entwicklung dieses Gebietes. Freilich sind damit nicht alle Konfliktsituationen, die sich im Laufe der Zeit und schon vor Inkrafttreten dieser Verordnung gebildet hatten, schlagartig aus der Welt geschafft, doch ist ein wichtiger Anfang gemacht, ein Gebiet zu bewahren, das durch seine relative Ursprünglichkeit Seltenheitswert besitzt und für viele Elemente unserer Flora und Fauna die Funktion einer Arche Noah übernehmen kann.

Wer den Königssee unter diesem Aspekt betrachtet, muß sich aber auch mit der Frage auseinandersetzen, ob die bisherige Praxis der Abwasserbeseitigung an den Besucherzentren St. Bartholomä und Salletalm auf Dauer ohne Schaden für den See hingenommen werden kann. "Schaden" bedeutet hier: Förderung der Eutrophierung. Wir wissen, daß der Königssee auf eine solche Entwicklung wegen der eingeschränkten Zirkulation frühzeitiger, als wir es von anderen Seen gewohnt sind, reagieren würde. Diese Situation läßt sich kaum in den gängigen Belastungsmodellen berücksichtigen, durch welche die kritischen Belastungsgrößen ermittelt werden. Dafür gibt es mehrere Gründe und einer davon ist die Bedeutung

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

der Wasseraustauschzeit in diesen Modellbetrachtungen. Mangels realistischer Daten wählt man im allgemeinen die theoretische Wasseraustauschzeit (τ_W) und wir wissen gerade auch im Falle des Königssees, daß diese von der Wirklichkeit besonders weit entfernt ist.

Es ist bekannt, daß St. Bartholomä und die Salletalm jährlich von etwa 650 000 700 000 Personen besucht werden, die sich dort eine Zeitlang aufhalten. Die anfallenden Abwässer versickern im Schotterkegel von St. Bartholomä in ca. 250 m und bei der Salletalm in ca. 50 m Entfernung vom Ufer. Man kann schätzen, welche Phosphat-Mengen jährlich deponiert werden und vielleicht auch noch, wieviel davon jährlich in den See gelangen, doch soll hier auf Rechenbeispiele verzichtet werden. Es sei jedoch betont, daß man aus derartigen Berechnungen und Überlegungen zu Zahlenwerten gelangt, die weit unter der kritischen Belastungsgrenze liegen, die sich aufgrund der erwähnten Modelle ergeben.

Diese beziehen sich aber immer auch auf eine mittlere Reaktion des ganzen Sees. Die vorausgehenden Entwicklungen: Eutrophierung einzelner Uferabschnitte, insbesondere in Buchten, flacheren Abschnitten, u.a. werden nicht berücksichtigt.

Im Königssee gibt es jetzt schon lokale Eutrophierungserscheinungen, und zwar gerade dort, wo sich die genannten punktuellen Belastungsherde befinden. Wir haben sie sicher zu Recht nicht als Zeichen für eine dramatische Qualitätsminderung des Königssees gewertet, sondern als Zeichen dafür, daß der Zeitpunkt für eine wirksame Vorsorge gekommen ist.

Man mag einwenden, daß es in unserem Lande gravierendere Seenschutzprobleme gibt als die Fernhaltung anthropogener Nährstoffbelastungen vom Königssee. Obgleich dies durchaus zutrifft, verbietet die Einzigartigkeit des Königssees jeden Vergleich mit Seen, die sich inmitten unserer Kultur- oder Industrielandschaft befinden. Hinzu kommt, daß die Chance, diesen See so zu erhalten wie er ist, ganz besonders leicht genutzt werden kann.

Ein Seeökosystem, das so langsamen Veränderungen unterliegt wie der Königssee, ist aber auch für die limnologische Forschung etwas ganz Besonderes. An fast allen übrigen Seen sind die Veränderungen der Lebensgemeinschaften unter dem Einfluß steigender Nährstoffimporte durchwegs so erheblich, daß sie der Ökosystemforschung m.E. besondere Schwierigkeiten bereiten. Der Königssee bietet die einmalige Gelegenheit, eine Lebensgemeinschaft zu studieren, die mit großer Wahrscheinlichkeit innerhalb der letzten Jahrzehnte keine wesentlichen Veränderungen erfahren hat. Zu dieser Annahme gelangt man beim Vergleich der Untersuchungen von SCHINDLER (1950) mit den unserigen, soweit dies möglich ist.

Den größten Eingriff in das Ökosystem Königssee stellt derzeit der regelmäßig durchgeführte Renkenbesatz dar. Es sollte erlaubt sein, diesen Eingriff sine ira et studio zur Diskussion zu stellen, wobei die Aspekte der über die Nahrungskette gekoppelten, trophischen Beziehungen ebenso Berücksichtigung finden sollten, wie Fragen der Populationsgenetik und schließlich auch Fragen des mit dem Besatz unvermeidbaren Parasitenimports. Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ließe sich mit Sicherheit ein Konzept entwickeln, das auch die berufliche Existenz eines Fischers garantiert. Zu einer Reihe von Fragen in diesem Zusammenhang laufen aber schon seit geraumer Zeit ausgewählte Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse vor einer detaillierten Diskussion abgewartet werden müssen.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Wenn es darüber hinaus gelänge, weitere wichtige Lücken der Ökosystemanalyse dieses Sees zu schließen, wie z.B. die Struktur und Funktion der Wasserbakterien, die als Destruenten eine nicht vernachlässigbare Rolle spielen, ferner die Struktur und Funktion der Bewohner des Litorals und des Benthals, sowie den Import organischer Substanzen in den See (man denke an den immensen Laubeintrag im Herbst! Was bedeutet er für das Ökosystem Königssee?), dann hätte man m.E. wichtige Grundlagen für eine erste Modellbetrachtung geschaffen. Es ist zu hoffen, daß die inzwischen so weit gediehenen Untersuchungen nicht schon vor dieser Untersuchungsphase beendet werden müssen. Gelingt es, sie weiter voranzutreiben, so wäre der Königssee bald mit einer weiteren Besonderheit "ausgestattet": er wäre in Bayern einer der am besten untersuchten Seen.

Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1976):
Gewässerschutztechnische Studie der Reinhaltung des Chiemsees, München

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WASSERFORSCHUNG (1979):
unpubliziert

HUTCHINSON, G.E. (1938):
Chemical stratification and lake morphology. Proc.Nat.Acad.Sci. 24, 63-69

LEHMANN, R. (1981):
Sedimentationsmessungen im Königssee, unpubl. pp. 176. Dipl.Arbeit d. Fachbereichs Biologie der LMU München

LEHMANN-LAXHUBER, R. (1984):
Entfaltung, Sukzession und Dynamik der pelagischen Rotatorien (Rädertiere) des Königssees im Wechsel der Jahreszeiten. Unpubl. Arbeitsbericht, pp. 72

MELZER, A., A. MARKL u. J. MARKL (1981):
Die submerse Makrophytenvegetation des Königssees in ihrer quantitativen Verbreitung. Ber. Bayer. Bot. Ges. 52, 99-107

MÜLLER, R. (1981):
Die Verteilung des Sauerstoffs im Königssee und ihre Ursachen. Unpubl. pp. 131. Dipl.Arbeit d. Fachbereichs Biologie der LMU München

SAUBERER, F. (1962):
Empfehlungen für die Durchführung von Strahlungsmessungen in Gewässern. Mitt. Int.Ver.Limnol. 11, pp. 77

SCHINDLER, O. (1950):
Der Königssee als Lebensraum. Erste Mitteilung über die bisherigen Ergebnisse. Ver. Zool. Staatss. München: 1, 97-129

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

SIEBECK, O. (1982):
Der Königssee, eine limnologische Projektstudie. Forschungsbericht 5. Herausgeber: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, pp. 130

SWISS FEDERAL BOARD FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION (SFBfEP) (1980):
OECD-Eutrophication Programme Regional Project Alpine Lakes, pp. 234

WETZEL, R.G. (1975):
Limnology. W.B. Saunders Comp. Philadelphia-London-Toronto, pp. 743

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Otto Siebeck
Abt. Limnologie
Zoologisches Institut der
Universität München
Seidlstraße 25
8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: 2_1984

Autor(en)/Author(s): Siebeck Otto

Artikel/Article: DIE SONDERSTELLUNG DES KÖNIGSSEES UNTER DEN BAYERISCHEN SEEN 77-96