Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Kiel 1977 (1978):

Die Wirkung der Salzbelastung auf submerse Weichwasser-Makrophyten unter Laborbedingungen

Willfried Nobel und Alexander Kohler

Apical shoots of the submerged soft water plants, *Myriophyllum alterniflorum*, *Ranunculus peltatus* and *Elodea canadensis* are polluted with chloride under controlled conditions for a period of about three weeks in an aquarium system simulating running water conditions. The amount of damage to the plants is measured as change of the net photosynthesis rate which is controlled by a reliable oxygen-electrode-system in a pressure tight, translucent chamber.

The experiments with increasing Cl^--concentrations (0 to 1200 respectively 2500 ppm Cl^-) make a damage to *Myriophyllum alterniflorum* traceable at 1000 ppm Cl^-, while to *Elodea canadensis* it can be significantly proven.

Experiments with different Cl-compounds (500 ppm Cl^- each of NaCl, KCl, $CaCl_2$ and $MgCl_2$) show that pollution with $MgCl_2$ results in total damage of *Ranunculus peltatus* and *Elodea canadensis* after 7 days. With *Elodea*, net assimilation rate (NAR) is stronger affected by KCl than by $CaCl_2$ and NaCl. The effect of salt pollution on submerged soft water macrophytes thus cannot be generally estimated. Oligotraphent as well as eutraphent species were damaged within the range of ecologically relevant Cl-concentrations. With submerged plants blooming regularly the stage of development has to be considered during experiments. This stage seems to be of greater influence on the amount of damage than differences between the species.

1. Einleitung

Gewässer in Urgesteinsgebieten sind mit 1-2° dH als sehr weich bis weich anzusprechen, d.h. ihre Gehalte an Ca- und Mg-Salzen sind gering. Solche Ca-hydrogencarbonatarme Gewässer des Südschwarzwaldes oder des Oberpfälzer Waldes weisen im unbelasteten Zustand mit weniger als 10 mg Cl^-/l die niedrigsten natürlichen Chlorid-Konzentrationen in Oberflächenwässern auf. Verunreinigte Gewässer haben immer einen erhöhten Chloridgehalt; 200-300 mg Cl^-/l deuten auf starke Verunreinigungen hin (HÖLL 1970).

Salzbelastungen durch Einleiten streusalzhaltiger Straßenabwässer mit hohen Gehalten an NaCl und z.T. $CaCl_2$ kommen saisonal während der Wintermonate vor. Hierbei können die Salzkonzentrationen kurzfristig bis 3 g/l erhöht sein, sie erfahren jedoch eine rasche Verdünnung (HOIGNÉ 1974). Eine anhaltend extreme Salzbelastung von Fließgewässerökosystemen verursachen Bergbau, Kali-Industrie und Sodafabrikation mit stark NaCl-, KCl-, $CaCl_2$- und z.T. auch $MgCl_2$-haltigen Abwässern. So finden wir Angaben über eine durchschnittliche Belastung von 300 mg im Oberrhein, 1200 mg in der Leine oder 1700 mg Cl^-/l in der Werra (MEINCK et al. 1968).

Die Wirkung einer solchen Versalzung auf Gewässerorganismen beruht einmal auf der Erhöhung des osmotischen Wertes, sodann - über die Veränderung der Ionenverhältnisse - auf spezifischen Ionenwirkungen, was toxische Anreicherungen zur Folge hat (ZIEMANN 1972) und schließlich insgesamt auf einer Veränderung des Mineralstoffhaushalts (HANES et al. 1970).

Außer ersten orientierenden Versuchen von GAST (zit.v. KOHLER 1976) mit *Groenlandia densa* sind Ergebnisse von experimentellen Untersuchungen über die Wirkung einer Salzbelastung auf höhere submerse Süßwasserpflanzen nicht bekannt.

2. Methoden

In einer Aquarienanlage zur Fließgewässerimitation, wie sie von GLÄNZER (1974) sowie LABUS et al. (1977) beschrieben wird, belasteten wir unter kontrollierten Bedingungen (Belichtungsdauer (14 Stunden) und -intensität (10 klx), Wassertemperatur (10°C), Schad- und Nährstoffangebot sowie Belüftung und Turbulenz des Mediums) drei Wochen lang obere Sproßabschnitte (12-15 cm) submerser Makrophyten in Weichwasserverhältnissen (Wasserhärte 1° dH, elektrische Leitfähigkeit 30 $\mu S/cm^2$).

Als repräsentatives Maß einer unspezifischen, aber umfassenden Pflanzenschädigung dient die Veränderung der Nettoassimilationsrate, die mit einer Sauerstoff-Meßapparatur (SCHUSTER et al. 1977) wöchentlich ermittelt wird. Mit dieser Methode lassen sich bei umweltrelevanten Schadstoffkonzentrationen bereits optisch nicht sichtbare Schädigungen quantitativ bestimmen. Selbst während Langzeitexperimenten über vier Wochen müssen die Versuchspflanzen zur objektiven Schadbeurteilung nicht zerstört werden.

3. Material

Das Testmaterial wurde für jeden Versuch aus dem Freiland geholt, und zwar aus Nebenflüssen der Naab (Pfreimd und Schwarzach) im Oberpfälzer Wald sowie dem Feldsee am Feldberg im Südschwarzwald.

Zum einen testeten wir mit *Myriophyllum alterniflorum* (Wechselblütiges Tausendblatt) und *Ranunculus peltatus* (Schild-Wasserhahnenfuß) Weichwasserarten nährstoffarmer Flußbereiche mit fehlender bzw. geringer bis mäßiger Belastung (Güteklasse I bis II), zum anderen mit *Elodea canadensis* (Kanadische Wasserpest), eine eutraphente Art nährstoffreicher Weich- wie Hartgewässerabschnitte mit kritischer Belastung (Güteklasse III). Der Pflanzenauswahl liegen die Ergebnisse der Untersuchungen von KOHLER und ZELTNER (1974) im Oberpfälzer Wald zugrunde.

4. Ergebnisse

4.1 Versuche mit steigenden Cl-Konzentrationen

4.11 *Myriophyllum alterniflorum* (Abb. 1)

Bei diesem Versuch mußte die Nettoassimilationsrate auf das Frischgewicht bezogen werden; eine Blattflächenbestimmung ist ebenso wie bei *Ranunculus peltatus* (4.21) aus anatomisch-morphologischen Gründen nicht möglich. Wir sind uns der damit verbundenen Einschränkungen der Aussagekraft bewußt.

Setzen wir als Basis aller Vergleiche die Ausgangsleistung jeder Konzentration gleich 100, dann sieht man in Abb. 1 bereits nach 7 Belastungstagen eine deutliche Leistungsminderung ab 800 mg Cl^-/l, nach 14 Tagen einen Abfall gegenüber der Kontrolle bereits ab 400 mg Cl^-/l. Nach 21 Belastungstagen liegt die NAR bei 1000 mg Cl^-/l mit 37% der Ausgangsleistung fast um die Hälfte unter der Kontrolle mit 62%. Der Abfall der Kontrolle in allen Versuchen hat seine Ursache in der Schwierigkeit, mit submersen Makrophyten grundsätzlich in Aquarien zu experimentieren. Die Aussagekraft wird - bei Bezug auf die Kontrolle am jeweiligen Meßtag - dadurch nicht eingeschränkt.

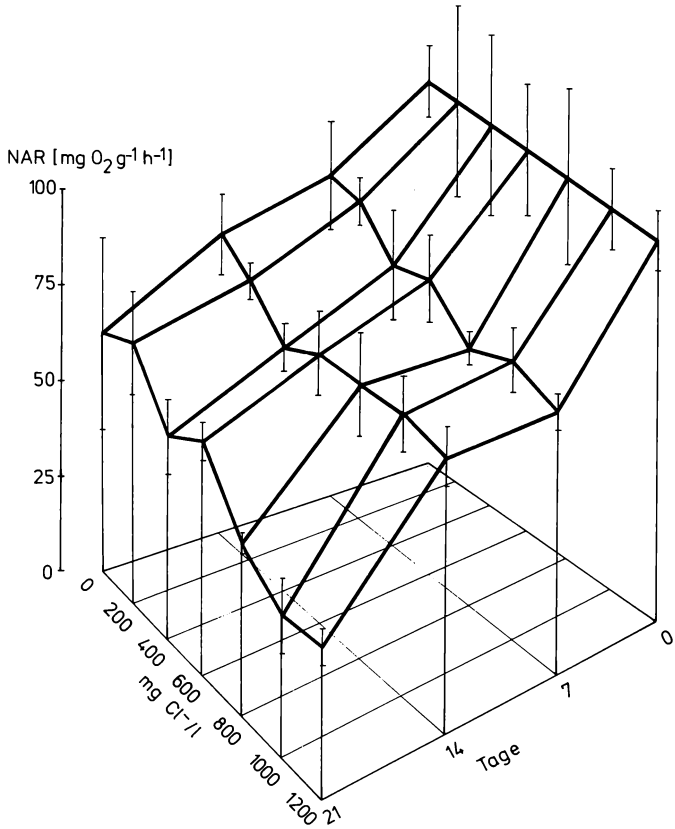

Abb. 1: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanze: *Myriophyllum alterniflorum*
Testsubstanz: Chlorid (NaCl)
Darstellung: Nettoassimilationsrate in % der Ausgangsleistung
n = 4, I = $\bar{x} \pm s$

4.12 *Elodea canadensis* (Abb. 2)

Auf Grund einer Erhöhung der Parallelmessungen von n = 4 auf n = 8 konnten die Ergebnisse statistisch dahingehend ausgewertet werden, daß nach RENNER (1970) die Vertrauensbereiche des Mittelwertes für 5% Irrtumswahrscheinlichkeit mitberücksichtigt sind.

Nach 7 Belastungstagen folgt einem Anstieg der Photosyntheseleistung ein starker Abfall: Bei 2500 mg Cl^-/l produzieren die Pflanzen nur noch 25% der Ausgangsmenge, nach 14 Tagen sind sie total geschädigt. Nach 21 Tagen liegt die NAR auch bei 1000 mg Cl^-/l signifikant unter der Kontrolle.

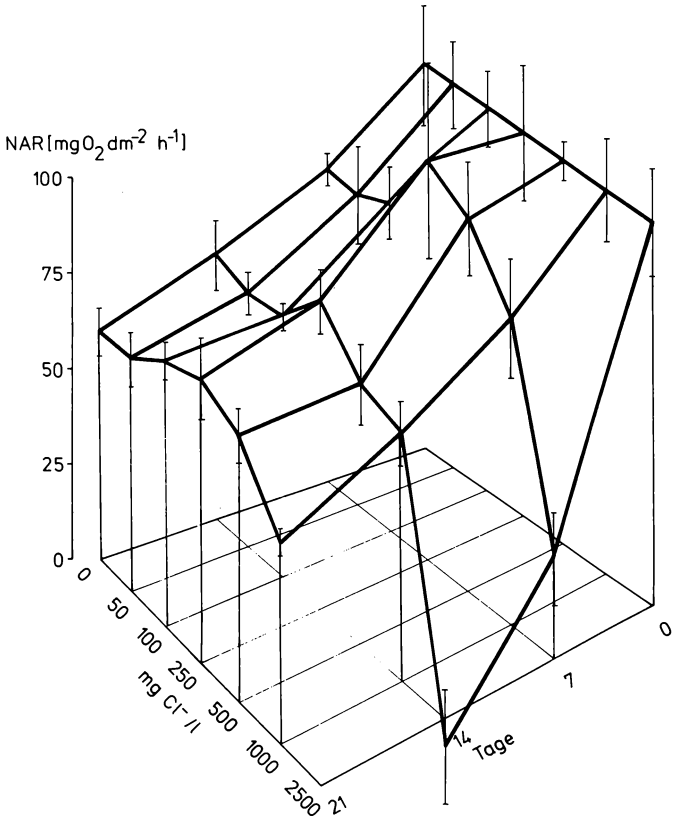

Abb. 2: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanze: *Elodea canadensis*
Testsubstanz: Chlorid (NaCl)
Darstellung: Nettoassimilationsrate in % der Ausgangsleistung
n = 8, $\mathrm{I} = \bar{x} \pm t \cdot s_m$ (P = 5%)

4.13 *Nettoassimilationsrate / Trockengewicht* (Abb. 3)

Bezogen auf das Trockengewicht nach 21 Belastungstagen erkennt man einerseits bei *Elodea* ein höheres Produktionsniveau als bei *Myriophyllum*. Andererseits ist die Schädigung von *Myriophyllum* weniger stark ausgeprägt als von *Elodea*. Hier ist nach einer stimulierenden Wirkung von 50 mg Cl^-/l bereits bei 250 mg Cl^-/l eine Schädigung des photosynthetischen Apparates signifikant nachweisbar.

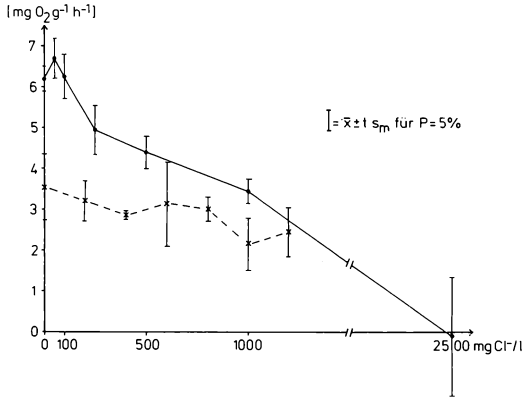

Abb. 3: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanzen: *Elodea canadensis* ——●——
Myriophyllum alterniflorum - - x - -
Testsubstanz: Chlorid (NaCl)
Darstellung: $\frac{\text{Nettoassimilationsrate}}{\text{Trockengewicht}}$
nach 14 (2500 mg Cl^-/l)
bzw. 21 Belastungstagen

4.14 *Diskussion*

Die Belastungsversuche mit steigenden Chlorid-Konzentrationen zeigen eine Verträglichkeitsgrenze bei 1000 mg Cl^-/l. Sie ist bei *Myriophyllum* angedeutet und bei *Elodea* deutlich ausgeprägt. Dies ist eine Konzentration, wie sie in stark belasteten Gewässern der Kaliindustrie vorkommt. In der - verglichen mit *Myriophyllum* (Güteklasse I-II) - unerwartet stärkeren Schädigung von *Elodea* (Güteklasse III) kommt das Problem des Versuchszeitpunktes für Freilandmaterial zum Ausdruck: Der *Elodea*-Versuch wurde im Februar durchgeführt, also mit überwinterten Pflanzen aus dem Vorjahr, während bei *Myriophyllum* im August mit adultem Pflanzenmaterial gearbeitet wurde. Es wird hier weniger eine stärkere Schädigung der einen Art gegenüber der anderen vermutet als vielmehr eine unterschiedliche Salzverträglichkeit in verschiedenen Entwicklungsstadien. Somit stellen in jedem Fall auch kurzfristige Höchstbelastungen durch Streusalze sehr wohl eine Gefahr für Wasserpflanzen dar.

4.2 Versuche mit verschiedenen Begleit-Kationen

4.21 *Ranunculus peltatus* (Abb. 4)

In einem orientierenden Versuch (n = 2) mit *Ranunculus peltatus* bei Gaben von je 500 mg Cl^-/l als Na-, K-, Ca- und Mg-Chlorid zeigt sich eine starke Förderung der Photosyntheseleistung durch $CaCl_2$. Weniger stark ist sie durch KCl, und auch die Werte der NaCl-Behandlung liegen noch höher als die Kontrolle ohne Cl^--Zusatz. Dagegen wird durch $MgCl_2$ bereits nach 7 Belastungstagen eine Totalschädigung hervorgerufen.

4.22 *Elodea canadensis* (Abb. 5)

$MgCl_2$ schädigt nach 7 Tagen ebenfalls total, während nur $CaCl_2$ anfangs fördernd wirkt. Nach 21 Tagen liegt die NAR auch bei KCl signifikant unter der Kontrolle.

4.23 *Nettoassimilationsrate / Trockengewicht* (Abb. 6)

Vergleicht man die beiden untersuchten Arten nach Versuchsende, bezogen auf das Trockengewicht, so sieht man bei *Ranunculus* eine Förderung der Nettoassimilation durch $CaCl_2$ und in geringerem Maße auch noch durch KCl und NaCl. $MgCl_2$ schädigt beide Arten nach 7 Tagen total, *Ranunculus* allerdings stärker als *Elodea*. Bei *Elodea* erkennt man eine gegenüber der Kontrolle signifikante Produktivitätsminderung durch NaCl und noch ausgeprägter durch KCl.

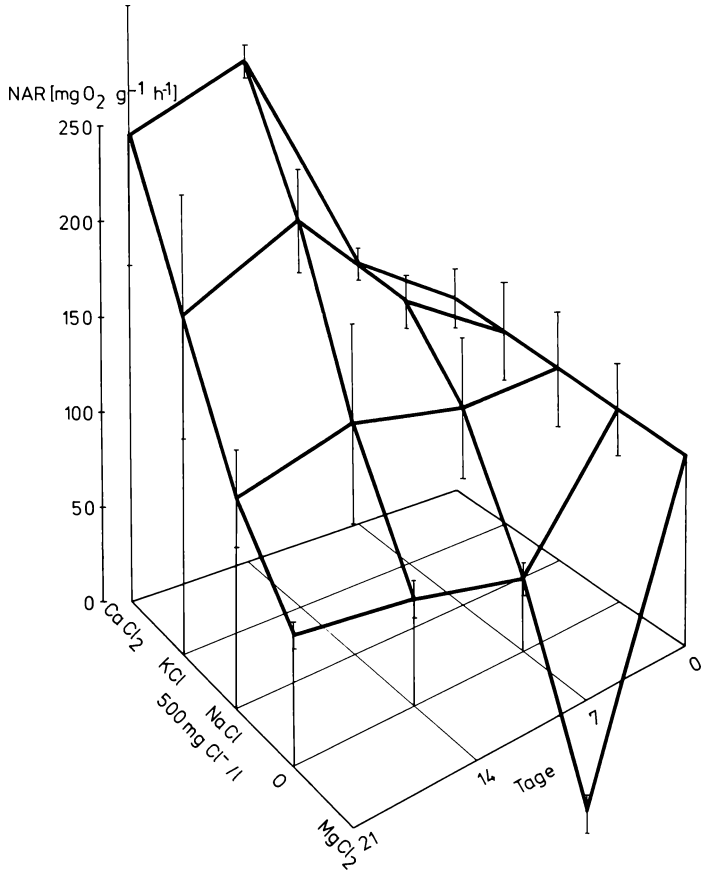

Abb. 4: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanze: *Ranunculus peltatus*
Testsubstanz: Chlorid (500 mg Cl^-/l)
Darstellung: Nettoassimilationsrate in % der Ausgangsleistung
n = 2 ⟦ = $\bar{x} \pm s$

4.24 *Diskussion*

Die Versuche mit verschiedenen Begleitkationen zeigen die extreme Toxizität von $MgCl_2$, das jedoch in dieser Konzentration kaum in Fließgewässern vorkommt. Eine fördernde Wirkung von $CaCl_2$, KCl und auch von NaCl auf *Ranunculus peltatus* ist statistisch nicht gesichert und sollte daher auch nicht überbewertet werden. Da dieser Versuch im Mai durchgeführt wurde, könnte eine Ursache der Produktionsförderung im erhöhten physiologischen Bedarf der Pflanze gesehen werden, nämlich zu einer Zeit hoher Stoffwechselaktivität (Kalium) verbunden mit starkem Streckungswachstum (Calcium) vor der Blühphase. Die physiologisch positive Wirkung von Calcium und Kalium würde also hierbei über die schädigende von Chlorid dominieren. Für den im März durchgeführten Versuch mit *Elodea* gilt das unter 4.14 Gesagte. Darüberhinaus ist eine schädigende Wirkung von NaCl und KCl, neben der von $MgCl_2$, signifikant nachgewiesen.

Aus der unterschiedlichen Wirkung der Kationen eine Reihe zunehmender Toxizität aufstellen zu wollen, ist einmal allgemein nicht sinnvoll, weil zu große Unterschiede bei den einzelnen Pflanzenarten bestehen, wie dies KREEB (1960) für Landpflanzen aufzeigte. Zum anderen wird die Photosynthese im besonderen nach MAIWALD (1927) durch eine Erniedrigung des Chlorophyllgehalts infolge KCl-Einwirkung direkt beeinflußt. Außerdem wirkt nach SCHUPHAN (1940) Chlorid auf den Kohlenhydratstoffwechsel insgesamt artspezifisch.

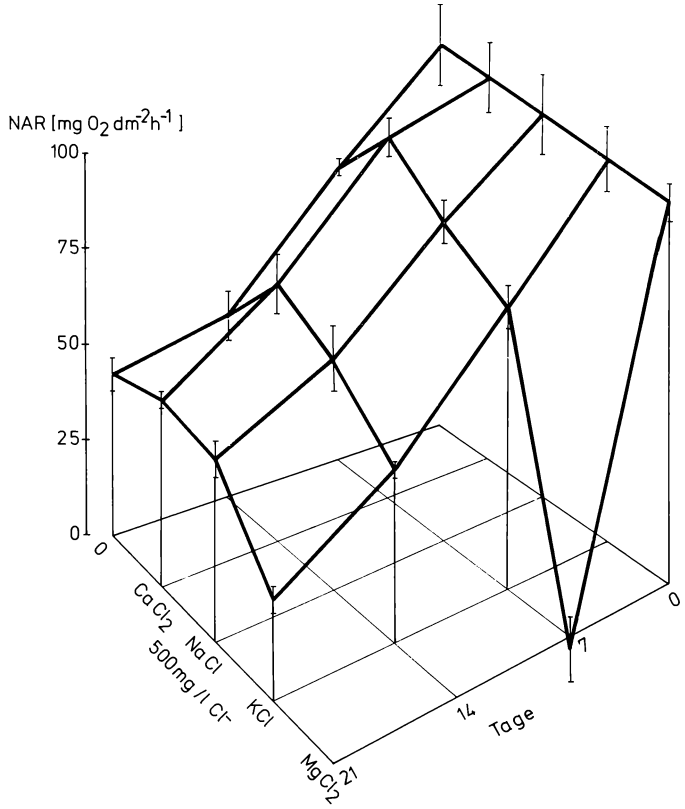

Abb. 5: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanze: *Elodea canadensis*
Testsubstanz: Chlorid (500 mg Cl^-/l)
Darstellung: Nettoassimilationsrate in % der Ausgangsleistung
$n = 8$, $\mathrm{I} = \bar{x} \pm t s_m$ ($P = 5\%$)

5. Zusammenfassung

In einer Aquarienanlage zur Fließgewässersimulation werden apikale Sprosse der submersen Weichwasserpflanzen *Myriophyllum alterniflorum*, *Ranunculus peltatus* und *Elodea canadensis* unter kontrollierten Bedingungen 3 Wochen mit Chlorid belastet. Als Schadmaß dient die Veränderung der Nettoassimilationsrate, die mit einer Sauerstoffelektrode in einer Kunststoff-Druckküvette wöchentlich ermittelt wird.

Die Versuche mit steigenden Cl^--Konzentrationen (0 bis 1200 bzw. 2500 mg Cl^-/l) deuten bei 1000 mg Cl^-/l eine Schädigung von *Myriophyllum alterniflorum* an, die bei *Elodea canadensis* signifikant nachgewiesen werden kann.

In Versuchen mit verschiedenen Begleitkationen (je 500 mg Cl^-/l als NaCl, KCl, $CaCl_2$ und $MgCl_2$) führt $MgCl_2$ bei *Ranunculus peltatus* ebenso wie bei *Elodea canadensis* nach 7 Belastungstagen zu Totalschäden. KCl wirkt bei *Elodea* stärker hemmend auf die NAR als $CaCl_2$ und NaCl.

Die Wirkung der Salzbelastung submerser Weichwassermakrophyten kann somit pauschal nicht beurteilt werden. Eine Schädigung im Bereich umweltrelevanter Cl-Konzentrationen ist für oligo- wie eutraphente Arten nachgewiesen. Bei Submersen, die regelmäßig zur Blüte kommen, muß bei der Schadbeurteilung das Entwicklungsstadium der Pflanze im Versuchszeitraum berücksichtigt werden. Der Unterschied hierin scheint mehr ins Gewicht zu fallen als eine artspezifische Differenzierung.

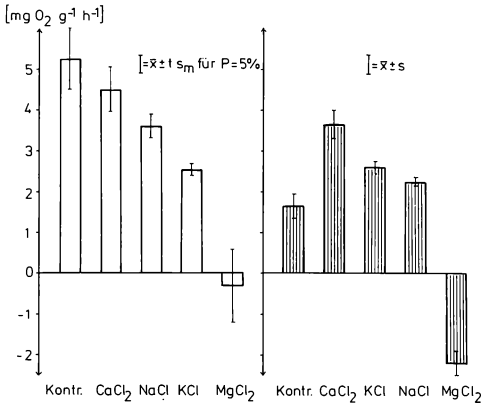

Abb. 6: Aquarienversuch: Salz
Versuchspflanzen: *Elodea canadensis* ▭
Ranunculus peltatus ▥
Testsubstanz: Chlorid (500 mg Cl^-/l)
Darstellung: $\frac{\text{Nettoassimilationsrate}}{\text{Trockengewicht}}$ nach 7 ($MgCl_2$) bzw. 21 Belastungstagen

Literatur

GAST B., 1976: Chloridbelastungen von submersen Süßwassermakrophyten am Beispiel von *Groenlandia densa*. Diplomarbeit Univ. Hohenheim (Inst. f. Landeskultur u. Pflanzenökologie).

GLÄNZER U., 1974: Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten submerser Makrophyten bei NH_4^+-Belastung. Verh. Ges. f. Ökologie (Saarbrücken 1973): 175-179.

HANES R.E., ZELAZNY L.W., BLASER R.G., 1970: Effects of deicing salt on water quality and biota. Nat. Coop. Highw. Res. Prog. Rep. 91.

HÖLL K., 1970: Wasser. Berlin.

HOIGNÉ J., 1974: Auswirkung der Straßensalzung auf die Gewässer. Zusammenfassung der Ergebnisse einer Studie. Schweizerhalle.

KOHLER A., ZELTNER G.-H., 1974 : Verbreitung und Ökologie von Makrophyten in Weichwasserflüssen des Oberpfälzer Waldes (Naab, Pfreimd und Schwarzach). Hoppea 33: 171-232.

- , 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren für Belastungen von Fließgewässer-Ökosystemen. Verh. Ges. f. Ökologie (Wien 1975): 225-276.

KREEB K., 1960: Salzschädigungen bei Kulturpflanzen. Z. Pfl.-Krankh. 67: 385-399.

LABUS B., SCHUSTER H., NOBEL W., KOHLER A., 1977: Wirkung von toxischen Abwasserkomponenten auf submerse Makrophyten. Angew. Botanik 51: 17-36.

MAIWALD K., 1927: Die Wirkung hoher K- und Cl-Gaben auf Wachstum, Blattgrüngehalt und Ertrag von Kartoffeln. Z. Pfl.-Ernähr., Düng. 9A: 57-98.

MEINCK F., STOOF H., KOHLSCHLÜTER H., 1968: Industrie-Abwässer. Stuttgart.

RENNER E., 1970: Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung. Berlin/Hamburg.

SCHUPHAN W., 1940: Über den Einfluß der Chlorid- und Sulfatdüngung auf Ertrag, Marktgängigkeit etc. Z. Bodenk., Pfl.-Ernähr. 19: 265-315.

SCHUSTER H., KOHLER A., KREEB K., 1977: Eine neue Methode zur Bestimmung der Belastbarkeit von submersen Makrophyten. Verh. Ges. f. Ökologie (Göttingen 1976): 331-341.

ZIEMANN H., 1972: Der Einfluß der Versalzung auf Biozönose und Leistungspotential der Binnengewässer. Fortbildungskurs (14.-16.2.72, Sektion Wasserwesen TU Dresden) Aktuelle Probleme der Gewässergütewirtschaft: 33-41.

Adressen

Dipl.-Agrarbiol. Willfried Nobel
Falkenweg 12

D-7024 Filderstadt 1

Prof. Dr. Alexander Kohler
Inst. f. Landeskultur u. Pflanzenökologie
d. Universität Hohenheim (O5200)
Postfach 106

D-7000 Stuttgart 70

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: 7_1978

Autor(en)/Author(s): Nobel Winfried, Kohler Alexander

Artikel/Article: Die Wirkung der Salzbelastung auf submerse Weichwasser-Makrophyten unter Laborbedingungen 273-279