

# Möglichkeiten zur Beurteilung des Säuregrades und der Versauerungsgefährdung von Fließgewässern mit Hilfe submerser Makrophyten

Alexander Kohler & Horst Tremp\*

## Synopsis

Five floristic-ecological groups could be distinguished for acidification assessment of running waters in South-West Germany. This data are based on macrophyte mapping combined with chemical water analysis. The floristic-ecological zones are:

Zone 1 = permanent alkaline (pH > 7)

Zone 2 = circumneutral to alkaline (pH  $\pm$  7 to > 7)

Zone 3 = circumneutral (pH  $\pm$  7)

Zone 4 = circumneutral to slightly acidified – only short term strong acidified (pH > 5)

Zone 5 = permanent slightly to strong acidified (pH 6 to < 5)

In mountain streams with highly dynamic discharge pattern submersed bryophytes can be used as indicator species while streams with more balanced hydrological regimes are better characterised by vascular macrophytes and charophytes.

Problems of an introduction of a macrophyte based „acidification index“ are discussed as well as the calculation of mean indicator values.

For practical use the authors recommend the proposed method to evaluate the acidity of running waters biologically.

*Macrophytes, acidification, bioindicator*

## 1 Einleitung

Auf Zusammenhänge zwischen der Verbreitung von Wasserpflanzen und der Wasser-Reaktion (pH-Werte) sind Wissenschaftler schon vor längerer Zeit aufmerksam geworden. So hat IVERSEN bereits im Jahre 1929 zu diesem Thema für dänische Gewässer eine sehr gründliche Studie veröffentlicht: Nach dem Grad und der Dynamik der Reaktion des Wassers wurden fünf Gewässertypen ausgewiesen, denen Wasserpflanzenarten zugeordnet wurden (IVERSEN 1929; IVERSEN & OLSEN 1943; LOHAMMAR 1940). Arbeiten, die sich mit Auswirkungen der Versauerung auf Makrophyten in stehenden Gewässern befassen, liegen von PIETSCH 1973; GRAHN 1977; GRAHN et al. 1974; WIEGLEB 1980; MELZER & ROTHMEYER 1983 u. a. vor.

Die skandinavischen Arbeiten können vom Ansatz her eine Grundlage bilden für ein umfassendes Bewertungs- und Indikationssystem der Versauerung von Gewässern mit Hilfe submerser Makrophyten. Allerdings können die Ergebnisse aus Dänemark und Schweden nicht vorbehaltlos auf mitteleuropäische Gewässer übertragen werden. Vielmehr sind derartige Bewertungsverfahren immer in einem naturräumlich-regionalen Zusammenhang zu entwickeln, unter anderem auch deswegen, weil Pflanzenarten innerhalb ihres Gesamtareals einen Biotopwechsel durchmachen und somit in verschiedenen Regionen einen unterschiedlichen Zeigerwert besitzen können (Gesetz der relativen Standortkonstanz nach WALTER & WALTER 1953). Ferner sind die Verhältnisse in stehenden Gewässern nicht ohne weiteres auf Fließgewässer übertragbar.

Die vorliegende Arbeit basiert auf den Erfahrungen, die im Rahmen von Kartierungen und synökologischen Untersuchungen der Makrophytenflora und -vegetation seit etwa 1970 von unserer Arbeitsgruppe in ganz unterschiedlichen Fließgewässern und Naturräumen Süddeutschlands durchgeführt wurden (z. B. KAHNT et al. 1989; KOHLER et al. 1973, 1992, 1994; KUTSCHER 1984; LOTTAUSCH 1984; MONSCHAU-DUDENHAUSEN 1982; RISSE 1986; ROWECK et al. 1985/1986; SCHÜTZ 1992; TREMP & KOHLER 1993, 1994).

Während bisher der Zeigerwert von Makrophyten in erster Linie auf die Nährstoffracht bzw. Trophie von Fließgewässern bezogen wurde (dies betrifft die meisten der oben zitierten Arbeiten), wurde in Süddeutschland erst in neuerer Zeit das Problem der Versauerungsgefährdung von Gewässern und ihrer bioindikativen Bezüge systematisch bearbeitet (TREMP & KOHLER 1993). Besonders versauerungsgefährdet sind Quellläufe von pufferschwachen Fließgewässern in silikatischen Mittelgebirgen. Gefäßmakrophyten kommen in diesen Regionen praktisch nicht vor; vielmehr spielen Wassermoose für die Versauerungsindikation dieser „Kryptogamenregionen“ eine herausragende Rolle (LOTTAUSCH 1984; TREMP & KOHLER 1993). Werden derartige Gebirgsbäche durch häusliche Abwässer beeinflusst, so findet nicht nur eine Nährstoffzufuhr mit all ihren Folgen (Eutrophierung) statt, sondern gleichzeitig auch eine

\* Herrn Prof. Dr. Reinhard Bornkamm zum 65. Geburtstag gewidmet

Pufferung des Gewässers und somit eine deutliche Minderung der Versauerungsgefährdung.

Gefäßmakrophyten finden sich in großer Fülle in tieferen Fließgewässerbereichen. Hier überlagern sich in ihrer Wirkung auf die Vegetation oftmals anthropogene Trophieeinflüsse und natürliche Pufferungseigenschaften der Gewässer. Für die Beurteilung der Versauerungsgefährdung bzw. Pufferungseigenschaften der Fließgewässer sind daher ganz andere Arten bzw. Artengruppierungen gegeben als bei der Indikation der Trophie in Gewässern. Oligo- und eutraphente Makrophyten können damit zur Bewertung der Pufferungseigenschaften eines Fließgewässers z.T. in einer Gruppe zusammengefaßt werden.

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, süddeutsche Fließgewässer nach ihren Pufferungseigenschaften bzw. nach ihrer Versauerungsgefährdung zu klassifizieren und anhand submerser Makrophyten zu kennzeichnen. An einzelnen Objekten soll gezeigt werden, inwieweit mit Hilfe von Makrophyten eine Kartierung und räumliche Abgrenzung einzelner Zonen der Versauerungsgefährdung bzw. Pufferungseigenschaften möglich ist. Ferner soll geprüft und diskutiert werden, ob und inwieweit die Einführung eines Versauerungsindex (in Anlehnung an den Makrophytenindex nach MELZER 1988) für Fließgewässer sinnvoll ist.

## 2 Klassifikation der Fließgewässer nach Säurezustand bzw. Pufferungseigenschaften

IVERSEN (1929) gibt eine Klassifikation von dänischen Gewässern (vor allem von Seen), nach der er drei Hauptgruppen (I, II, III) und insgesamt fünf Typen (1–5) unterscheidet:

### Gewässerklassifikation nach Säuregrad und dessen Dynamik nach IVERSEN (1929)

- I Dauernd saure Gewässer
1. dauernd stark sauer (ss) < pH 5,3
  2. wechselnd stark/schwach sauer (s) < pH 5,3
- II Wechselnd sauer bis alkalische Gewässer
3. überwiegend sauer (ns) pH ± 5,3
  4. überwiegend neutral bis alkalisch (n) > pH 5,3 bis pH 7
- III 5. Dauernd alkalische Gewässer (a) pH 7,5 bis pH 9

Diesen Gewässertypen lassen sich die einzelnen Wasserpflanzenarten zuordnen. Als beste Zeigerpflanzen erweisen sich Arten mit einer ausschließlichen Bindung an **einen** der genannten Gewässertypen. Eine klare Zuordnung von Arten und damit eine gute Abgrenzung der Gewässertypen ist bei den Extremen (1 und 5) möglich:

So können die Wassermoose *Calypogeia sphagnicola*, *Cladopodiella fluitans*, *Drepanocladus fluitans*,

*Sphagnum cuspidatum* bei IVERSEN (1929) eindeutig dem dauernd stark sauren Gewässertyp (ss) zugeordnet werden. Dem gegenüber stehen die Gefäßmakrophyten *Ranunculus circinatus*, *R. baudotii*, *Ceratophyllum demersum*, *Spirodela polyrhiza*, *P. pectinatus*, *P. praelongus* u.a. ebenso wie die Characeen *Chara aspera*, *Ch. contraria*, *Ch. foetida*, *Ch. hispida*, welche den alkalischen Gewässertyp (a) kennzeichnen. Die Extreme der Reaktionstypen der Gewässer sind also durch Zeigerpflanzen eindeutig zu charakterisieren, während für die Zwischenstufen eine floristisch-ökologische Kennzeichnung nicht mit derselben Präzision möglich ist, da die Bindungen der Makrophytenarten an eine dieser Stufen bei weitem nicht so eng ist wie bei den dauernd stark sauren und den alkalischen Gewässern.

Die Abgrenzung und Klassifizierung der Gewässer in „mittlere“ Versauerungs- bzw. Pufferbereiche durch Makrophyten ist auch in süddeutschen Fließgewässern mit Arten ausschließlicher Bindung an eine Zone kaum möglich. Doch lassen sich mit Hilfe von differenzierenden Artengruppen die mittleren, mehr oder weniger kritischen Bereiche abgrenzen und kartieren.

Mit der folgenden Aufstellung (Tabelle 1) soll der Versuch unternommen werden, süddeutsche Fließgewässer nach ihrer Versauerungsgefährdung bzw. nach ihrem Pufferungsverhalten zu klassifizieren und mit Hilfe von Makrophytenarten abzugrenzen. Aufgrund unserer Untersuchungsbefunde ergibt sich, vor allem im mittleren Bereich, eine von IVERSEN (1929) abweichende Einteilung. In den hochdynamischen Fließgewässern der Mittelgebirge spielen Wassermoose als charakteristische Arten dieser Gewässer eine Hauptrolle, während in den tiefer liegenden Bereichen Gefäßmakrophyten und Characeen als Zeigerpflanzen dominieren.

Ähnlich wie bei IVERSEN für dänische Gewässer ausgewiesen, lassen sich für süddeutsche Fließgewässer fünf Klassen des Säurezustandes bzw. des Pufferungsvermögens unterscheiden: Klasse 1 ist gekennzeichnet durch dauernd alkalische Verhältnisse. Solche liegen z.B. in hydrogencarbonatreichen Quellgewässern der Karstgebiete (z.B. Schwäbische Alb) vor und im Bereich kalkreicher Niedermoorfließgewässer (z.B. Münchener Ebene). Hier besteht aufgrund des hohen Calcium-Hydrogencarbonatgehaltes und bei pH-Werten > 7 keinerlei Versauerungsgefährdung. Das Gegenstück zur Klasse 1 bilden die permanent stark bis schwach sauren Bäche silikatischer Mittelgebirge der Klasse 5. Zwischen diesen Extremen liegen die Klassen 2, 3 und 4, welche etwas schwieriger zu definieren und abzugrenzen sind. Die Fließgewässer der Klasse 2 liegen im circumneutral bis schwachalkalischen Bereich. Klasse 3 umfaßt den eigentlich circumneutralen Bereich um pH 7. Zone 4 ist als Bereich ausgewiesen, dessen Wasserreaktion vom

Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	
alkalisch pH bis >>7	schwachalkal. pH > 7	circumneutral um pH 7	schwachsauer pH >5	meist sauer pH <5.3	
				Marsupella emarg. Jungermannia sph. Drepanocladus fluit. Scapania undulata	B r y o p h y t e n
			Hygrohyp. ochr. Fontinalis squam. Jungermann. obov. Rhynchosteg. rip.		
		Chiloscyph. poly. Brachythec. plum. Riccardia cham. Hygroamb. fluv. Octodicerias font.			
		Fissidens crassipes Brachythecium riv. Fontinalis antipyr.			
	Leptodictyum ripar. Thamnum alopec. Hygroamb. tenax				
Craton. commut. Craton. filicinum Cinclidotus font. Cinclidotus aqu. Eucladium vert. Pellia endiviifolia Riccardia pinguis				Juncus bulbosus	G e f ä ß m a k r o p h y t e n & C h a r a
			Potamogeton poly. Ranunculus pelt. Potamogeton alp. Myriophyll. alt.		
		Ranunculus penicill. Potamogeton crisp. Elodea canadensis Myriophyll. spic. Ranunculus fluitans			
	Potamogeton pect. Potamogeton nod. Callitriche obtus. Zannichellia palust. Ranunculus circ. Potamogeton luc.				
Chara hispida Chara vulgaris Groenlandia dens. Potamogeton col.					

Tab. 1  
Bioindikationsschlüssel für Säurezustand und Versauerungs-  
gefährdung von Fließgewässern. Den unterschiedlichen  
Habitatansprüchen von Moosen und Gefäßmakrophyten/  
Characeen wird durch die separate Darstellung Rechnung  
getragen.

Tab. 1  
Bioindicator key for acidification-status and -hazard in  
running waters. Bryophytes and vascular macrophytes are  
presented separately because of different habitat demands.

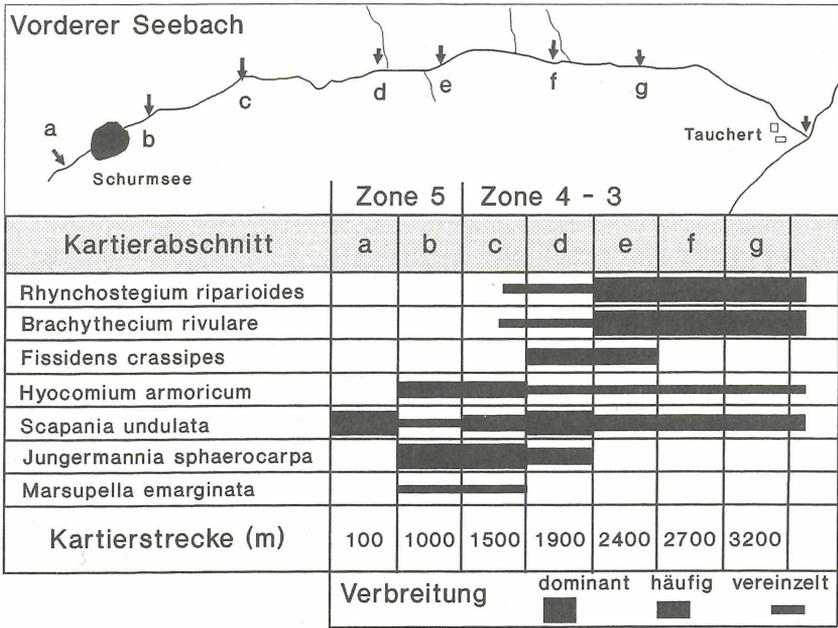


Abb. 1 Die submersive Moosvegetation des Vorderen Seebachs im Nordschwarzwald im Jahr 1991. Den einzelnen Kartierabschnitten (a, b, c...) sind die durchschnittlichen Hydroniumionenkonzentrationen aus Abb. 2 zuzuordnen. Nach der in Tab. 1 angegebenen Klassifikation entsprechen die Kartierabschnitte a und b der Zone 5 (saure Fließgewässerbereiche). Die deutlich erhöhten pH-Werte ab Kartierabschnitt c werden durch Arten wie *Brachythecium rivulare* und *Fissidens crassipes* ausgewiesen.

Fig. 1 The submerged bryophyte vegetation of the „Vorderer Seebach“ in the northern part of Black Forest in the year 1991. The hydronium-ion-concentration in fig. 2 is attached to the mapping sections (a, b, c...). These sections according to zone 5 (acid river sections) in the classification of tab. 1. Higher pH-values from section c are indicated by *Brachythecium rivulare* and *Fissidens crassipes*.

circumneutralen bis schwach sauren Bereich schwankt und episodisch durch Säureschübe in den stark sauren Bereich gelangt (pH ± 7 – pH > 5).

In Tab. 1 wird der Versuch unternommen, durch Artengruppen von Fließgewässermakrophyten die fünf Klassen des Säurezustandes bzw. der Pufferungseigenschaften zu kennzeichnen. Der obere Teil der Abbildung enthält ausschließlich Wassermoose, mit deren Hilfe die hochdynamischen bryophyten-dominierten Bereiche charakterisiert und differenziert werden können. Im unteren Teil der Abbildung werden Makrophyten-Arten ausgewiesen, die für die Kennzeichnung des Säurezustandes von Fließgewässerbereichen mit ausgeglicheneren Abflußverhältnissen geeignet sind. Wir haben hier eine Auswahl von Gefäßmakrophyten und Characeen getroffen, welche durch weitere Arten ergänzt werden kann.

Die gepufferten Bereiche der Klasse 1 der Kalkgebirge mit alkalischer Reaktion sind durch eine Bryophytengruppe gut zu kennzeichnen und abzugrenzen:

zen: *Cratoneuron commutatum*, *C. filicinum*, *Cinclidotus aquaticus*, *Eucladium verticillatum*, *Pellia endiviifolia* und *Riccardia pinguis*. Die Klasse 2 (vorwiegend schwach alkalisch) kann durch *Leptodictyum riparium*, *Thamnium alopecurum* und *Hygroamblystegium tenax*, vor allem vom eigentlich circumneutralen Bereich der Klasse 3 abgegrenzt werden. Der circumneutrale Bereich wird unter anderem durch *Chiloscyphus polyanthos* und *Fissidens crassipes* charakterisiert. Für die Klasse 4, der den eigentlich versauerungsgefährdeten Bereich umfaßt, sind typisch: *Hygrohypnum ochraceum*, *Fontinalis squamosa*, sowie *Rhynchostegium riparioides*. Letztgenannte Art besitzt eine weite ökologische Amplitude, die bis in den alkalischen Bereich hineinreicht. Die oft permanent versauerten quellnahen Bereiche der silikatischen Mittelgebirgsbäche lassen sich durch *Marsupella emarginata*, *Jungermannia sphaerocarpa* und *Drepanocladus fluitans* von Klasse 5 differenzieren. Wichtige Voraussetzung dabei ist das alleinige Auftreten der genannten Arten. Das Hinzutreten

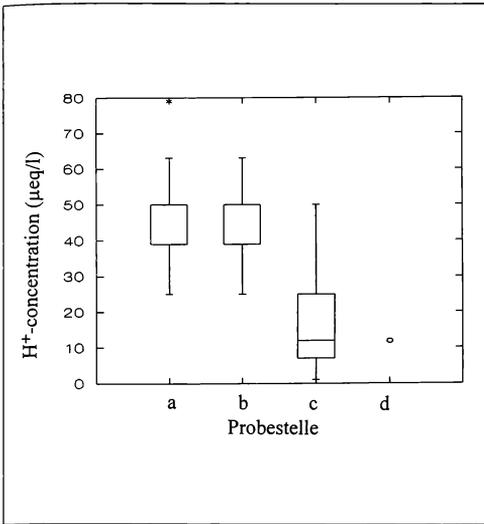


Abb. 2  
In dreiwöchigem Abstand gemessene pH-Werte an 4 Probestellen entlang des Vorderen Seebachs im Jahr 1990/91.

Die Zahl der Messungen je Probestelle beträgt  $n = 18$ . (Nordschwarzwald).

Fig. 2  
pH-values measured in 3-week intervals at four sampling points in the „Vorderer Seebach“ in the years 1990/1991. The number of measurement per sampling point is  $n = 18$ .

einer Art der Klassen 4–1 hebt die Bedeutung der säurezeigenden Arten auf (TREMP & KOHLER 1993).

In süddeutschen Fließgewässern mit geringerer Strömungsgeschwindigkeit lassen sich durch Gefäßmakrophyten und Characeen die alkalischen Bereiche der Klasse 1 am besten kennzeichnen und abgrenzen. Hier sind sowohl oligotraphente Elemente wie *Chara hispida*, *Potamogeton coloratus* aufzuführen wie auch eutraphente Elemente wie *Potamogeton lucens*.

Im Gegensatz zu hochdynamischen silikatischen Gebirgs- und Bergbächen weisen tiefergelegene Fließgewässer kaum versauerte Zonen der Klasse 1 auf, da diese mehr oder weniger durch Siedlungsabwässer beeinflusst und somit gepuffert werden. Eine Ausnahme bilden wohl extrem saure Bergbaugewässer, in denen die Flutform von *Juncus bulbosus* üppige, auffallend rote Schwaden bilden kann. Die Zwischenbereiche der Klassen 2, 3 und 4 können durch Gefäßmakrophyten weniger deutlich als der gut gepufferte alkalische Bereich der Klasse 1 gekennzeichnet und

abgegrenzt werden. Versauerungsgefährdete Bäche des Pfälzer Waldes und der Nordvogesen mit pH-Werten  $< 6$  sind häufig durch *Potamogeton polygonifolius* dominiert (RISSE 1986; ROWECK et al. 1985/1986). Diese Gewässer dürften zu den versauerungsgefährdeten Fließgewässerökosystemen der Klasse 4 zu zählen sein. Sie sind floristisch relativ schwach charakterisiert. Noch schwieriger ist die floristische Kennzeichnung der Zonen 2 und 3. Die hier vorgenommene Einteilung beruht auf unseren Erfahrungen in mehr oder weniger weichen Fließgewässern des Oberpfälzer Waldes und des Schwarzwaldes (KOHLER et al. 1992; MONSCHAU-DUDENHAUSEN 1982).

Ein Beispiel von Kartierungen von Wassermoosen und der Klassifizierung der Versauerungsgefährdung eines Fließgewässers wird in Abb. 1 gegeben.

Kurz nach der Quellregion mündet der Vorderer Seebach in den Schurmsee. Danach durchbricht er einen Karriegel und fließt über Gehängeschutt aus mittlerem Buntsandstein. Ab der dritten Probestelle – dies entspricht dem Beginn des Kartierabschnitts b in Abb. 1 – verläuft der Vorderer Seebach zwischen Schutthalden des Forbachgranits und kurz vor seiner Einmündung in die Schönmünz noch durch alluviale Aufschüttungen. Die Säurebelastung der Kartierabschnitte (Abb. 1) a, b, c und d bis g wird durch Abb. 2 verdeutlicht. So sind die Kartierabschnitte a und b permanent stark sauer, die pH-Werte steigen nur selten über 5. Das Säurebindungsvermögen liegt ganzjährig bei 0 mmol/l. Mit Eintritt des Baches in die geologische Formation des Forbachgranits steigen die pH-Werte sprunghaft an und sinken nur noch bei Hochwasser auf pH-Werte  $< 5$ . Ab Kartierabschnitt d befinden sich die pH-Werte im circumneutralen Bereich. Die geschilderten pH-Verhältnisse werden durch die Wassermoos-Gemeinschaften im Gelände einfach nachvollziehbar abgebildet. Zur säurezeigenden Artengruppe (*Marsupella emarginata*, *Jungermannia sphaerocarpa* und *Scapania undulata*) treten im weiteren Bachverlauf Arten der schwachsauren und neutralen Gewässerbereiche hinzu, dies ab dem wasserchemisch ausgewiesenen Übergangsbereich c (vgl. Abb. 2). Weitere Beispiele einzelner Fließgewässer finden sich in TREMP & KOHLER (1993). Anwendungsbeispiele für ganze Gewässersysteme sind den Sonderberichten 2 und 4 der LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (LFU 1991, 1992) sowie MAYER et al. (1994) zu entnehmen.

### 3 Diskussion

Die Untersuchungen von TREMP haben gezeigt, daß submerse Fließgewässermakrophyten unterschiedlich weite Amplituden bezüglich der Reaktion des Wasser besitzen (TREMP & KOHLER 1993). Sie zeigen charakteristische Artverbreitungsmuster, die sich zum Versauerungsgrad der Gewässer in Beziehung bringen lassen. Dies liegt in der physiologischen hochwirksamen Komponente „Hydroniumionenkonzentration“ begründet. Bei einigen der hier vorgestellten Arten wurde dieser Sachverhalt durch Laborexperimente belegt (MAESSEN et al. 1992; TREMP & KOHLER 1993, 1994; TREMP 1993). Die physiologische Wirkung hoher Hydroniumionenkonzentrationen manifestiert sich auf der ökologischen Ebene bei bestimmten kritischen Entwicklungs- und Ausbreitungsstadien der Arten. Dabei sind als wichtigste die ersten Etablierungsphasen (Keimung, Protonema- und Keimlingsentwicklung) zu nennen, weiter wird das Konkurrenzgefüge der Wasserpflanzen durch den pH-Wert des wässrigen Mediums (Freiwasser und Interstitialwasser) modifiziert (z. B. ROELOFS et al. 1984).

Insbesondere mit Hilfe von ökologischen Gruppen von Wassermoosen läßt sich der Säurezustand von Gebirgsbächen klassifizieren und bewerten (MAYER 1993; MAYER et al. 1994; TREMP & KOHLER 1993). Einige Arten, wie z. B. *Marsupella emarginata*, zeigen eine auffallend deutliche Bindung an vorwiegend permanent saure Fließgewässerbereiche der silikatischen Mittelgebirge mit pH-Werten deutlich zwischen 6 und 5. Auch an alkalische Quellbereiche der Kalkgebirge haben manche Bryophytenarten eine sehr enge Bindung wie *Cratoneuron commutatum* und *Riccardia pinguis*. Mit Hilfe von Wassermoosarten unterschiedlich weiter Amplituden bezüglich des pH-Wertes lassen sich weitere 3 Klassen bzw. Zonen zwischen den Extremen „häufig permanent sauer“ (Klasse 5) und „permanent alkalisch“ (Klasse 1) unterscheiden (Tab. 1). In den quellferneren Bereichen sind vor allem hydrogencarbonatreiche, gut gepufferte Gewässer floristisch durch *Chara*- und Gefäßmakrophyten-Arten zu kennzeichnen. Permanent versauerte Bereiche in silikatischen Mittelgebirgen sind selten, da hier oft durch Siedlungsabwasser eine Pufferung des Wassers erfolgt. Wo dies nicht oder nur im geringen Umfang der Fall ist, dürfte aber in den von *Potamogeton polygonifolius* dominierten Gewässern, wie in den Bächen des Pfälzer Waldes, eine Versauerungsgefährdung vorliegen; sie müßten der Klasse 4 zugeordnet werden. Die als Klasse 4 ausgewiesenen Fließgewässer-Bereiche sind als versauerungsgefährdet zu betrachten. Diese schwach gepufferten Systeme sind durch episodische Säureschübe bei Starkniederschlägen und Schneeschmelzen bereits kritisch säurebelastet. Permanente pH-Werte < 5

dürften in den entsprechenden Fließgewässern zu einem Verschwinden der Arten *Potamogeton polygonifolius*, *Myriophyllum alterniflorum* und *Ranunculus peltatus* führen (TREMP & KOHLER 1994).

Wir konnten in früheren Untersuchungen Beziehungen zwischen dem Nährstoffgehalt des Wassers (Phosphat und Ammonium) und den Verbreitungsmustern von Makrophyten in Fließgewässern ermitteln. Mit Hilfe von ökologischen Gruppen wurden floristisch-ökologische Fließgewässerzonen unterschieden, die einer Trophiereihe entsprachen (KOHLER 1978; KOHLER et al. 1994a, b). Die vorliegenden Untersuchungen zur Säuretoleranz von Makrophyten in Fließgewässern zeigen, daß auch hier ökologische Artengruppen ausgeschieden werden können, mit denen floristisch-ökologische Fließgewässerzonen (Klasse 1–5) gekennzeichnet, klassifiziert und kartiert werden können. Wir schlagen ein ähnliches Vorgehen zur Ermittlung von Zeigerartengruppen, zur Klassifizierung und Kartierung floristisch-ökologischer Flußzonen und deren Säurezustand vor, wie wir das in Fließgewässern zur Kennzeichnung der Trophie durchgeführt haben (KOHLER 1981, 1982; KOHLER et al. 1994a, b).

Die Tatsache, daß sich ökologische Artengruppen im Hinblick auf den Säurezustand von Fließgewässern ermitteln lassen, könnte den Gedanken nahelegen, mit Hilfe der Makrophyten einen Index für die Versauerungsgefährdung von Fließgewässern zu entwickeln und zu berechnen, etwa nach dem Vorbild des Saprobienindex nach PANTLE & BUCK (1955) oder des Makrophytenindex (MI) nach MELZER (1988). Der Saprobienindex wird berechnet anhand des Vorkommens und der Menge von Benthosorganismen und soll eine zahlenmäßige Aussage über die Belastung der Fließgewässer mit fäulnisfähigen Substanzen geben. Aufgrund von Beziehungen zwischen der Nährstofffracht des Wassers und den Verbreitungsmustern von Makrophyten zielt der Makrophytenindex (MI) nach MELZER auf die zahlenmäßige Bewertung der Trophie, vor allem im Uferbereich von stehenden Gewässern. Bei beiden Bewertungsverfahren wird eine z. T. farbige kartographische Darstellung mit mehreren Belastungsstufen gewählt. Auswertung und Berechnung der Indices erfolgt in beiden Fällen nach einer ähnlichen Formel.

Auch für Aufstellung eines Index für die Versauerungsgefährdung bzw. Pufferkapazität von Fließgewässern könnten nach den vorliegenden Befunden ebenfalls Makrophyten herangezogen werden. Sie wären nach der Kenntnis ihrer ökologischen Amplitude verschiedenen Klassen zuzuordnen, wobei analog zu MELZER nur Arten mit einer engen Bindung an bestimmte pH-Bereiche zu verwenden wären. Ebenso wie beim Makrophytenindex könnte für jeden Kartierabschnitt eine mittlere Indexzahl für die Versauerungsgefährdung bzw. das Pufferungsvermögen des

Wassers berechnet werden. Die ermittelten Zahlenwerte könnten zwischen 1 (= permanent alkalisch, gut gepuffert, keinerlei Versauerungsgefährdung) und 5 (= permanent ± stark versauert) liegen.

Die Bewertung der Reaktion von Standorten mit Hilfe von Pflanzen wird auch mit Hilfe der Reaktionszahlen (R) von ELLENBERG et al. (1992) vorgenommen. Für jeden Standort kann anhand der in der Liste aufgeführten Einzelzeigerwerte der vorkommenden Arten eine mittlere Reaktionszahl errechnet werden. Auch für die Moose, inklusive Wassermoose, sind derartige Wertzahlen angegeben (DÜLL 1992), die eine Berechnung der mittleren Reaktionszahlen für moosreiche Standorte auch in Gewässern eröffnen.

Auch wenn wir auf die Möglichkeiten einer mittleren pH-Indexberechnung mit Hilfe von Makrophyten ebenso wie auf die Berechnung von mittleren Reaktionszahlen hinweisen, so wollen wir doch selbst einen solchen Weg zur Beurteilung der Versauerung bzw. des Pufferungsvermögens von Fließgewässern nicht gehen. Ein Vorgehen nach dem oben gezeigten Schema, das eine Kartierung der Artverbreitungsmuster, die Ermittlung von ökologischen Reaktionsgruppen, die Ausweisung und Kartierung von floristisch-ökologischen Fließgewässerzonen umfaßt, erscheint uns für die Klassifizierung, Kartierung und Bewertung der Versauerungsgefährdung von Fließgewässern für die Praxis ausreichend und aus wissenschaftlicher Sicht hinreichend belegt zu sein.

Bei der Berechnung eines pH-Index sehen wir eine Reihe von Problemen:

- Die Mengenermittlung für die einzelnen Makrophyten-Arten im Gelände (welche keinen zu großen Meß- und Zeitaufwand erfordern darf) ist kaum so exakt vorzunehmen, daß man damit hinreichende quantitative Grundlagen für eine Berechnung erzielen kann.
- Weiter sind abschnittsweise Fluktuationen der submersen Vegetation in hochdynamischen Fließgewässern zwischen 1 und 100 % eher die Regel als die Ausnahme.
- Eine hinreichend genaue Zuordnung der Makrophytenarten (auch der ± stenöken Arten) zu einer bestimmten pH-Klasse ist kaum möglich. Nur bei den Extremen „permanent alkalisch“ und „permanent sauer“ kann eine relativ klare Zuordnung erfolgen.
- Der Verzicht auf den Ausdruck der Versauerungsgefährdung einzelner Fließgewässerabschnitte anhand einer einzigen Zahl soll auch vermeiden helfen, daß Praktiker zu unrichtigen quantitativen Schlüssen über die Säurebelastung verleitet werden.
- So können bei der Berechnung einer mittleren Reaktionszahl für einzelne Gewässerabschnitte gleiche Mittelwerte aus ganz unterschiedlichen Reaktions-Einzelwerten der Makrophyten zustande kommen. Auch die Verwendung des Medians birgt bei artenar-

men Wassermoose-Makrophyten-Gemeinschaften die Gefahr der Fehlinterpretation, beispielsweise wenn eine einzelne Art des circumneutralen Bereichs mehreren säurezeigenden Arten gegenübersteht. Nach unserer Auffassung muß sich dabei die Bioindikationsaussage nach der empfindlichsten Art richten.

#### 4 Zusammenfassung

Aufgrund von Kartierungen von Makrophytenarten und von wasserchemischen Messungen werden ökologische Zeigerartengruppen für den Säurezustand süddeutscher Fließgewässer ermittelt, mit deren Hilfe eine Klassifizierung, Kennzeichnung und Kartierung von 5 Gewässerzonen versucht wird (Tab. 1):

Zone 1 = permanent alkalisch (pH > 7)

Zone 2 = vorwiegend schwach alkalisch  
(pH ± 7 bis > 7)

Zone 3 = circumneutral (pH ± 7)

Zone 4 = vorwiegend schwach sauer, nur kurzfristig stark sauer (pH > 5)

Zone 5 = permanent schwach bis stark sauer  
(pH 6 bis < 5)

Die Fließgewässerzonen lassen sich durch Zeigerartengruppen von Makrophyten mehr oder weniger scharf abgrenzen. Am besten durch ökologische Artengruppen zu kennzeichnen sind die Extreme der Klassen 1 und 5. Für montane Bergbäche mit hoher Abflußdynamik bieten sich fast ausschließlich die Bryophyten als Zeigerarten an, während die Fließgewässer mit ausgeglichener Wasserführung durch Gefäßmakrophyten und *Chara*-Arten charakterisiert sind (Tab. 1).

Das (noch zu ergänzende und zu verbessernde) System floristisch-ökologischer Flußzonen erscheint uns zur Kennzeichnung des Säuregrades von Fließgewässern ein brauchbares Instrumentarium für die biologische Bewertung der Versauerungsgefährdung bzw. der Pufferungseigenschaften zu sein (vgl. Abb. 1 und 2).

Möglichkeiten und Probleme der Einführung eines Säure-Index (nach dem Vorbild des die Trophie kennzeichnenden Makrophyten-Index nach MELZER) werden diskutiert, ebenso wie die der Berechnung von mittleren Reaktionszahlen. Die Verfasser halten das vorgeschlagene Bewertungsverfahren zur Kennzeichnung und Kartierung des Säurezustandes von Fließgewässern auch für praktische Belange für ausreichend.

## Literatur

- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER & D. PAULISSEN, 1991: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 248 S.
- FRAHM, J.-P., 1992: Ein Beitrag zur Wassermoosvegetation der Vogesen. *Herzogia* 9: 141–148.
- GRAHN, O. et al., 1974: Oligotrophication – a self-accelerating process in Lakes Subjected to Excessive Supply of Acid Substances. *AMBIO*, Vol. 3: 93–94.
- GRAHN, O., 1977: Macrophyte succession in Swedish lakes caused by deposition of airborne acid substances. *Water, Air and Soil Pollut.* 7: 295–305.
- IVERSEN, J. & S. OLSEN, 1943: Die Verbreitung der Wasserpflanzen in Relation zur Chemie des Wassers. *Bot. Tidsskrift* 46: 136–145.
- IVERSEN, J., 1929: Studien über die pH-Verhältnisse dänischer Gewässer und ihren Einfluß auf die Hydrophyten-Vegetation. *Bot. Tidsskrift* 40: 277–331.
- KAHNT, U., W. KONOLD, G.-H. ZELTNER & A. KOHLER, 1989: Wasserpflanzen in Fließgewässern der Ostalb – Verbreitung und Ökologie. *Ökologie in Forschung und Anwendung*, Verlag Josef Margraf, Weikersheim, Bd. 2: 5–148.
- KOHLER, A., 1978: Methoden der Kartierung von Flora und Vegetation in Süßwasserbiotopen. *Landchaft und Stadt* 10: 73–85.
- KOHLER, A., 1981: Die Vegetation bayerischer Fließgewässer und einige Aspekte ihrer Veränderung. *ANL-Tagungsbericht* 5/81: 6–18.
- KOHLER, A., B. LANGE & G.-H. ZELTNER, 1992: Veränderung von Flora und Vegetation in den Fließgewässern Pfeimnd und Naab (Oberpfälzer Wald) 1972–1988. *Ber. Inst. Landeskultur Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, 1: 72–138.
- KOHLER, A., C. BLUMENTHAL & G.-H. ZELTNER, 1994: Die Makrophyten-Vegetation des Fließgewässersystems der Moosach (Münchener Ebene) – Ihre Entwicklung von 1972 bis 1992. *Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, 3: 53–104.
- KOHLER, A., K. HEIMBERGER & G.-H. ZELTNER, 1994: Die Makrophytenvegetation in Fließgewässern des Erdinger Moooses (Münchener Ebene) – Ihre Entwicklung 1973 bis 1992. *Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, Beiheft 1: 101 S.
- KOHLER, A., R. WONNEBERGER & G.-H. ZELTNER, 1973: Die Bedeutung chemischer und pflanzlicher „Verschmutzungsindikatoren“ im Fließgewässersystem Moosach. *Arch. Hydrobiol.* 69 (3): 533–549.
- KUTSCHER, G., 1984: Verbreitung und Ökologie höherer Wasserpflanzen in Fließgewässern der Schwäbischen Alb. Dissertation TU München.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ Baden-Württemberg, 1991: Die Moosflora der Bäche des Odenwaldes. *Ökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg*, Sonderbericht 2: 173 S.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ Baden-Württemberg, 1992: Die Moosflora der Bäche des Schwarzwaldes. *Ökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg*, Sonderbericht 4: 196 S.
- LOHAMMAR, G., 1940: Die Verbreitung von *Lemna trisulca* in Fennoskandien und Dänemark. *Verh. Intern. Ver. f. theoretische und angewandte Limnologie* 9: 204–209.
- LOTTAUSCH, W., 1984: Standortkundliche Untersuchungen der Moosflora in naturnahen Gebirgsbächen Süddeutschlands. Dissertation Universität Hohenheim: 138 S.
- MAYER, B., 1993: Wassermoose als Versauerungsindikatoren im Gebiet der Rechtmurg und Rotmurg. Diplomarbeit Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie Univ. Hohenheim: 91 S.
- MAYER, B., H. TREMP & A. KOHLER, 1994: Verwendung von Wassermoosen als Versauerungsindikatoren im Gebiet der Rechtmurg und Rotmurg (Nordschwarzwald). „Feuchtgebiete – Gefährdung, Schutz, Renaturierung“, 26. Hohenheimer Umwelttagung: 209–212.
- MELZER, A., 1988: Die Gewässerbeurteilung bayerischer Seen mit Hilfe makrophytischer Wasserpflanzen. Hohenheimer Arbeiten: Gefährdung und Schutz von Gewässern, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart: 105–116.
- MELZER, A. & E. ROTHMEYER, 1983: Die Auswirkungen der Versauerung der beiden Arberseen im Bayerischen Wald auf die Makrophytenvegetation. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 54: 9–18.
- MONSCHAU-DUDENHAUSEN, K., 1982: Wasserpflanzen als Belastungsindikatoren in Fließgewässern, dargestellt am Beispiel der Schwarzwaldflüsse Nagold und Alb. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 28: 118 S.
- PANTLE, R. & H. BUCK, 1955: Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *GWf* 96 (18).
- PIETSCH, W., 1973: Vegetationsentwicklung und Gewässergene in den Tagebauseen der Lausitzer Braunkohlen-Revieres. *Arch. Naturschutz und Landschaftsforsch.* Bd. 13, H. 3 (Berlin): 187–217.
- RISSE, S., 1986: Verbreitung, Standortfaktoren und Formenvielfalt von *Potamogeton polygonifolius* (Knöterichblättriges Laichkraut) im südlichen Pfälzerwald. Diplomarbeit Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie Univ. Hohenheim: 192 S.
- ROELOFS, J. G. M., J. A. A. R. SCHURKES & A. J. M. SMITS, 1984: Impact of acidification and eutro-

- phication on macrophyte communities in soft waters: Experimental studies. *Aquat. Bot.* 18: 389–411.
- ROWECK, H., S. RISSE & A. KOHLER, 1985/86: Zur Verbreitung, Standortsökologie und morphologischen Variabilität von *Potamogeton polygonifolius* in den Fließgewässern des südlichen Pfälzerwaldes. *Mitt. POLLICHIA* 73: 289–374.
- SCHÜTZ, W., 1992: Struktur, Verbreitung und Ökologie der Fließwasserflora Oberschwabens und der Schwäbischen Alb. *Dissertationes Botanicae* 192: 195 S.
- TREMP, H., 1993: Ein einfacher Nachweis der unterschiedlichen Säuretoleranz bei Wassermoosen – Visuelle und fluoreszenzoptische Bonitur. *Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, Heft 2: 281–286.
- TREMP, H. & A. KOHLER, 1993: Wassermoose als Versauerungsindikatoren – Praxisorientierte Bioindikationsverfahren mit Wassermoosen zur Überwachung des Säurezustandes von pufferschwachen Fließgewässern. *Veröff. PAÖ* 6: 126 S.
- TREMP, H. & A. KOHLER, 1994: Die Auswirkungen experimenteller Säure- und Aluminiumbelastung auf submerse Makrophyten. In: *Umweltministerium Bad.-Württ. (Hrsg.). Saurer Regen – Probleme für Wasser, Boden und Organismen. Ecomed-Verlag: 195–203.*
- WALTER, H. & E. WALTER, 1953: Das Gesetz der relativen Standortskonstanz: Das Wesen der Pflanzengesellschaften. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 66: 228–236.
- WIEGLEB, G., 1980: Some applications of principal components analysis in vegetation-ecological research of aquatic communities. *Vegetatio* vol. 42: 67–73.

### Adresse

Prof. Dr. A. Kohler  
Dr. H. Tremp  
Universität Hohenheim  
Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie – 320 –  
70593 Stuttgart

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [25\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Kohler Alexander, Tresp Horst

Artikel/Article: [Möglichkeiten zur Beurteilung des Säuregrades und der Versauerungsgefährdung von Fließgewässern mit Hilfe submerser Makrophyten 195-203](#)