©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tuexenia 9: 29–37. Göttingen 1989.

Tauchuntersuchungen an Isoetiden in einigen sauren Seen Südnorwegens

– Margrit Vöge –

Zusammenfassung

Individuen von drei Isoetiden-Arten wurden untersucht. Die Populationen in deutlich saurem Wasser mit pH < 5 bestanden aus phänotypisch normal entwickelten Pflanzen und aus Sprossen mit deutlichen Anomalien. Individuen mit normaler Entwicklung wurden durch ihre Rosetten (Blattlänge, Blattanzahl) und durch ihr Wurzelsystem (Wurzellänge, Wurzelanzahl) charakterisiert.
Im Vergleich zu 1976 waren die 1987 im See Mjåvatni untersuchten Rosetten der drei Arten deutlich schwächer entwickelt. Die Wurzelsysteme der *Lobelia*-Pflanzen waren in saurem Wasser weniger ausgebildet als in neutralem Medium. Individuen von *Isoetes lacustris* zeigten zwei Besonderheiten: im See Mjåvatni (pH < 5) waren die Wurzeln auffallend lang; die Pflanzen in weniger saurem Wasser (pH > 5), aber teilweise von Moosen überwachsen, wiesen besonders lange Blätter auf. *Isoetes echinospora* und *Littorella uniflora* scheinen besonders säureempfindlich zu sein. Im gekalkten See Kjerrvallvatnet wurden neben Pflanzen mit verschiedenen Anomalien (nur teilweise die gleichen wie unter sauren Bedingungen) auch normal entwickelte Sprosse beobachtet. Es gibt Hinweise dafür, daß nach vorübergehendem stellenweisem Zusammenbrechen der Vegetation eine Erholung der Bestände eintritt.

Abstract

Specimens of three isoetid species were investigated in acidic Lakes (pH < 5) in southern Norway. These isoetid populations consisted of plants without apparent damage and of distinctly damaged shoots. Normally developed individuls were characterized by rosettes (height, number of leaves) and rooting systems (length, number of roots).
In L. Mjåvatni, the rosettes found were distinctly smaller for all three species, as compared to 1976. Rooting systems of *Lobelia* plants seem reduced in acidic water, compared to plants in non-acidic water. Populations of *Isoetes lacustris* L. show two particularities: rooting systems in rather acidic L. Mjåvatni are conspicuous by their length; and plants in less acidic lakes (pH>5), partly overgrown by mosses, posess long, flaccid leaves. *Isoetes echinospora* Durieu and *Littorella uniflora* (L.) Aschers. seem to be most sensitive to water acidity. In lime treated L. Kjerrvallvatnet, isoetid plants were seen bearing symptoms of damage (partly the same as in acidic conditions) and undamaged. There is some indication of recovery of isoetid stands after a temporary collapse of the vegetation in places.

Problemstellung und Methodik

Die in klaren, elektrolyt- und nährstoffarmen Seen Mittel- und Nordeuropas siedelnden *Littorelletea*-Arten *Lobelia dortmanna* L., *Isoetes lacustris* L., *Isoetes echinospora* Durieu und *Littorella uniflora* (L.) Aschers. haben ihr Hauptverbreitungsgebiet in Skandinavien. Entsprechend der Wuchsform der Isoetiden besitzen die kleinen Pflanzen kurze steife Sprosse und Rosettenblätter. Während häufiger Reisen nach Norwegen zwischen 1972 und 1987 wurden zahlreiche Seen pflanzensoziologisch untersucht (VÖGE, im Druck). Die Benutzung der Preßlufttauchausrüstung ermöglichte auch Beobachtungen an Einzelpflanzen und gezielte Probennahme. So wurde 1976 im See Mjåvatni versucht, die hier zu erwartende optimale Entwicklung der Rosetten zu erfassen. Der See liegt nahe der südnorwegischen Stadt Egersund in der Provinz Rogaland (Abb. 1). Die Ergebnisse sollten dem Vergleich mit Rosetten aus norddeutschen Restbeständen an eutrophierten Standorten dienen.

Folgende Methodik wurde angewandt: In verschiedenen Arealen mit gleichförmiger Verteilung der Pflanzen wurden je 10 bis 20 vollständig entwickelte Individuen von *Lobelia dortmanna* und beiden *Isoetes*-Arten sorgfältig aus dem Grund gelöst. Die *Isoetes*-Exemplare wur-

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

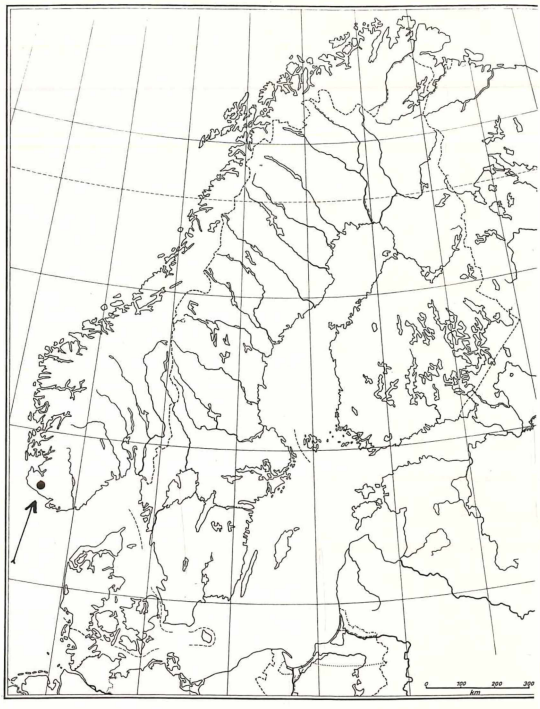


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet

den dem Tiefenbereich zwischen 1,5 und 2,5 m entnommen, die *Lobelia*-Exemplare dem Flachwasserbereich zwischen 0,5 und 1,5 m. Zur Beschreibung der Rosetten wurden an jedem Individuum Blattanzahl und maximale Blattlänge ermittelt; letztere entsprach stets mehreren Blättern einer Rosette. Für jede Art wurden Mittelwerte errechnet, für die Blattlänge auch die mittlere quadratische Abweichung. Die Ergebnisse sind, zusammen mit Angaben (obere Grenzwerte) nach CASPER & KRAUSCH (1981) in Tab. 3 dargestellt.

In den nachfolgenden Jahren zeigten sich im See Mjåvatni erhebliche Veränderungen an den Isoetiden-Beständen, dgl. an den Individuen. Die Rosetten wirkten zarter, es fielen auch, insbesondere 1987, Exemplare mit Abnormitäten und Anomalien auf. Daher wurden die Untersuchungen von 1976 im Jahre 1987 wiederholt, indem auf die beschriebene Weise phänotypisch normal entwickelte Individuen entnommen und vermessen wurden. So wurde versucht, zunächst nur subjektiv wahrgenommene Veränderungen durch Meßwerte zu belegen. Zusätzlich wurden deformierte Exemplare zur Beschreibung der Merkmale eingesammelt.

1987 wurden im See Mjåvatni und im nahegelegenen See Svåvatnet pH-Werte unter 5 gemessen. Mit pH >5 war das Wasser in den Seen Langevatn und Fotlandsvatnet zwar weniger sauer, doch es hatten in allen vier Seen zwischen 1972 und 1987 auffällige Veränderungen stattgefunden. Es wurden daher 1987 auch im See Langevatn Messungen an Rosetten durchgeführt und phänotypische Veränderungen an Isoetiden notiert. Da der See Revurdtjörni – mit neutralem Wasser – frei war von deformierten Individuen, waren hier Vergleichsmessungen an Rosetten sinnvoll.

Da sich die Ausbildung der Rosetten in den einzelnen Seen so unterschiedlich darstellte, wurden an den 1987 gesammelten Exemplaren auch die Wurzelsysteme von *Isoetes lacustris* und *Lobelia dortmanna* untersucht; dazu wurden Anzahl und maximale Länge der Wurzeln bestimmt. Für beide Arten wurden im jedem See Mittelwerte und für die Wurzellänge die mittlere quadratische Abweichung errechnet.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 1 : Untersuchungsgewässer und Charakterisierung.

See	Mjå-vatni	Svå-vatnet	Lange-vatnet	Fotlands-vatnet	Kjerrvall-vatnet	Revurd-tjörni
pH	4,7	4,82	5,1	5,54	7,02	7,83
µS/cm	68	51,3	71,2	32,7	48,5	104,6

1987 erstmals betaucht wurde der See Kjerrvallvatnet, ein versauerter See, der seit 1984 gekalkt wird, um ihn als Fischgewässer zurückzugewinnen. 1985 war der pH-Wert nach einer Zugabe von 48 t Kalk innerhalb von zwei Wochen von 4,8 auf 6,3 angestiegen; 1987 war der pH-Wert noch höher; es wurden einige Rosetten entnommen.

In Tab. 1 sind die für pH und Elektrolytische Leitfähigkeit gewonnenen Werte dargestellt. Während der Hauptvegetationsperiode wurden Wasserproben aus 1 m Tiefe genommen. Leitfähigkeit und pH-Wert wurden elektronisch bestimmt (LF 90 bzw. digi 88, beide WTW).

Alle genannten Seen befinden sich in der näheren Umgebung von Egersund. Die größte Entfernung zwischen zwei Seen beträgt ca. 13 km Luftlinie. Die Gewässer liegen zwischen 10 und 152 m ü.NN und sind über 10 m tief. Die Ausdehnung reicht von ca. 18 ha (See Langevatn) bis ca. 150 ha (See Fotlandsvatnet).

Mit Hilfe der Unterwasserkamera (NIKONOS V) wurde die Gewässersituation dokumentiert.

Gewässerbeschaffenheit und Vegetation

Tab. 2 gibt das Arteninventar der untersuchten Seen wieder. Da die vier Seen mit saurem Wasser hier keine Unterschiede zeigen, sind sie in einer Spalte zusammengefaßt.

1. Mjåvatni und Svåvatnet

Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes betrug die Sichttiefe in beiden Seen über 10 m; die dichten Isoetiden-Bestände konnten mühelos von der Wasseroberfläche aus bis zur Tiefengrenze der Vegetation beobachtet werden. Im Sommer 1982 waren Algenüberzüge an *Isoetes*-Sprossen und an Blütenstielen der Lobelie auffällig. 1986 war die inzwischen spektakuläre Algenentwicklung bereits vom Ufer aus erkennbar. Ausgedehnte Wolken umgaben nunmehr Sprosse und Blütenstiele, bedeckten das Sediment und schwebten zwischen Oberfläche und bis etwa 5 m Tiefe. An den Blütenstielen waren nur noch 1 bis 2 kleine Blüten. 1987 war die Wassertransparenz deutlich geringer als in früheren Jahren. Die Tiefengrenze der *Isoetes*-Arten hatte sich von 4–5 m (1972) nach 2–3 m verschoben und es wurden dort überwiegend kleine, zarte Pflanzen beobachtet, daneben teilweise freiliegende Wurzelsysteme. Im Flachwasser fiel auf, daß die *Lobelia*-Pflanzen meist nur mit wenigen Wurzeln im Sediment verankert waren, während der größere Teil der Wurzeln frei um die Rosetten herum schwebte. Im Sediment waren verbreitet Wurzelsysteme, denen der obere Sproßteil fehlte. Dagegen wurden viele *Lobelia*-Sprosse – wurzellos oder mit nur wenigen Wurzeln – vom Wellenschlag ans Ufer gespült.

Tab. 3 zeigt, daß bei den drei im Mjåvatni untersuchten Arten 1987 Blattanzahl und Blattlänge deutlich geringer waren als 1976. Bei den *Lobelia*-Rosetten ist anzumerken, daß – im Gegensatz zu 1976 – die 1987 gesammelten Exemplare zwei verschiedene Blattlängen aufwiesen. Die äußeren Blätter entsprachen in ihrer Länge den angegebenen Werten, während die inneren nur halb so lang waren. Beide Teilrosetten hatten etwa gleiche Blattanzahlen (Abb. 2a). *Isoetes lacustris* war durch sehr lange Wurzeln auffällig (Tab. 4).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 2 : Arteninventar der Untersuchungsgewässer.

	Saure Seen	Kjerrvall-vatnet	Revurd-tjörni
Nuphar lutea			.
Nymphaea alba			.
Potamogeton natans			.
Potamogeton pusillus			.
Myriophyllum alterniflorum			.
Utricularia spp.	.		
Lobelia dortmanna	.	.	.
Isoetes lacustris	.	.	.
Isoetes echinospora	.	.	.
Littorella uniflora	.	.	.
Juncus bulbosus	.	.	.
Subularia aquatica		.	
Nitella flexilis			.
Sphagnum spp.	.		
Drepanocladus sp.	.		

Einen erheblichen Anteil an der Vegetation hatten Pflanzen mit folgenden arttypischen Anomalien:
Isoetes lacustris: Die Blätter sind sehr kurz, dünn und zerbrechlich. Blattenden bzw. ganze Blätter sind gelb bis braun. Die oberen Blattabschnitte sind stark verdreht. Der normalerweise knollige Stamm ist flach, besitzt nur wenige Wurzeln, Sporophylle fehlen. Indem die Blätter in einer Ebene angeordnet sind, fehlt das typische Bild einer Rosettenpflanze. (Abb. 2,c–e).
Isoetes echinospora: Die fadenartigen Blätter sind höchstens 5 cm lang. Im übrigen besteht das gleiche untypische Erscheinungsbild wie bei *I. lacustris*.
Lobelia dortmanna: Die auffallend kurzen Blätter, oft weiß oder gelb, sind unregelmäßig angeordnet. Die Oberseiten weisen Deformationen auf, gitterartige Vertiefungen. Nur wenige Wurzeln halten die Rosette locker in Bodennähe. (Abb. 2b).
Littorella uniflora: Die Rosetten sind spärlich entwickelt, Ausläufer fehlen.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 3 : Blattanzahl und Blattlänge.

	Isoetes lacustris		Isoetes echinospora		Lobelia dortmanna	
	Blatt-anzahl	Blattlän-ge (cm)	Blatt-anzahl	Blattlän-ge (cm)	Blatt-anzahl	Blattlän-ge (cm)
n. Casper u. Krausch (1981)	30 - 50	20	40 - 50	12 - 15	27	7 - 10,5
Mjåvatni (1976)	49	24,5 ± 2,2	40	15,8 ± 1,9	21	8,5 ± 1
Mjåvatni (1987)	28	14,6 ± 2,1	14	10,4 ± 1,6	11	6.1 ± 0,8
Langevatn (1987)	32	27,2 ± 4.1	16	13,4 ± 1.8	11	7,8 ± 1,9
Revurdtjörni (1987)	44	23,2 ± 2,1	21	13,2 ± 1,8	17	8,4 ± 1,3

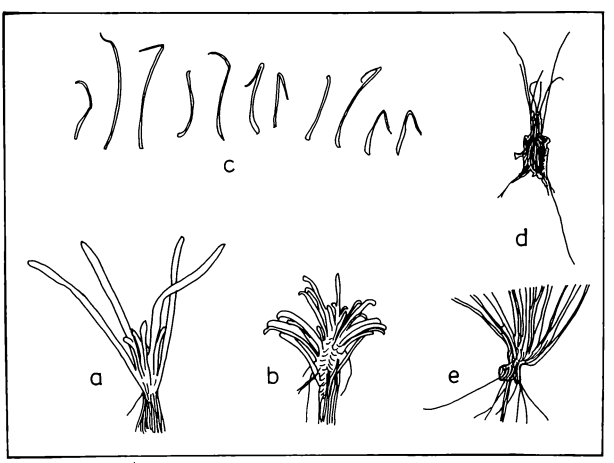


Abb. 2: Anomalien an Isoetiden

Lobelia dortmanna
a: Blätter in abgestufter Länge; b: Deformierte Rosette
Isoetes lacustris
c: Blätter einer Pflanze; d,e: Stammdeformationen

Tab. 4 : Wurzelanzahl und Wurzellänge.

	Isoetes lacustris		Lobelia dortmanna	
	Wurzel-anzahl	Wurzel-länge (cm)	Wurzel-anzahl	Wurzel-länge (cm)
Mjåvatni (1987)	35	29,6 ± 5,8	32	11,7 ± 2,1
Langevatn (1987)	38	19,8 ± 2,2	38	12 ± 2,9
Revurdtjörni (1987)	46	18,9 ± 2,1	66	16,4 ± 2,3

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

2. Langevatn und Fotlandsvatnet

Sphagnum-Arten hatten 1972 nur im See Fotlandsvatnet einen größeren Anteil im *Isoeto-Lobelietum*. 1982 breiteten sie sich stark aus und verdeckten stellenweise die Isoetiden. 1986 bestand in beiden Seen die Vegetation überwiegend aus Moosen, sie kamen bis 10 m Tiefe vor. Im See Fotlandsvatnet bildete Sphagnum eine bis 40 cm hohe Schicht, aus der die Blätter der Isoetiden nur wenig herausragten.

Tab. 3 zeigt: Die drei *Littorelletea*-Arten im See Langevatn weisen ähnliche Blattanzahlen auf wie (1987) im See Mjåvatni. Die Blätter von *I. echinospora* und *Lobelia* sind kürzer als sie 1976 und länger als sie 1987 im See Mjåvatni waren; auffallend lang sind dagegen die Blätter von *I. lacustris*. Während die Anzahlen der Wurzeln (für beide Arten) in den Seen Langevatn und Mjåvatni (1987) vergleichbar sind, bildet *I. lacustris* hier deutlich kürzere Wurzeln als im See Mjåvatni (Tab. 4).

3. Revurdtjörni

Sein Arteninventar unterscheidet sich von dem der sauren Seen, indem neben Isoetiden auch Nymphaeiden und Elodeiden vorkommen, während Moose fehlen; eine intensive Algenentwicklung wurde nicht beobachtet.

Die Rosetten von *I. lacustris* und *Lobelia* sind in Blattanzahl und Blattlänge den 1976 im See Mjåvatni gefundenen Pflanzen ähnlich, während die Rosetten von *I. echinospora* zarter sind (Tab. 3). Die Exemplare von *Isoetes lacustris* und *Lobelia dortmanna* besitzen hier mehr Wurzeln als in den sauren Seen (Tab. 4).

4. Kjerrvallvatnet

Bei hoher Wassertransparenz besteht die Vegetation ausschließlich aus Isoetiden. Bemerkenswert ist das Auftreten von *Subularia aquatica*; die Art wurde in keinem der übrigen Seen gefunden.

Auffällig war die ungleichmäßige Besiedlung des ufernahen Bereiches. Sehr dichte Isoetiden-Bestände wechseln ab mit lichten Beständen bzw. Flächen (von ca. 1 m²) ohne Bewuchs. Am Rand solcher vegetationsfreier Areale finden sich bis faustgroße Portionen von Kalziumverbindungen.

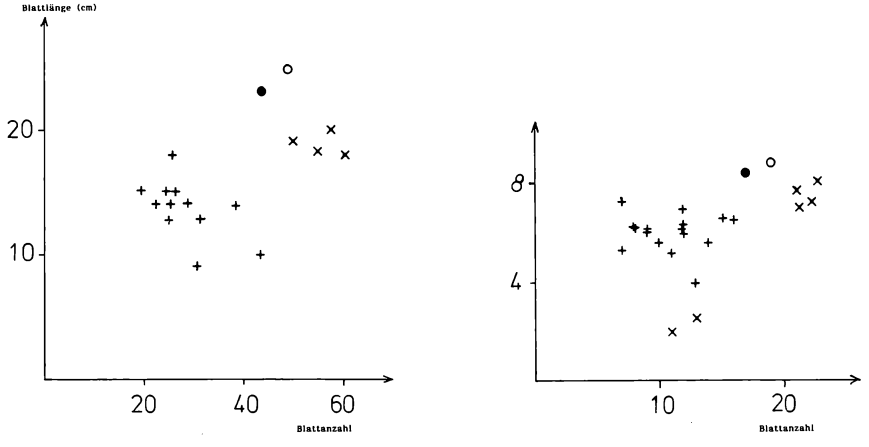


Abb. 3: Rosettenausbildung in verschiedenen Seen

a: *Isoetes lacustris* (links)
Mjåvatni 1976 (o), Revurdtjörni (.),
jeweils Mittelwerte;
Mjåvatni 1987 (+), Kjerrvallvatnet (x)

b: *Lobelia dortmanna*
Mjåvatni 1976 (o), Revurdtjörni (.),
jeweils Mittelwerte;
Mjåvatni 1987 (+), Kjerrvallvatnet (x)

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Die Ausbildung der Rosetten war in diesem See so unterschiedlich, daß nur einige typische Individuen von *I. lacustris* und *Lobelia dortmanna* entnommen wurden. Die ermittelten Blattanzahlen und Blattlängen sind in Abb. 3 dargestellt, zuzätzlich wurden Daten aus den Seen Revurdtjörni und Mjåvatni (1976 und 1987) aufgenommen. Abb. 3a ist zu entnehmen, daß die auffallend vitalen *Isoetes*-Areale aus Individuen bestehen, die denen in den Seen Revurdtjörni und Mjåvatni (1976) vergleichbar sind. Abb. 3b zeigt, daß die besonders dichten *Lobelia*-Bestände von Pflanzen gebildet werden, die in ihrer Ausbildung denen im Revurdtjörni ähnlich sind, ebenso den Pflanzen, die 1976 noch im Mjåvatni vorkamen. Andere Exemplare, aus den lichten Beständen, weisen Rosetten auf, die den 1987 im Mjåvatni gesammelten entsprechen. Von beiden Arten wurden auch Pflanzen gefunden, die die in den sauren Seen beobachteten Anomalien aufweisen. Daneben zeigten weitere *Lobelia*- Exemplare Merkmale, die in den sauren Seen nicht festgestellt wurden: Deformationen an der Blattoberfläche (Erhebungen, Vertiefungen) sowie transparente bzw. weiße Stellen auf den Blättern. *I. echinospora* trat im Kjerrvallvatnet wenig in Erscheinung. *Littorella uniflora* bildete hier Ausläufer.

Diskussion

Die Anpassung der Isoetiden an Extremstandorte mit neutraler bis schwach saurer Wasserreaktion besteht in ihrer Fähigkeit, auch bei besonders niedrigen Konzentrationen an anorganischem Kohlenstoff zu gedeihen. Sie ist auf die Aufnahme von Kohlendioxid aus dem Sediment mittels der Wurzeln gegründet, wobei das Interstitialwasser eine etwa 100–400 fach höhere CO_2-Konzentration besitzt als das die Pflanze umgebende Seewasser (WIUM-ANDERSEN 1971, WIUM-ANDERSEN & ANDERSEN 1972). Die Rosetten-Wuchsform und die hohe Wurzel-Biomasse (20–65 % der Gesamtmasse) werden als Anpassung an die ökologischen Bedingungen in oligotrophen Seen gedeutet. Die Rosettenbildung ermöglicht kurze Transportwege von den Wurzeln zu den Blättern; eine hohe Untergrundbiomasse entspricht einer günstigen Absorptionsfläche. SAND-JENSEN & SÖNDERGAARD (1979) konnten zeigen, daß mit steigender interstitieller CO_2-Konzentration die mittlere Sproßmasse proportional zunimmt, während der mittlere Anteil der Untergrund-Biomasse sinkt.

Daß Isoetiden auch in deutlich sauren Gewässern beobachtet werden begründen YAN et al. (1985) nach Untersuchungen an sauren kanadischen Seen mit dem im Vergleich zur darüberliegenden Wasserschicht höheren pH-Wert, den das Interstitialwasser – besonders mit zunehmender Tiefe – besitzt. Dagegen wurde die Einschränkung des Isoetiden-Wachstums bei pH-Werten nahe oder unter 5 von WETZEL et al. (1984) beschrieben. GRAHN (1977) und LAZAREK (1982) beobachteten in versauerten Seen pigmentfreie Blätter bei *Lobelia* und unter *Sphagnum-Schichten* abgestorbene Isoetiden. Das ausgeprägte Wachstum fädiger Algen, insbesondere der Gattung *Mougeotia,* wird als Auswirkung der Gewässerversauerung aus verschiedenen Teilen Europas und aus Amerika berichtet (LENHART & STEINBERG 1984).

Die untersuchten Seen, in denen vergleichbare Beobachtungen gemacht wurden, gehören der Region Norwegens an, in der die Gewässerversauerung ein erhebliches Ausmaß angenommen hat (Statistisk Sentralbyrå, Oslo, 1986). Der Vergleich mit Rosetten aus den Seen Revurdtjörni und Kjerrvallvatnet sowie mit Daten nach CASPER & KRAUSCH (1981) zeigt, daß die Isoetiden im See Mjåvatni 1976 noch die an schwach sauren bis neutralen Standorten normale Entwicklung aufweisen; dabei ist zu bedenken, daß die Versauerung norwegischer Gewässer bereits in den fünfziger Jahren eingesetzt hat. Die Wurzelsysteme von *Lobelia* und *Isoetes lacustris* im See Revurdtjörni sollten wie die Rosetten die bei ausreichendem Nährstoff- und Lichtangebot charakteristische Ausbildung besitzen. Damit weisen die Ergebnisse, die 1987 in den Seen Mjåvatni und Langevatn gewonnen wurden, auf eine mit sinkendem pH-Wert fortschreitende Schwächung der Rosetten und der Wurzelsysteme durch Verminderung von Blatt- und Wurzelanzahlen hin. Bei *Lobelia* kommt stets noch eine Beeinträchtigung des Längenwachstums der Blätter und Wurzeln hinzu.

Als Gründe für den starken Rückgang der Isoetiden-Bestände in saurem Milieu werden Nahrungsstreß als Folge verzögerter Mineralisation sowie Lichtmangel angegeben (z. B.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

HULTBERG & GRAHN 1975, LAAKE 1976, ROELOFS 1983, SAND-JENSEN & BORUM 1984). Die bei *I. lacustris* beobachteten Besonderheiten stellen möglicherweise Reaktionen auf Sreßsituationen dar: die auffällig langen Wurzeln im See Mjåvatni können entsprechend dem pH-Gradienten weniger saures Interstitialwasser erreichen; die langen, zarten Blätter im See Langevatn überragen teilweise die Moosschicht und können so das Sonnenlicht nutzen.

Im gekalkten See Kjerrvallvatnet war die Eindringtiefe des Lichtes entsprechend der hohen Wassertransparenz beträchtlich. Im Laufe der Jahre nach der ersten Kalkung dürfte sich der pH-Anstieg im Wasser auch auf das Interstitialwasser ausgedehnt haben. Damit steht das Auftreten von Isoetiden mit normaler Rosettenentwicklung in Einklang. Deformierte Sprosse weisen andrerseits auf irreversible Schädigungen als Folge der Versauerung hin. Die Veränderungen an der Blattoberfläche bei *Lobelia* sind möglicherweise auf den unmittelbaren Kontakt mit der zum Kalken benutzten Substanz zurückzuführen. Die auf vegetationsfreien beobachteten Kalkanhäufungen deuten auf ungleichmäßige Verteilung des Kalks sowie auf ein Zusammenbrechen der Vegetation in Bereichen erhöhter Kalkzufuhr hin.

Das plötzliche verbreitete Auftreten stark geschädigter Pflanzen mit erheblichen Anomalien in den Seen Mjåvatni und Svåvatnet läßt das Hinzutreten weiterer Stressoren vermuten. *Littorella uniflora* und *Isoetes echinospora* scheinen besonders säureempfindlich zu sein. Indem *Littorella* keine Ausläufer entwickelt, *Lobelia* allenfalls wenige verkümmerte Blüten ausbildet und bei den *Isoetes*-Arten die Sporenbildung erheblich eingeschränkt ist, erscheint der Fortbestand der *Littorelletea*-Gesellschaften in Seen mit anhaltend saurer Wasserreaktion ungesichert. Auch in Niedersachsen siedeln Isoetiden an sauren Weichwasserstandorten. Die norddeutschen *Littorelletea*-Gesellschaften sind damit nicht nur durch Eutrophierung gefährdet; in kalkarmen, schwach sauren Seen ist bei zusätzlichem Säureeintrag ebenfalls eine Beeinträchtigung möglich.

Literaturverzeichnis

CASPER, S. j., KRAUSCH, H.-D. (1981): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 24. – Jena.

GRAHN, O. (1977): Macrophyte succession in Swedish lakes caused by deposition of airborne acid substances. – Water, Air & soil Pollution 7: 295–305.

HULTBERG, H., GRAHN, O. (1975): Effects of acid precipitation on macrophytes in oligotrophic Swedish lakes. – First Spec. Symp. Atmospheric Contribution to the Chemistry of Lake Waters. Int. Assoc. Great Lakes Res., Sept. 28–Oct. 1. 1975: 208–217.

LAAKE, M. (1976): Effects of low pH on primary production, decomposition and nutrient recycling in the littoral zone of softwater lakes. – SNSF-project, IR 29/76, Oslo-as, 105 pp.

LAZAREK, S. (1982): Structure and function of a cyanophytan mat community in an acidified lake. – Can. J. Bot. 60: 2235–2240.

LENHART, B., STEINBERG, C. (1984): Limnochemische und limnobiologische Auswirkungen der Versauerung von kalkarmen Oberflächengewässern – Eine Literaturstudie Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

ROELOFS, J. G. M. (1983): Impact of acidification and eutrophiction on macrophyte communities in soft waters in the Netherlands. I. Field observations. – Aquat. Bot. 17: 139–155. II. Experimental Studies. – Aquat. Bot. 18: 389–411.

SAND-JENSEN, K., BORUM, J. (1984): Epiphyte shading and its effect on photosynthesis and diel metabolism of Lobelia dortmanna L. during the spring bloom in a Danish lake. – Aquat. Bot. 20: 109–119.

SAND-JENSEN, K., SÖNDERGAARD, M. (1979): Distribution and quantitative development of aquatic macrophytes in relation to sediment characteristics in oligotrophic Lake Kalgaard, Denmark. – Freshwater Biol. 9: 1–11.

VÖGE M. (1988): Tauchuntersuchungen der Submersen Vegetation in Skandinavischen Seen unter besonderer Berücksichtigung der Isoetiden-Vegetation. – Limnologica 19/2: im Druck.

WETZEL, R. G., BRAMMER, E. S., FORSBERG, C. (1984): Photosynthesis of submersed macrophytes in acidified lakes. I. Carbon fluxes and recycling of CO_2 in Juncus bulbosus L. – Aquat. Bot. 19: 329–342.

WIUM-ANDERSEN, S. (1971): Photosynthetic uptake of free CO_2 by roots of Lobelia dortmanna. – Physiol. Plant. 25: 245–248.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

WIUM-ANDERSEN, S., ANDERSEN, J. M. (1972): Carbon dioxide content of the interstitial water in the sediment of Grane Langso, a Danish Lobelia lake. – Limnol. Oceanogr. 17: 943–947.
YAN, N. D., MILLER, G. E., WILE, J., HITCHIN, G. G. (1985): Richness of Aquatic Macrophyte Floras of Soft water Lakes of differing pH and trace metal content in Ontario, Canada. – Aquatic Botany. 23: 27–40.

Anschrift der Verfasserin:
Dr. Margrit Vöge
Pergamentweg 44b
D-2000 Hamburg 74

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: NS_9

Autor(en)/Author(s): Vöge Margrit

Artikel/Article: Tauchuntersuchungen an Isoetiden in einigen sauren Seen Südnorwegens 29-37