

Die Auswirkung der Versauerung der beiden Arberseen im Bayerischen Wald auf die Makrophytenvegetation

Von A. Melzer und E. Rothmeyer, München

1. Einleitung

Die negativen Auswirkungen des „Sauren Regens“ auf die Waldvegetation sind viel diskutiert und haben tagespolitische Aktualität erreicht. In Gebieten, wo silikatisches Urgestein den Untergrund bildet und damit natürlicherweise eine geringe Pufferkapazität des Bodens besteht, sind die pH-Werte des Oberbodens besonders tief abgesunken (vgl. hierzu ULRICH 1982 und die dort zitierte Literatur). Diese ungünstigen Voraussetzungen treffen u. a. für das Gebiet des Bayerischen Waldes zu. Verschärft wird die Situation zusätzlich durch die sauer verwitternde Streu der die Waldvegetation dominierenden Coniferen. Parallel mit der Bodenversauerung sinkt in den betroffenen Landschaften auch der pH-Wert der fließenden und stehenden Gewässer.

In Europa war eine Versauerung von Gewässern in großem Umfang zuerst in Skandinavien zu beobachten. Verantwortlich dafür wurden die aus den Industriegebieten Mitteleuropas und Großbritanniens dorthin transportierten luftverunreinigenden Stoffe, insbesondere SO_2 und NO_x , gemacht. Die pH-Werte der Niederschläge sanken dadurch durchschnittlich auf 4,2 bis 4,5 (vgl. z. B. GJESSING et al. 1976, NILSSEN 1980). Mit einem pH von durchschnittlich 4,42 liegen die im Bayerischen Wald am Brotjacklriegel von KAYSER et al. (1974) zwischen 1967 und 1972 ermittelten Werte im gleichen Bereich.

Eine bedeutende Gewässerversauerung, die auf Sauren Regen zurückzuführen ist, wurde auch aus dem Gebiet des Kanadischen Schildes bekannt, wo ebenfalls felsiges Granitgestein die Landschaft beherrscht. Dort werden mit den Niederschlägen jährlich etwa $70 \text{ meq H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ deponiert (SCHEIDER et al. 1979), in Norwegen wurden bis zu $90 \text{ meq H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ gemessen (GJESSING et al. 1976).

Mit dem Absinken der pH-Werte der betroffenen Fließ- und Stillgewässer vollziehen sich weitreichende biologische Veränderungen, die die gesamte Biözönose umfassen. Das beginnt bei den Primärproduzenten (vgl. z. B. VAN DAM et al. 1981), setzt sich über die Primär- und Sekundärkonsumenten (vgl. z. B. NILSSEN 1980) fort und wirkt sich vor allem bei den Endkonsumenten der limnischen Nahrungskette, den Fischen, sehr negativ aus: diese können völlig aussterben (vgl. z. B. LEIVESTAD und MUNIZ 1976, JENSEN und SNEKVIK 1972). Auch in den Arberseen kommen keine Fische mehr vor (A. SEIDL, pers. Mitt.). Welche darüberhinausgehenden Veränderungen im pflanzlichen und tierischen Artenspektrum aufgetreten sind und welche neue Vernetzung des Trophieebenen sich daraus ergab, ist an diesen Seen unseres Wissens noch nicht untersucht worden. Mit den hier vorliegenden Untersuchungen soll belegt werden, daß im Makrophytenbestand auf Grund der Versauerung eine typische Florenverschiebung stattfand, die mit der zu vergleichen ist, die sich in vielen skandinavischen Seen (vgl. z. B. HALVORSEN 1977) und holländischen Heidetümpeln (SYKORA 1979) abspielte.

2. Angaben zur Geologie, Hydrologie und Morphologie

Der Große Arbersee im Bayerischen Wald liegt in 934 m Höhe unterhalb des 1458 m hohen Arbergipfels in einem weit zur Gipfelregion vorgedrungenen Talschluß. Für die im Westen des

Sees liegende Seewand ergibt sich eine relative Höhe von 411 m. Nach RATHSBURG (1928) kann man den aus zwei Seebecken aufgebauten Großen Arbersee als einen durch Moränen aufgestauten Abdämmungssee bezeichnen, der während der letzten Eiszeit entstanden ist. PRIEHAUSSER (1961) stimmt mit dieser Auffassung nur insoweit überein, als er das vordere östliche Seebecken als Abdämmungsform der letzten Talstrecke des damaligen Seebachtales ansieht. Für die Entstehung des westlichen Seebeckens, das quer zur angrenzenden Seewand ausgerichtet ist, macht er dagegen die schleifende Wirkung durch Verfrachtungen hervorgerufener Eisbewegungen verantwortlich. Dieses Becken besitzt heute noch eine Wassertiefe von 9 m, während das östliche bis zu 15 m tief ist. Der Umfang des Sees beträgt 1,25 km, die Seefläche 6,55 ha. Diese nimmt damit nur etwa 2,5% des Wassereinzugsgebietes ein, das 2,58 km² groß ist (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1983). Einziger nennenswerter Zufluß ist der Geigenbach, der im Westen in den See mündet und ihn am entgegengesetzten östlichen Ende wieder verläßt.

Der Kleine Arbersee liegt, in einem kleinen Talkessel eingeschlossen, nordwestlich des Großen Arbersees und mit 919 m Höhe über NN nur wenig tiefer als dieser. Auch der Kleine Arbersee entstand während der letzten Eiszeit durch die Tätigkeit des den Arber bedeckenden Gletschers. Dieser schuf durch seine Moränen eine Abdämmung, hinter der sich nach dem Abschmelzen des Eises Wasser sammelte. Der Mensch nahm auf die Hydrologie des Sees starken Einfluß. Im Jahre 1885 staute man den See auf und vergrößerte seine Fläche damit von 2,7 auf knapp 9 ha. Zweck dieser Maßnahme war es, genügend Wasser für ein periodisch vorgenommenes Triften von Baumstämmen zu sammeln. Durch den Wasserstau hoben sich die Moorfilze vom Gletscherschliff des jetzigen Seebodens und erhielten sich bis heute in Form dreier schwimmender Inseln. Deren Größe hat in den letzten 50 Jahren abgenommen (A. SEIDL, pers. Mitt.). Der Kleine Arbersee besitzt wegen der Aufstauung mit 8,56 ha eine größere Seefläche als der Große Arbersee. Seine maximale Tiefe beträgt 12 m, der Umfang 1,45 km und das Wassereinzugsgebiet 2,79 km² (Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft 1983).

3. Chemisch-physikalische Charakterisierung der Seen

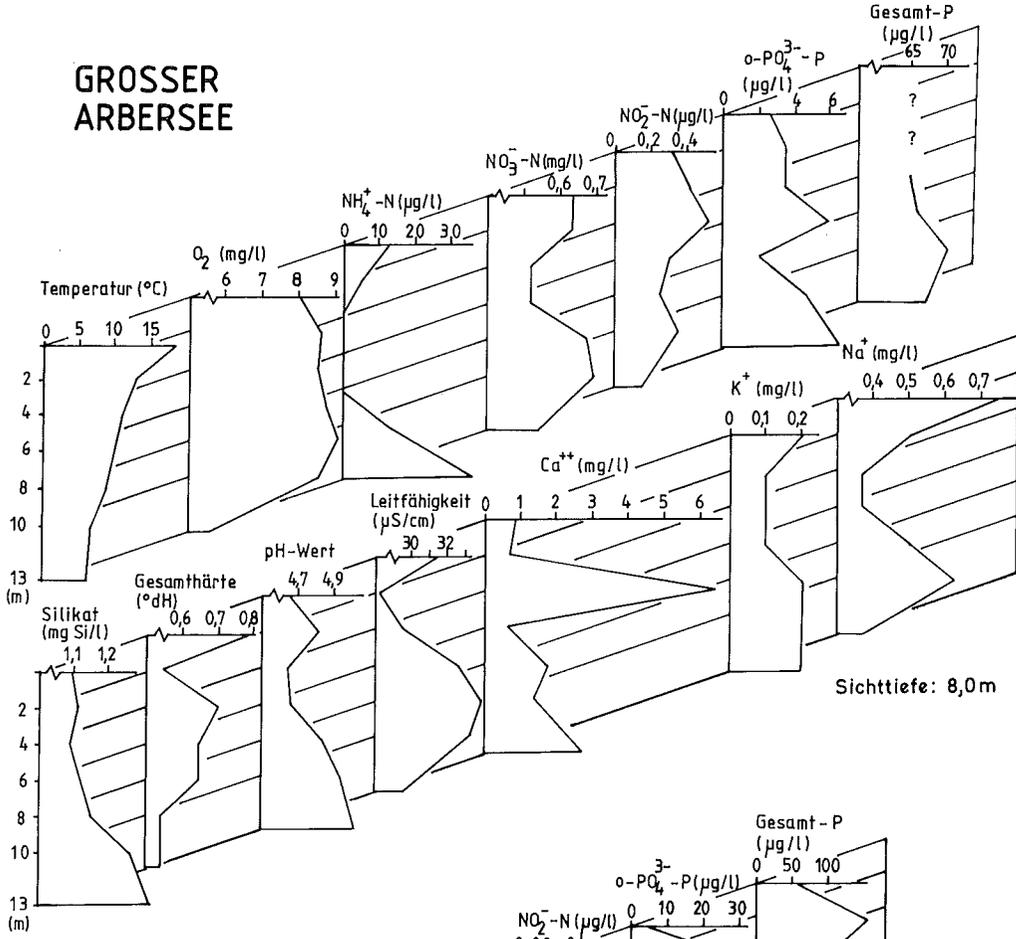
Am 4. 8. 81 wurde an den beiden Arberseen eine Profiluntersuchung vorgenommen, um eine Orientierung über die chemisch-physikalischen Verhältnisse der Seen zu gewinnen. Folgende Parameter wurden direkt im Boot mit tragbaren Meßgeräten ermittelt: Sauerstoff und Temperatur mit einem Orbisphere-Meßgerät Modell 2607, Leitfähigkeit mit einem WTW-Gerät LF Digi 550, pH mit einem Knick-pH-Meter Modell Portacon 652. Die Sichttiefe wurde mit einer Secchi-Scheibe bestimmt. Die übrigen Analysen erfolgten im Labor nach den bei MELZER (1976) beschriebenen Methoden. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 graphisch wiedergegeben.

Das Temperaturprofil der beiden Seen entspricht sich fast völlig. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß ein gleichmäßig temperiertes Epilimnion fehlt. Die Temperatursprungschicht beginnt direkt an der Oberfläche. In 2 m Tiefe konnte in beiden Seen eine Temperaturdifferenz von 5,8°C gegenüber der Oberfläche beobachtet werden. Durch die geschützte Lage in Talkesseln und die starke Windabschirmung der die beiden Seen fast völlig umschließenden Waldgürtel findet im Sommer keine Durchmischung der obersten Wasserschichten statt. Die Temperatur von nur 5,1°C in 13 m Tiefe weist den Großen Arbersee als Bergsee aus.

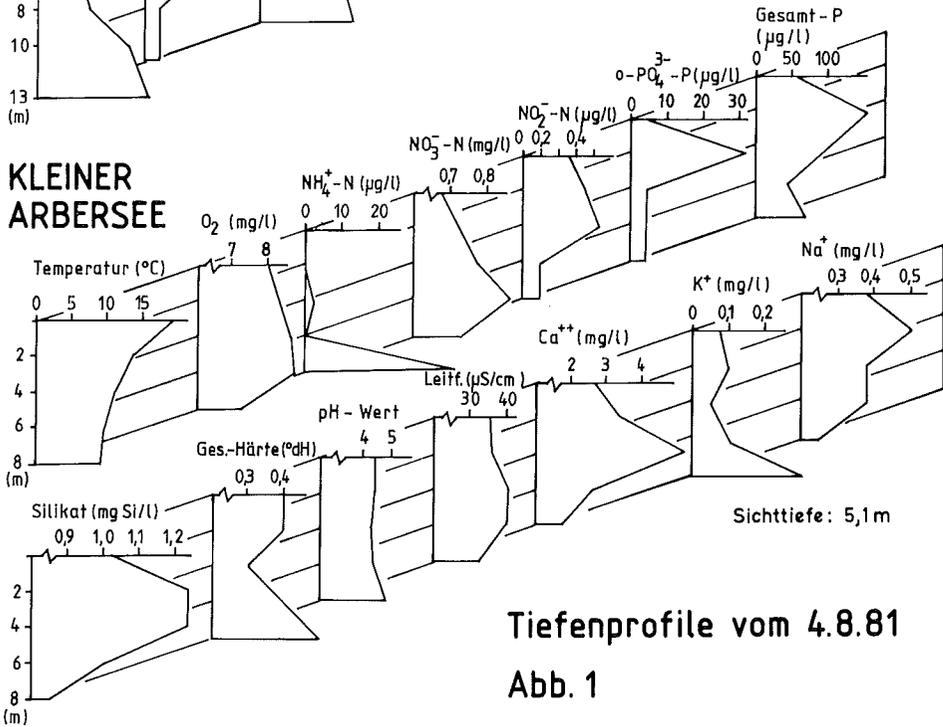
Am Verlauf der Sauerstoffkurve fällt auf, daß die Gehalte bis in größere Tiefen gleich bleiben und keine durch Phytoplanktonpopulationen hervorgerufenen Übersättigungen aufweisen. Über Grund sank der O₂-Gehalt des Wassers, bedingt durch vom Sediment ausgehende Zehrvorgänge, deutlich ab. Das Sättigungsdefizit betrug im Großen Arbersee in 13 m Tiefe 64%, im Kleinen Arbersee in 8 m Tiefe 35%. (Größere Tiefen wurden bei der Messung nicht erfaßt.)

Unter den anorganischen Stickstoffverbindungen dominiert in beiden Seen das Nitrat-Ion. Die Gehalte im Kleinen Arbersee übersteigen dabei die des Großen geringfügig. Über dem Grund nehmen die Konzentrationen in beiden Seen etwas ab, was eine vom Sediment ausgehende Denitrifikation andeutet. Ammonium war nur in geringsten Mengen vorhanden, in der durchlichteten Zone war es teilweise gar nicht nachweisbar. Zwar fällt in beiden Seen eine deut-

GROSSER ARBERSEE



KLEINER ARBERSEE



Tiefenprofile vom 4.8.81

Abb. 1

liche Zunahme über dem Sediment auf, die absoluten NH_4^+ -Konzentrationen sind jedoch auch dort noch sehr niedrig. Die Ammonifizierung der auf den Gewässergrund absedimentierten organischen Substanz scheint behindert zu sein. Die Nitritgehalte im Kleinen und Großen Arbersee sind äußerst gering.

An gelöstem, reaktiven Phosphat (siehe dazu STEINBERG & MELZER 1982) sind in beiden Seen nur geringe Mengen vorhanden. Lediglich im Kleinen Arbersee wurde in 2 m Tiefe ein Maximum von 32 μg ortho-Phosphat-P/l gefunden, in den übrigen Tiefen lagen die Konzentrationen unter 5 μg /l. Die Gesamt-P-Gehalte der beiden Seen sind relativ hoch. Im Kleinen Arbersee konnte in der Tiefe, in der die höchsten Gehalte gelösten Phosphates vorlagen, mit 162 μg /l auch die höchsten Gesamt-P-Konzentrationen ermittelt werden. In den übrigen Tiefen betrug die Gesamt-P-Konzentration etwa 50 bis 70 μg P/l. Im Großen Arbersee wurde ein Gehalt von durchschnittlich 65–70 μg P/l ermittelt. (Für die oberen 4 m liegen keine Analysenergebnisse vor.)

Obwohl die beiden Seen in einem silikatischen Urgesteinsgebiet liegen, sind die Silikatkonzentrationen des Wassers mit Werten um 1 mg Si/l nicht überdurchschnittlich hoch. Das deutet auf die langsame Verwitterung des Urgesteins hin. Die Schwankungen im Profilverlauf (beachte Einteilung des Maßstabs) sind nicht sehr groß. Ob die beobachtete Silikatabnahme über dem Grund des Kleinen Arbersees und der gegensätzliche Verlauf im Großen Arbersee regelmäßig auftreten und welche möglichen Ursachen sie haben, kann mit dieser stichprobenartigen Untersuchung nicht beantwortet werden.

Die niedrige Wasserhärte und Leitfähigkeit sowie der geringe Gehalt an Calcium-, Kalium- und Natrium-Ionen sind typische Kennzeichen von Oberflächengewässern in Urgesteinsgebieten. Auffällig ist in beiden Seen ein erhöhter Calciumgehalt in jeweils 4 m Tiefe, ohne daß die vorliegenden Untersuchungen eine Erklärung dafür geben.

Die geringe Pufferung der Seen hat in Verbindung mit den sauren Niederschlägen mit Sicherheit ein Absinken der pH-Werte der beiden Seen bewirkt. Unseres Wissens liegen keine langzeitlich durchgeführten Untersuchungen vor, aus denen zu ersehen wäre, wann der Versauerungsprozeß der Seen seinen Anfang genommen hat. Es ist jedoch zu vermuten, daß ein zeitlicher Gleichlauf mit der entsprechenden Entwicklung in südschandinavischen Gewässern vorliegt, da die Quellen der Versauerung die gleichen sind. Man darf also davon ausgehen, daß vor etwa 20–25 Jahren das allmähliche Versauern der beiden Arberseen begann. Die von uns während der Sommerstagnation gemessenen pH-Werte liegen für den Kleinen Arbersee zwischen 4,4 und 4,8, für den Großen Arbersee zwischen 4,6 und 5,1. Damit liegen sie in einem pH-Bereich, der auch an den kritisch versauerten Seen Skandinaviens kaum unterschritten wird (vgl. z. B. NILSSEN 1980).

4. Makrophytenvegetation

4.1 Durchführung der Kartierung

Im August 1981 wurde die Makrophytenvegetation der beiden Arberseen durch Tauchkartierung erfaßt. Nur durch autonomes Tauchen ist es in stehenden Gewässern möglich, das Verbreitungsbild der untergetauchten Vegetation genau zu ermitteln. Das betrifft zum einen das Auffinden seltener Arten, als auch das sichere Abschätzen der Pflanzenhäufigkeiten. Das Vorkommen der Arten wurde nach einer von TÜXEN und PREISING (1942) vorgeschlagenen Schätzmethode bewertet. Dabei wird eine Mengenschätzung vorgenommen, die eine Kombination aus Ermittlung der Häufigkeit und des Deckungsgrades der jeweiligen Art darstellt. Die Methode wurde bei Vegetationsuntersuchungen sowohl in fließenden (vgl. z. B. KOHLER et al. 1971, 1973) als auch in stehenden Gewässern (vgl. z. B. MELZER 1976, MELZER und HERRMANN 1980) angewandt. Die Mengenschätzung wird nach einer fünfstufigen Skala vorgenommen. Dabei haben die einzelnen Zahlen folgende Bedeutung: 1 = sehr selten, 2 = selten, 3 = verbreitet, 4 = häufig, 5 = massenhaft. In den Verbreitungskarten werden diese fünf Schätzstufen durch verschiedene graphische Symbole wiedergegeben. Bei der Kartierung wurden keine

Stichprobenerhebungen oder Teilflächenuntersuchungen vorgenommen, sondern der gesamte Uferbereich vom Gewässerrand bis zur untersten Vegetationszone, die etwa bei 6–7 m Tiefe lag, erfaßt. Um ein möglichst differenziertes Bild von der Pflanzenverbreitung zu erhalten, wurde die Uferlinie in Abschnitte unterteilt. Die Abschnittsgrenzen sind in den Verbreitungskarten durch Pfeile wiedergegeben.

Bei der Kartierung wurden amphibische Röhrichtpflanzen, Schwimmblattpflanzen und untergetauchte Arten erfaßt. Eine Röhrichtzone mit Schilf und Binsen fehlt an den Arberseen. Die Ufervegetation setzt sich hauptsächlich aus *Carex*-Arten zusammen, die aber nicht genauer bestimmt wurden.

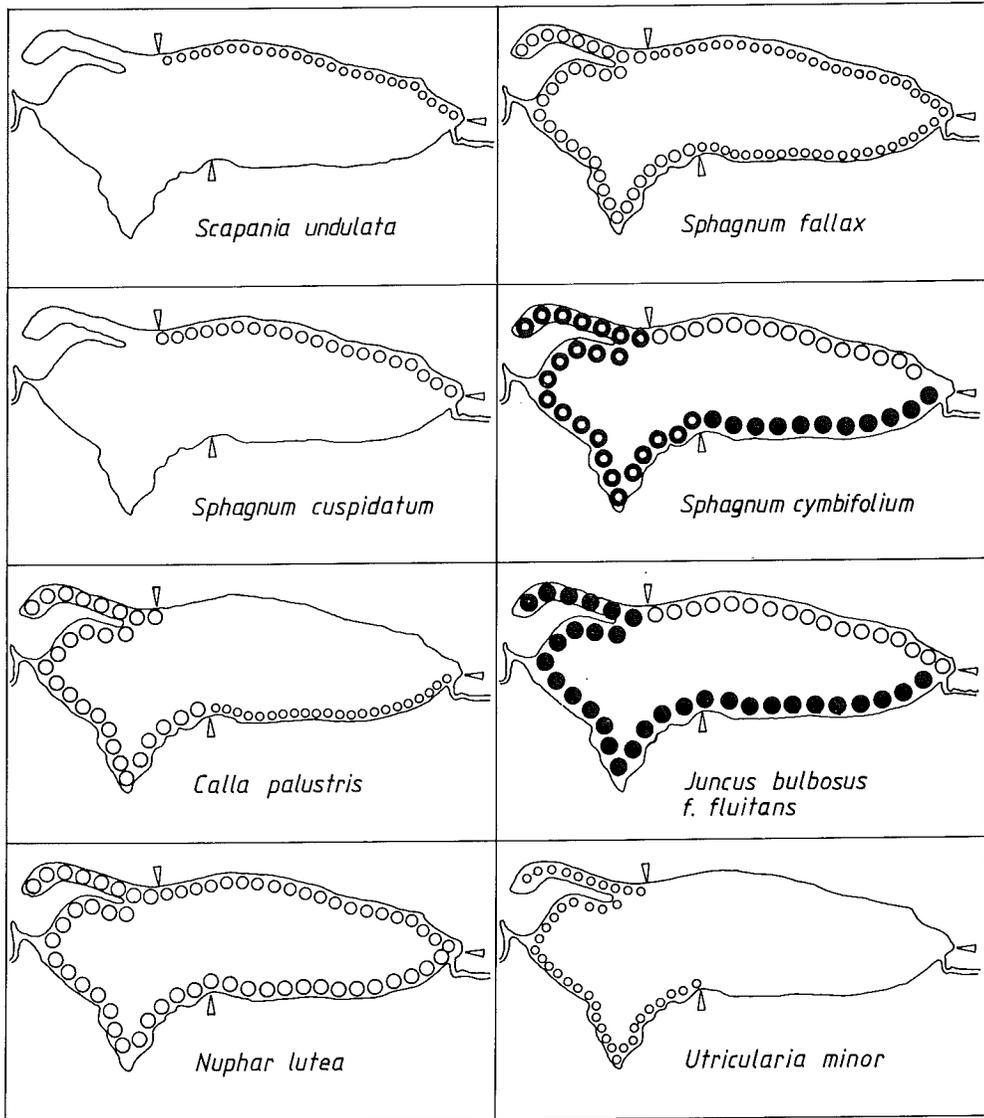
4.2 Artenliste

Bryophyta	Großer Arbersee	Kleiner Arbersee
<i>Marsupella sphacelata</i> Dum.		×
<i>Scapania undulata</i> Dum.	×	
<i>Sphagnum cuspidatum</i> Erh. em. Warnst.	×	
<i>Sphagnum cymbifolium</i> Lindb.	×	×
<i>Sphagnum fallax</i> Klinggr.	×	
Spermatophyta	Großer Arbersee	Kleiner Arbersee
<i>Calla palustris</i> L.	×	×
<i>Glyceria declinata</i> Bréb.		×
<i>Juncus bulbosus</i> f. <i>fluitans</i> L.	×	×
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.		×
<i>Nuphar lutea</i> Sibth. & Sm.	×	×
<i>Potentilla palustris</i> L.		×
<i>Scirpus lacustris</i> f. <i>fluitans</i> L.		×
<i>Utricularia minor</i> L.	×	

4.3 Angaben zur Verbreitung der Arten

Die Verbreitungskarten geben einen Überblick über die Verteilung der in den beiden Seen vorkommenden Arten. Von den 13 kartierten Arten kommen zwar nur fünf in beiden Seen gemeinsam vor, da diesen jedoch die beiden dominierenden Arten, nämlich *Juncus bulbosus* in seiner Flutform und *Sphagnum cymbifolium*, angehören, ähnelt sich der Aspekt der beiden Seen sehr stark. Im Kleinen Arbersee erreichen diese beiden zuletzt erwähnten Arten noch größere Häufigkeiten als im Großen Arbersee. *Juncus bulbosus* f. *fluitans* bildet im Tiefenbereich bis etwa 2 m sehr dichte, oft undurchdringliche Bestände aus. Einzelne Pflanzen können beträchtliche Längen von über 2 m erreichen. Auf den ersten Blick erinnern die Bestände an solche von *Potamogeton pectinatus*. Wo *Juncus bulbosus* Lücken läßt, dominiert *Sphagnum cymbifolium*. Die Art bildet die untere Grenze der Vegetation und reicht vereinzelt bis 6 und 7 m Tiefe hinab. Von den übrigen Arten wurde lediglich noch *Menyanthes trifoliata* mit der Häufigkeitsstufe 4 (= häufig) geschätzt. Die Art gedeiht nur im Flachwasserbereich des Kleinen Arbersees. *Calla palustris*, die wie der Fieberklee den Übergang zur Röhricht- und Landvegetation darstellt, sowie *Nuphar lutea* kommen noch in beiden Seen gemeinsam vor und erreichen z. T. die Häufigkeitsstufe 3 (= verbreitet). Alle übrigen Arten waren nur selten oder sehr selten (Häufigkeitsstufen 2 und 1) vorhanden. Bei einigen, wie z. B. *Utricularia minor* und *Scapania undulata* im Großen Arbersee, beschränkte sich das Vorkommen auf einzelne Exemplare, die mit Sicherheit überhaupt nur durch die Methode der Tauchkartierung gefunden werden konnten. Bei allen submersen Pflanzen fiel auf, daß sie stark mit fädigen Grünalgen bewachsen waren.

MAKROPHYTENVEGETATION DES GROSSEN ARBERSEES



Mengen-
schätzung:

- sehr selten
- selten
- verbreitet
- häufig
- sehr häufig, massenhaft

▷ Grenze eines Kartierungsabschnittes

0 300m

N

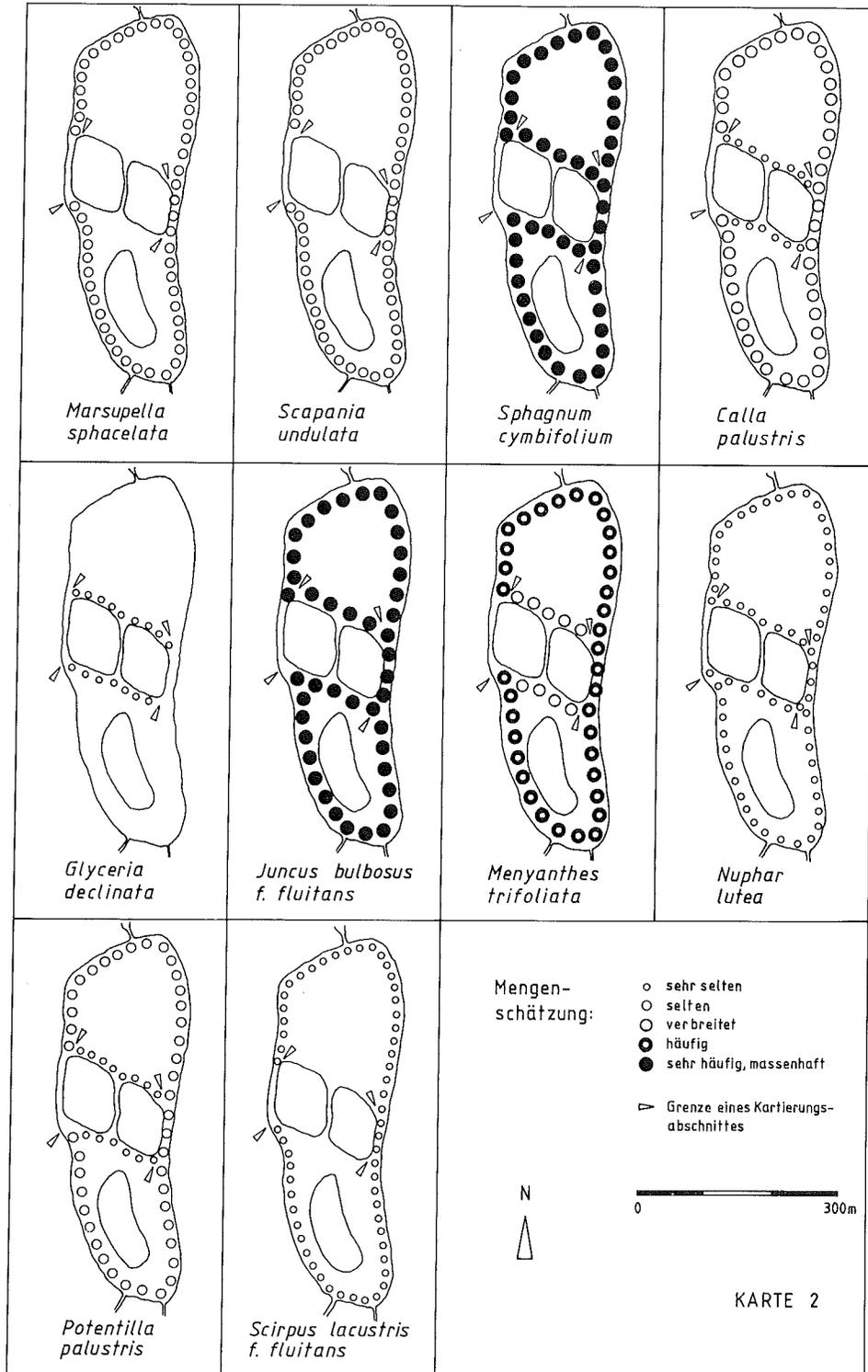


KARTE 1

4.4 Vergleich mit älteren Florenangaben

Es bestehen leider keine vergleichbaren Untersuchungen über die Verbreitung makrophytischer Wasserpflanzen, wie sie die hier vorliegende darstellt. Es finden sich jedoch einige ältere Angaben, aus denen sich insgesamt erkennen läßt, daß die Makrophytenvegetation der beiden Arberseen einem starken Wechsel in der Artenzusammensetzung unterlegen ist.

MAKROPHYTENVEGETATION DES KLEINEN ARBERSEES



Für den Großen Arbersee gibt WAGNER (1897) folgende Pflanzenvorkommen an: *Menyanthes trifoliata*, *Myriophyllum*-Arten und *Scirpus lacustris*. In seiner „Flora von Bayern“ nennt VOLLMANN (1914) für den Großen Arbersee *Myriophyllum alterniflorum* und *Nuphar lutea*, sowie *Sparganium minimum*, ohne dabei anzugeben, ob es sich um den Großen oder Kleinen Arbersee handelt. Besonders bemerkenswert ist, daß vor über 100 Jahren anscheinend *Chara strigosa* vorkam (Herbar Sendtner 1854, det. SUESSENGUTH 1947). Diese Armleuchteralgenart ist sonst nur aus Gebirgsseen der Alpen und dem Atlasgebirge bekannt geworden. W. KRAUSE (Aulendorf) hat die Probe zusammen mit einem der Verfasser (A. M.) geprüft. Die Determinierung ist richtig, nur muß wegen der Kalkinkrustation der Probe an der Richtigkeit der Fundortangabe gezwweifelt werden. Im Jahr 1937 veröffentlichte BERGDOLT einige Angaben über Wasserpflanzenvorkommen. Er fand noch zusätzlich *Potamogeton natans*, *Callitriche verna*, *Equisetum limosum*, *Drepanocladus spec.* und an Uferpflanzen *Potentilla palustris* und *Orchis maculata*.

Die Angaben über Wasserpflanzenvorkommen im Kleinen Arbersee sind nach unseren Erkenntnissen viel spärlicher. VOLLMANN (1914) gibt auch den Kleinen Arbersee als Fundort für *Myriophyllum alterniflorum* an. Darüberhinaus kam *Sparganium affine* vor.

Die einzige Übereinstimmung, die mit diesen Angaben heute noch besteht, liegt im Vorkommen von *Nuphar lutea* im Großen Arbersee. Wie aus dem Vergleich zu ersehen ist, hat damit eine fast vollständige Florenverschiebung stattgefunden. Deren Ursache ist nicht auf eine natürliche Sukzession zurückzuführen, vielmehr wurde sie ohne Zweifel durch die starke Versauerung der Seen ausgelöst.

Diskussion

Eine durch Sauren Regen verursachte zunehmende Azidität von Gewässern ist nur in Gebieten zu erwarten, in denen nahezu kalkfreies Gestein den Untergrund bildet, da dort das Puffersystem des Bikarbonates bald erschöpft ist. Es kann der Punkt erreicht werden, an dem kein Bikarbonat mehr nachweisbar ist. Das tritt ein, wenn der pH-Wert der Gewässer auf etwa 4,5 abgesunken ist. Dann liegen an anorganischen Kohlenstoff-Formen nur noch CO_2 und undissoziierte Kohlensäure im Wasser vor. Für makrophytische Wasserpflanzen ist dieser „Umschlagpunkt“ von großer physiologischer Bedeutung. Man weiß nämlich, daß Wasserpflanzen das für die Photosynthese notwendige CO_2 in verschiedener Form aufnehmen können. *Fontinalis antipyretica* und wahrscheinlich auch alle anderen Wassermoose, sowie die limnische Rotalge *Batrachospermum moniliforme*, können nur CO_2 assimilieren, andere Wasserpflanzen, darunter wahrscheinlich die meisten Spermatophyten, sind in der Lage, CO_2 und HCO_3^- in wechselndem Verhältnis aufzunehmen und eine dritte Gruppe schließlich, zu der Arten der kokkalen Grünalgenattung *Scenedesmus* gehören, verwerten fast ausschließlich HCO_3^- (vgl. RUTTNER 1947, 1948, ÖSTERLIND 1949; zit. in ZIEGLER 1979). Neben möglichen direkten Wirkungen der infolge einer Gewässerversauerung steigenden H^+ -Ionen-Konzentrationen auf das Vorkommen von Wasserpflanzen muß die erwähnte Verschiebung in der Zusammensetzung des Wassers mit anorganischen Kohlenstoffspezies als Hauptgrund für Umstellungen im Makrophytenbestand angesehen werden. Wenn submerse Wasserpflanzen in Gewässern gedeihen, deren pH-Wert unter 5 liegt, so kann man davon ausgehen, daß diese Pflanzen dem CO_2 -Aufnahmetypus angehören. Neben *Sphagnum*-Arten scheint auch *Juncus bulbosus* f. *fluitans* dazu zu gehören, daneben noch *Nuphar lutea*, die zumindest im Kleinen Arbersee nur submers wächst und keine Schwimmblätter oder Blütenstände bildet. Diese Arten gedeihen auch alle in den versauerten Seen Südkandinaviens sehr häufig. Da dort unvergleichlich mehr Seen vorkommen, die zudem ein relativ breites pH-Spektrum überstreichen, ist es durch vergleichende Untersuchungen möglich, die für das Vorkommen einzelner Pflanzen kritische untere pH-Grenze zu ermitteln. Das hat HALVORSEN (1977) getan. Danach ist es typisch, daß viele Röhrichtpflanzen eine hohe Säuretoleranz aufweisen und noch in den Seen mit den tiefsten pH-Werten von 4,5 und darunter vorkommen (z. B. *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *Scirpus palustris*, *Equisetum fluitans*, *Phragmites communis*). Andere Röhrichtarten, wie *Alisma plantago-aquatica*, *Iris*

pseudacorus und *Scirpus lacustris* haben bei pH 5,5 ihre untere Grenze, *Typha latifolia* bei pH 6,0 und *Typha angustifolia* sogar bei pH 6,5. Bei diesen emersen Röhrichtpflanzen wird das vorher erwähnte Regulans bezüglich der Aufnahme von CO₂ bzw. HCO₃ nicht wirksam, da diese Pflanzen über ihre Stomata gasförmiges CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen. Nach diesen Befunden ist zu erwarten, daß das nur noch sehr seltene Vorkommen von *Scirpus lacustris* f. *fluitans* im Kleinen Arbersee demnächst erlischt.

Unter den Schwimmblattpflanzen hat nach HALVORSEN (1977) *Nuphar lutea* eine hohe Toleranz gegenüber einem tiefen pH des Wassers. *Nymphaea alba*, die ihr Optimum über pH-Werten von 7 hat, stirbt unter pH 5,5 aus, ebenso wie *Potamogeton natans*, während *Nymphaea candida* auch noch in den am stärksten versauerten Seen vorkam. Damit erklärt sich, daß an den beiden Arberseen nur noch die Gelbe Teichrose gedeiht, das ehemals vorkommende Schwimmende Laichkraut aber nicht mehr. *Myriophyllum alterniflorum* besitzt in Südnorwegen seinen eindeutigen Schwerpunkt in Seen mit einem pH zwischen 6,0 und 6,5. Ganz vereinzelt wurde diese Tausendblattart auch in Seen mit einem pH von 4,7 gefunden. Das Verschwinden der Art in den Arberseen kann durch ihre Empfindlichkeit gegenüber sehr tiefen pH-Werten erklärt werden. Viele Arten, die in skandinavischen Seen mit niedrigen Kalkgehalten und natürlicherweise leicht saurer Gewässerreaktion die charakteristischen Pflanzengesellschaften bilden, z. B. *Lobelia dortmanna* und *Isoëtes*-Arten tolerieren auch die tiefsten pH-Bereiche, wenn ihre Wüchsigkeit auch stark eingeschränkt ist. Die Arten fehlen seit jeher in den Arberseen. *Isoëtes lacustris* war nur aus Gewässern des Böhmerwaldes bekannt (VOLLMANN 1914). Dort könnte die Art auch heute noch vorkommen.

Als typische neue Florenelemente haben sich *Juncus bulbosus* f. *fluitans* und *Sphagnum*-Arten in den Arberseen eingestellt. Letztere sind nach HALVORSEN (1977) die einzige Pflanzengruppe, die erst bei tiefen pH-Wert in Seen einwandert. Ihre obere pH-Grenze liegt bei etwa 5,6, ihr massenhaftes Auftreten in Stillgewässern indiziert die Versauerung somit am eindeutigsten.

6. Zusammenfassung

Im Sommer 1981 wurde die Makrophytenvegetation der beiden im Bayerischen Wald gelegenen Arberseen durch Tauchkartierung erfaßt. Die submerse Vegetation wird fast ausschließlich durch *Juncus bulbosus* f. *fluitans* und *Sphagnum cymbifolium* dominiert. Darüberhinaus kommen an beiden Seen noch *Calla palustris*, *Nuphar lutea* und *Scapania undulata* gemeinsam vor. Ausschließlich im Großen Arbersee konnten *Sphagnum cuspidatum*, *Sph. fallax* und *Utricularia minor* gefunden werden; das Vorkommen von *Glyceria declinata*, *Marsipella sphaclata*, *Menyanthes trifoliata*, *Potentilla palustris* und *Scirpus lacustris* f. *fluitans* beschränkte sich auf den Kleinen Arbersee.

Die Vegetationskartierung wurde durch eine Profiluntersuchung chemisch-physikalischer Parameter ergänzt. Beide Seen weisen relativ hohe Gesamt-P-Gehalte auf. Die übrigen chemischen Daten belegen den Weichwassercharakter der Seen, die tiefen pH-Werte deren starke Versauerung. Diese schwankten im Kleinen Arbersee zwischen pH 4,4 und 4,8, im Großen Arbersee zwischen 4,6 und 5,1. Zurückzuführen ist die starke Azidität auf die Sauren Niederschläge. Durch den Vergleich mit älteren Florenangaben kann eine fast vollständige Vegetationsverschiebung belegt werden. Diese wird unter Berücksichtigung von Literaturangaben über versauerte Seen in Skandinavien diskutiert.

Danksagung

Besonders herzlich sei Raimund Harlacher, Stephan Heim, Ursula Heim, Karin Neugebauer und Reinhold Sirch für ihre Beteiligung bei der Tauchkartierung gedankt. Herrn Prof. Dr. Buchloh (Hohenheim) sei für seine erste Hilfe bei der Bestimmung der Moose und Herrn A. Seidl (Thürnstein) für die Auskünfte über die Arberseen gedankt. Die Untersuchung wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziert.

7. Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1983: Seenkataster mit Seeregionen. München, im Druck. – BERGDOLDT, E. 1937: Floristische und ökologische Beiträge zur Kenntnis des Arberseegebietes im Bayerischen Wald. – Ber. Bayer. Bot. Ges. 22: 27–41. – DAM, H. VAN, G. SUURMOND und J. F. TER BRAAK 1981: Impact of acidification on diatoms and chemistry of Dutch moorland pools. *Hydrobiologia* 83, 425–459. – GJESSING, E. T., A. HENRIKSEN, M. JOHANNESSEN und R. F. WRIGHT 1976: Effects of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF-project FR 6/76, Oslo-Ås, 65–85. – HALVORSEN, K. 1977: Makrofyttvegetasjonen i endel van på agder. SNSF-projektet IN 36/77, Oslo-Ås, 1–154. – JENSEN, K. W. und E. SNEKVIK 1972: Low pH levels wipe out salmon and trout populations in southernmost Norway. *Ambio* 1, 223–225. – KAYSER, K., U. JESSEL, A. KÖHLER und G. RÖNICKE 1974: Die pH-Werte des Niederschlages in der Bundesrepublik Deutschland 1967–1972. DFG, Komm. Erforsch. Luftverunreinigung, Mitt. IX. – KOHLER, A., H. VOLLRATH und E. BEISL 1971: Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Ökologie der Gefäßmakrophyten im Fließwassersystem Moosach (Münchener Ebene). *Arch. Hydrobiol.* 69, 333–365. – KOHLER, A., R. WONNEBERGER und G. ZELTNER 1973: Die Bedeutung chemischer und pflanzlicher Verschmutzungsindikatoren im Fließwassersystem Moosach (Münchener Ebene). *Arch. Hydrobiol.* 72, 533–549. – LEIVESTAD, H. und I. P. MUNIZ 1976: Fish kill at low pH in a Norwegian river. *Nature (London)* 259, 391–392. – MELZER, A. 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen. *Diss. Bot.* 34, Vaduz. – MELZER, A. und M. HERRMANN 1980: Die quantitative Verbreitung der Makrophytenvegetation des Starnberger Sees. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 51, 31–56. – NILSSEN, J. P. 1980: Acidification of a small watershed in southern Norway and some characteristics of acidic aquatic environments. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 65, 177–207. – ÖSTERLIND, S. 1949: Growth of the alga *Scenedesmus quadricauda* with special reference to the inorganic carbon sources. *Symb. bot. Upsal.* 10, 1–14. – PRIEHÄUSSER, G. 1961: Heimatbuch der Waldstadt Zwiesel. Hrsg. Stadt Zwiesel. – RATHSBURG, A. 1928: Die Gletscher des Böhmerwaldes zur Eiszeit. *Ber. d. Naturwiss. Ges. Chemnitz* 22. – RUTTNER, F. 1947: Zur Frage der Karbonat-Assimilation bei Wasserpflanzen. Eine vergleichende Untersuchung. I. Teil: Die beiden Haupttypen der Kohlenstoffaufnahme. *Österr. Bot. Zeitschr.* 94, 265–294. – RUTTNER, F. 1948: Zur Frage der Karbonat-Assimilation bei Wasserpflanzen. Eine vergleichende Untersuchung. II. Teil: Das Verhalten von *Elodea canadensis* und *Fontinalis antipyretica* in Lösungen von Natrium- bzw. Kaliumbikarbonat. *Österr. Bot. Zeitschr.* 95, 208–238. – SCHEIDER, W. A., W. R. SNYDER und B. CLARK 1979: Deposition of nutrients and major ions by precipitation in south-central Ontario. *Water, Air, and Soil Pollution* 12, 171–185. – STEINBERG, CH. und A. MELZER 1982: Stoffkreisläufe in Binnengewässern. *Schr.-Reihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtsch.* 2, 1–134, München. – SUESSENGUTH, K. 1947: Notiz über das Vorkommen von zwei Characeen in Bayern. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 27, 188–189. – SYKORA, K. V. 1979: The effects of the severe drought of 1976 on the vegetation of some moorland pools in the Netherlands. *Biol. Conserv.* 16, 145–162. – TÜXEN, R. und E. PREISING 1942: Grundbegriffe und Methoden zum Studium der Wasser- und Sumpfpflanzengesellschaften. *Dtsch. Wasserwirtsch.* 37, 10–17 und 57–69. – ULRICH, B. 1982: Gefahren für das Waldökosystem durch Saure Niederschläge. *Landesanst. f. Ökologie Nordrhein-Westf., Sonderheft* 1982, 9–25. – VOLLMANN, F. 1914: Flora von Bayern. E. Ulmer Verlag, Stuttgart. – WAGNER, P. 1897: Die Seen des Böhmerwaldes. *Inaug.-Diss. Univ. Leipzig.* – ZIEGLER, H. 1979: Diskriminierung von Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopen: Zusammenhänge mit dem Photosynthesemechanismus und den Standortbedingungen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 92, 162–184.

Dr. Arnulf MELZER und Eva ROTHMEYER
Botanisches Institut der Technischen Universität München
Arcisstr. 21, D-8000 München 2