

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Einwirkungen des Salzgehaltes auf Vermehrung und Wachstum bei *Lemna minor*¹⁾.

VON A. REMANE und G. LÄSSIG

Während über die Wirkungen verringerten Salzgehaltes auf Meeresorganismen schon eine Fülle von Untersuchungen vorliegen, ist das Verhalten von Süßwasser-Organismen gegenüber dem Meerwasser viel weniger bearbeitet. Zwar haben besonders die Botaniker eine Fülle von Ergebnissen über die Wirkung von Salzen bzw. Ionen auf die Pflanzenzelle erarbeitet, aber die Verwertung dieser Ergebnisse für die ökologischen Brackwasser-Probleme ist erst unvollkommen durchführbar. Die vorliegende Arbeit geht daher von den ökologischen Phänomenen aus und will prüfen, inwieweit sie experimentell bestätigt werden können.

Eine Übersicht (vgl. REMANE und SCHLIEPER 1958) hatte folgende ökologische Phänomene ergeben. 1. Ein viel rascherer Abfall der Artenzahl limnischer Organismen an der Grenze Süßwasser—Brackwasser. 2. Wachstum bzw. Größe vieler limnischer Organismen haben ihr Optimum nicht im Süßwasser sondern bei 1—2‰ Salzgehalt. Abänderungen der Größe und Fortpflanzungsart sind vorhanden, aber offenbar von Art zu Art verschieden.

Für die Erklärung dieser ökologischen Phänomene war zur Diskussion gestellt: 1. Inwieweit wirkt der Salzgehalt an sich? 2. Inwieweit wirkt der Wechsel des Salzgehaltes (Poikilohalinie), der im Grenzgebiet Süßwasser—Brackwasser natürlich stark ist? 3. Inwieweit wirkt die Verschiebung des relativen Ionengehaltes?

Für die Untersuchung dieser Fragen wurden Lebewesen gewählt, die im Laboratorium leicht über Generationen gezüchtet werden können. Bei Untersuchung von Individuen, meist auch nur in einer Phase ihres Lebens (erwachsene Tiere), besteht die Gefahr, daß Schockwirkungen, Adaptationen und Praeadaptationen die ökologischen Auswertungen der beobachteten Reaktionen erschweren; es besteht auch die Möglichkeit, daß die ökologisch wichtigen Unterschiede gerade auf Stadien (z. B. Larvenstadien, Embryonalphase) liegen, die nicht untersucht wurden.

Zur Beantwortung der oben genannten Fragen hatten P. und R. Ax (1960) im Zoologischen Institut Kiel in verschiedenen Kulturgefäßen mit abgestuftem Salzgehalt nach Impfung das Auftreten und die Verbreitung zahlreicher Ciliaten geprüft. Diese waren in den betreffenden Medien aufgewachsen und haben sich über Generationen darin fortgepflanzt. Salzgehalt und auch pH-Wert usw. waren konstant gehalten, so daß die Einwirkung des Salzgehaltswechsels ausgeschaltet war. In diesen Experimenten wurde die in der Natur beobachtete rasche Abnahme limnischer Arten bestätigt: „Von den 26 Süßwasserciliaten erreichen 5 Arten noch eine Salzgehaltskonzentration von 5‰. Nur *Euplotes affinis* überschreitet die kritische Grenze von 8‰ Salzgehalt“. Mehrere Süßwasserciliaten hatten auch in diesen Kulturen ihr Optimum nicht in reinem Süßwasser, sondern in schwachem Brackwasser von 1‰; sie zeigten also die Erscheinung der Brackwasser-Stimulation (*Metopus spiralis*, *Frontonia leucas*, *Spirostomum ambiguum*, *Sp. intermedium*, *Paramecium caudatum*).

In den Versuchen, über die anschließend berichtet wird, wurde eine limnische Pflanzengattung gewählt, 1. um die Schwierigkeiten gleichartiger Ernährung, die bei Tieren oft bestehen, zu vermeiden, 2. um zu prüfen, ob sich bei Pflanzen im Experiment die gleichen Phänomene zeigen wie bei Tieren.

¹⁾ Mit dankenswerter Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Die Wahl fiel auf die Lemnaceen, weil sie sich leicht kultivieren lassen und Arten mit verschiedener Lebensweise enthalten (*Lemna trisulca* untergetaucht, *L. minor*, *Spirodela polyrrhiza* mit Schwimmblättern, aber mit ins Wasser ragenden Wurzeln, *Wolffia arrhiza* nur mit Schwimmblättern ohne Wurzeln). Da die einzelnen Arten verschiedene Kulturanprüche stellen, wurde zunächst mit *Lemna minor* gearbeitet; die Ergebnisse mit den anderen Arten werden anhangsweise kurz erwähnt (Seite 227).

Viele Einzelpflanzen von *Lemna minor* verschiedener Herkunft aus Süß- und Brackwasser wurden zunächst in der von KANDELER speziell für *Lemna* angegebenen Nährlösung (0,4 g KNO_3 , 0,2 g KH_2PO_4 , 0,3 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, 0,61 g CaCl_2 , 0,3 mg $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, 0,5 mg H_3BO_3 , 5 mg Eisenzitrat, 1000 g Wasser) zu Klonen herangezogen. Von den verschiedenen Klonen wurde einer ausgewählt, der sich durch ein gutes gleichmäßiges Wachstum auszeichnete und im Gegensatz zu vielen anderen sehr gleichförmige „Blätter“ hervorbrachte. Durch die Wahl eines Klons für die Experimente war die Sicherheit erbeinheitlichen Materials gegeben. Blütenbildung trat in den salzhaltigen Kulturen nicht auf, die Pflanzen vermehrten sich rein vegetativ. Für die Untersuchungen wurden salzhaltige Medien mit den Konzentrationsstufen 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16‰ angesetzt. Eine angesetzte Salzstammllösung wurde mit einem Gemisch von 4 Teilen Kieler Leitungswasser¹⁾ und 1 Teil destilliertem Wasser so verdünnt, daß die angeführten Salzstufen entstanden. Der pH-Wert der Versuchslösungen bewegte sich zwischen 7,5 und 8,6. Die Versuche wurden bei höherer Temperatur (25—29° C) und mittlerer Temperatur (17—18° C) durchgeführt. Als Lichtquelle dienten Osram-Leuchtröhren HNW 202, 40 W, ksy. Es wurden Langtagversuche (18 Stunden Licht, 6 Stunden Dunkelheit) und Normaltagversuche (12 Stunden Licht und 12 Stunden Dunkelheit) durchgeführt.

Lemna minor erreicht nach H. LUTHER (1951) in Finnland ihre Salzgehaltsgrenze bei 2,3‰ in Gebieten von relativ konstantem Salzgehalt (Ekenäs-Gebiet) und bei 2,5‰ in Gebieten mit stark wechselndem Salzgehalt (Randersfjord).

Kulturen in Nordseewasser (aus Büsum-Meersalz)

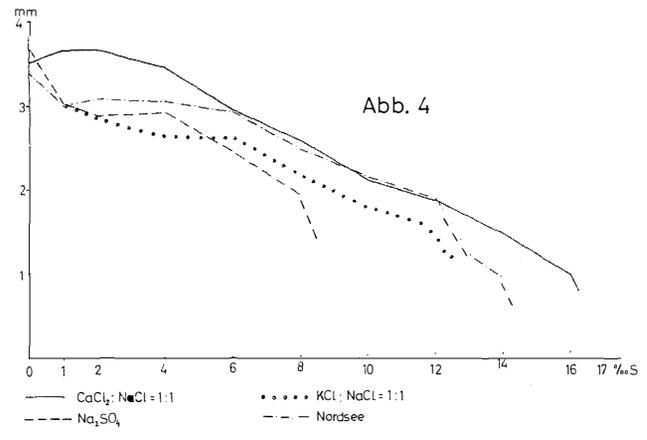
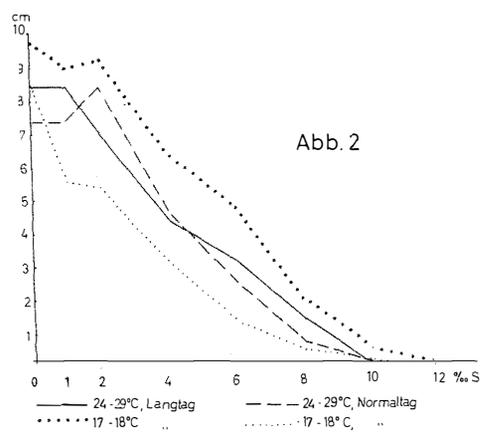
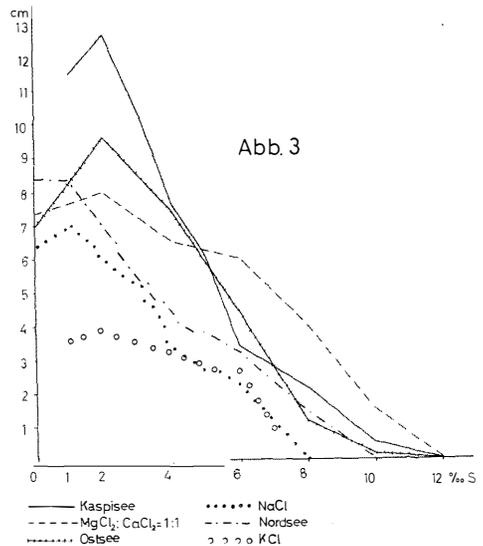
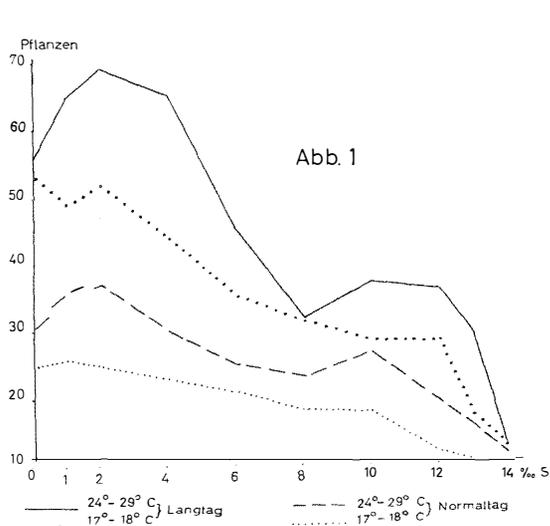
Vermehrungsrate: Die Kulturen in verschiedenen Salzgehaltsstufen von Nordsee-Meersalz als Salzlieferant ergaben zunächst das überraschende Ergebnis, daß *Lemna minor* bis ca. 14‰ Salzgehalt lebend blieb und sogar noch neue Blätter bildete. Nach 10 Tagen waren im Bereich zwischen 12 und 14‰ an der Hälfte der Blätter große Bezirke gelb. Trotzdem erzeugten diese fast abgestorbenen Blätter noch neue Sprosse. Die Vermehrungsrate von Kulturen, in die 10 Pflanzen (mit Einzelblättern) eingesetzt wurden, innerhalb von 20 Tagen zeigt Abb. 1. Aus den Kurven ist zunächst zu ersehen, daß die Vermehrungsrate bei Langtag höher ist als bei Normaltag und bei hohen

¹⁾ Das Kieler Leitungswasser setzt sich nach Angaben des Hygiene-Instituts, Kiel, zur Zeit folgendermaßen zusammen: $\text{NH}_3 = 0 \text{ mg/l}$, $\text{NO}_2 = 0 \text{ mg/l}$, $\text{NO}_3 = 0 \text{ mg/l}$, $\text{PO}_4 = 0 \text{ mg/l}$, Permanganat-Verbrauch = 13,1 mg/l, Cl = 35,5 mg/l, $\text{SO}_4 = 30 \text{ mg/l}$, Fe = 0,02 mg/l, Mn = 0 mg/l, Ges. Härte = 17,3°, Karb. Härte = 15,8°, Bleib. Härte = 1,5°, Freie $\text{CO}_2 = 22,0 \text{ mg/l}$, Aggr. $\text{CO}_2 = 0 \text{ mg/l}$, pH = 7,5.

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

- Abb. 1: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna minor* in 20 Tagen in Nordseewasser (aus Büsumsalz).
 Abb. 2: Wurzellängen von *Lemna minor* in Nordseewasser (aus Büsumsalz), Maximalwerte.
 Abb. 3: Wurzellängen von *Lemna minor* (Maximalwerte) in verschiedenen Kulturflüssigkeiten im Langtagversuch bei 24—29° C.
 Abb. 4: Blattmodul (Maximalwerte) von *Lemna minor* in verschiedenen Kulturflüssigkeiten im Normaltag bei 24—29° C.

Tafe 11 (zuA. Re mane undG, 1a ssig)



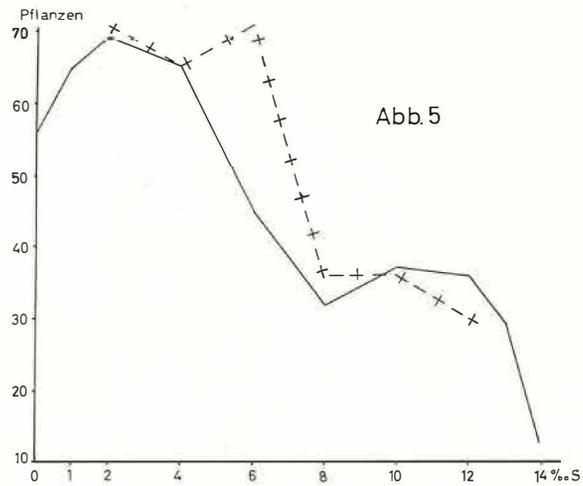


Abb. 5

— 24° - 29° C Langtag, Nordseewasser
 + - + abwechselnd 3 1/2 Tg. Nordseewasser u. 3 1/2 Tg. Süßwasser, 24° - 29° C, Langtag

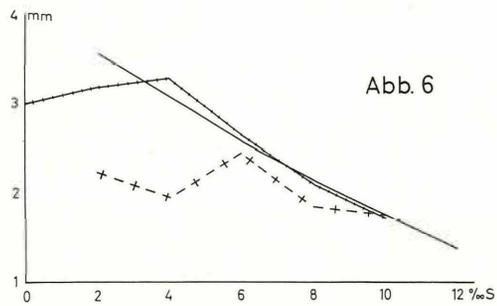


Abb. 6

— Kaspisee + - + abwechselnd 3 1/2 Tg. Nordseewasser u. 3 1/2 Süßwasser

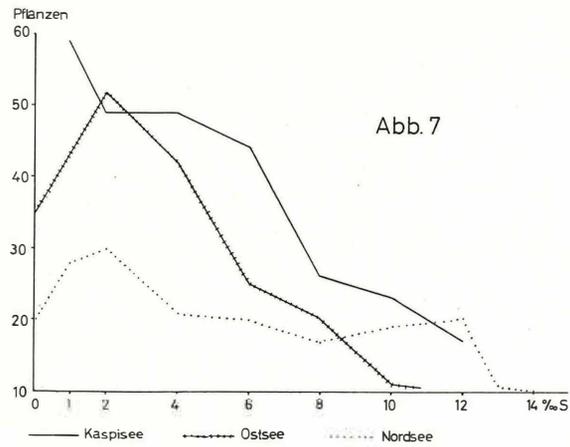


Abb. 7

— Kaspisee + - + Ostsee Nordsee

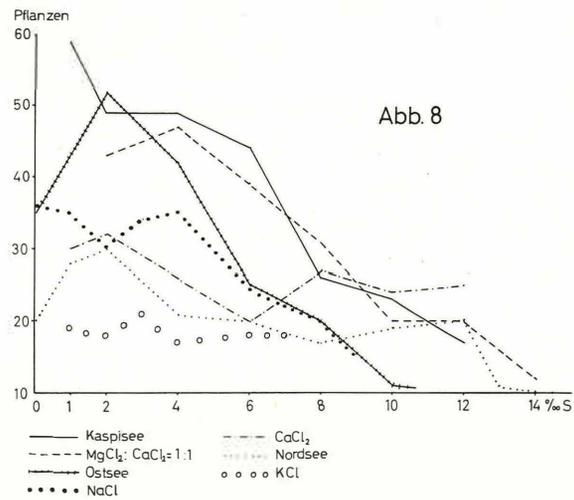


Abb. 8

— Kaspisee + - + Ostsee Nordsee
 - - - CaCl₂
 MgCl₂: CaCl₂=1.1
 ○ ○ ○ KCl
 ● ● ● NaCl

Temperaturen stärker als bei niederen. Dabei ist die Kombination Langtag — niedere Temperatur günstiger als die Kombination Normaltag — hohe Temperaturen. Wichtig für die Probleme des Brackwassers ist der Verlauf der Kurven. Wenn auch die Fähigkeit zur Vermehrung bis zu 14⁰/₀₀ erhalten blieb, so ist die Abnahme der Vermehrung mit zunehmendem Salzgehalt ganz offensichtlich. Sie erfolgt aber nicht gleichmäßig sondern in Schwankungen, die in der Kultur: Langtag — hohe Temperaturen am prägnantesten sind. Eine Steigerung der Vermehrungsrate — also eine Brackwasser-Stimulation — ist im Gebiet 1—2⁰/₀₀ ganz deutlich. Nur der Versuch: Langtag — niedere Temperatur zeigt zunächst ein Absinken bei 1⁰/₀₀. Inwieweit hier reine Zufälligkeiten des Versuchs eine Rolle spielen, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Überraschend ist ferner, daß die Abnahme der Vermehrung im Bereich 8—10⁰/₀₀ unterbrochen oder vermindert wird. In den Langtagskulturen erfolgt sogar wieder eine Zunahme der Vermehrungsrate. Diese Feststellung ist interessant, weil schon eine vergleichend-ökologische Übersicht eine Sonderwirkung dieses Bereichs nahegelegt hatte. Die marinen Organismen nahmen in diesem Bereich schneller in ihrer Artenzahl ab (vgl. REMANE 1933). Umgekehrt zeigen auch limnische Organismen besondere Wirkungen in diesem Bereich: es tritt eine Förderung der Vermehrung bzw. eine Verringerung der Schädigungen des Salzgehaltes auf. Die Ursachen dieser Erscheinung sind vorläufig noch unbekannt. Ab 12⁰/₀₀ Salzgehalt sinkt die Vermehrungsrate rasch, bei 13—14⁰/₀₀ findet kein Anwachsen der Population mehr statt. Zwei Vergleichsuntersuchungen mit *Lemna minor* verschiedener Abstammung ergaben im Normaltag bei 17° und 24—29° C ganz ähnliche Ergebnisse.

Abänderung des Phänotypus: bei *Lemna minor* waren Abänderungen von Größe und Gestalt in den Salzkulturen deutlich. Am auffälligsten ist sie bei der Wurzellänge, die sofort große Unterschiede zwischen den Salzgehaltsstufen erkennen läßt. Die höheren Salzgehaltsstufen ab 10⁰/₀₀ S. waren praktisch ohne Wurzel. Die metrische Darstellung dieser Abnahme ist — wie bei allen wachsenden Organen — nicht leicht. Die Kurven in Abb. 2 stellen das Maximum innerhalb Nordseewasserkulturen unter verschiedenen Temperatur- und Lichtbedingungen dar, die Kurven in Abb. 3 Maximalwerte der Wurzeln verschiedener Kulturflüssigkeiten unter gleichen Temperatur- und Lichtbedingungen. Die Abbildungen zeigen, daß schon im Süßwasser dieser Wert eine gewisse Verschiedenheit zeigt; im Bereich von 1 bis 2⁰/₀₀ ergeben die Werte eine starke Streuung, ohne daß die Tendenz zu einer Brackwasserstimulation klar hervortritt. Die Wurzelbildung endet — wie erwähnt — schon in niederen Salzgehaltsstufen als die Sprossung neuer Blätter, so daß die Pflanzen in den höheren Stufen praktisch wurzellos sind.

Eine zweite auffallende Abweichung ist die Verringerung der Größe der „Blätter“. Hier zeigt die limnische *Lemna* ganz ähnliche Erscheinungen, wie sie von vielen Meerestieren bei abnehmendem Salzgehalt bekannt sind. Die Kurven geben einen Überblick, wie stark die Modifikationen eines Klons werden können. Als Maßstab für die Größe wurde Länge + Breite : 2 (Größenmodul genannt) gewählt. Die Maximalwerte des Größenmoduls der „Blätter“ bei verschiedenem Salzgehalt zeigt Abb. 4. Es ergibt sich,

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

- Abb. 5: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna minor* in 20 Tagen in Nordseewasser gleichbleibender Konzentration und bei 3¹/₂-tägigem Wechsel von Nordseewasser und Süßwasser.
 Abb. 6: Blattmodul (Durchschnittswerte) von *Lemna minor* im Langtag bei 24—29° C.
 Abb. 7: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna minor* in 10 Tagen im Langtagversuch bei 24—29° C in verschiedenen Meerwassern.
 Abb. 8: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna minor* in 10 Tagen im Langtagversuch bei 24—29° C in verschiedenen Salzlösungen.

daß bis 4‰, zum Teil sogar bis 6‰, keine Größenabnahme erfolgt, in 3 von 4 Fällen wurde sogar in diesem Bereich eine schwache Steigerung festgestellt. Von 4—6‰ an erfolgt dann eine gleichmäßige Abnahme der Größe, die bei 12‰ bereits auf weniger als die Hälfte, zum Teil auf ein Drittel abgesunken ist. Die Abnahme der Größe ist von Vorgängen begleitet, die ein Persistieren auf dem Jugendstadium zeigen. Die neuen Sprosse lösten sich nicht von der Mutterpflanze ab, auch dann nicht, wenn sich an den jungen Sprossen selbst schon wieder neue Knospen bildeten. So konnten am Ende des Versuches bis zu 20 „Blätter“ gezählt werden, die fest miteinander verbunden waren. Die jungen Sprosse wuchsen dabei oft schräg aus dem Wasser heraus.

Um die Frage, ob die Reduktion der Größe die Anzahl oder die Größe der Einzelzellen betrifft, zu klären, wurden zahlreiche Oberflächenzellen sowie Zellen der darunterliegenden 2. Schicht an voll ausgewachsenen „Blättern“ von *Lemna trisulca* gemessen (Tab. 1). Die *Lemna trisulca*-Kulturen wurden in Nordseewasser bei einer Temperatur

Tabelle 1
Durchschnittszellgrößen von *Lemna trisulca*
(dahinter in Klammern die Anzahl der ausgemessenen Zellen)

‰	Oberflächenzellen μ^2	Zellen der 2. Schicht μ^2
0	1 002 (43)	3 508 (30)
2	1 293 (34)	4 997 (35)
4	1 109 (48)	5 291 (17)
6	1 015 (20)	2 619 (49)
8	882 (47)	2 528 (8)
10	941 (25)	1 897 (23)

von 17—18° C im Langtag gezüchtet. Bei dieser untergetauchten Form bestätigten die Messungen die Erwartungen: zwischen 2 und 4‰ erreichten die Zellgrößen ihr Maximum. Bei *Lemna minor*, die ebenfalls in Nordseewasser und bei Langtag, aber bei einer Temperatur von 24—29° C gezüchtet wurde, zeigen nur die Zellen der Unterseite eine Größensteigerung bei 2‰, während die Oberflächenzellen von 0 über 2 nach 6‰ hin abnehmen (Tab. 2).

Tabelle 2
Durchschnittszellgrößen von *Lemna minor*
(dahinter in Klammern die Anzahl der ausgemessenen Zellen)

‰	Blattoberseite μ^2	Blattunterseite μ^2	zweitunterste Schicht μ^2
0	1 069 (28)	1 122 (30)	2 340 (29)
2	895 (20)	2 004 (11)	3 660 (30)
6	810 (37)	1 603 (17)	2 405 (34)

Die Wirkung des Salzgehaltswechsels ist in der Natur oft an der verschiedenen Lage des Grenzvorkommens in Regionen mit konstantem Salzgehalt gegenüber Regionen mit wechselndem Salzgehalt erkennbar. Für viele Lebewesen — Tiere wie Pflanzen — ist nachgewiesen, daß bei wechselnder Salinität die Grenze früher erreicht wird, wenn man den durchschnittlichen Salzgehalt des Lebensraumes zum Vergleich heranzieht

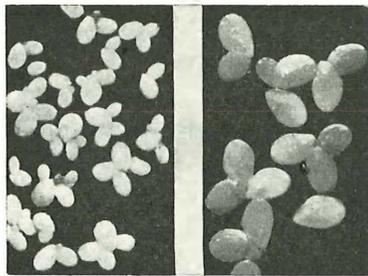
(vgl. REMANE und SCHLIEPER 1958). Theoretisch sind allerdings drei Möglichkeiten gegeben:

1. Der Wechsel des Salzgehaltes wirkt physiologisch als belastender Faktor, sei es, daß die intensive Regulation zusätzliche Energien erfordert oder Bezirke der Salzgehaltsskala vorübergehende Schädigungen hervorrufen. In diesem Fall wird — wie oben angeführt — die Grenze der Art bei wechselndem Salzgehalt früher erreicht als bei konstantem.

2. Die Perioden mit unterdurchschnittlichem Salzgehalt wirken für die limnische Art als Erholungsphasen. In diesem Fall kann die Vorkommengrenze bezogen auf den mittleren Salzgehalt des Milieus bei wechselnder Salinität etwas weiter (ansteigend) reichen als bei konstanter.

3. Eine Art hat in Teilen des Salzgehaltsbereichs gute Wachstumsperioden, ist aber in den ungünstigen Perioden resistent, im Extremfall als Dauerstadium. Auch in diesem Fall wird — da sich das Vorkommen nur nach dem vorhandenen günstigen Bereich richtet — gleichfalls die Grenze der Art in Gebieten mit wechselnder Salinität weiter reichen als in konstantem Milieu.

Es wurde ein Versuch angesetzt, in dem die Pflanzen $3\frac{1}{2}$ Tage in Süßwasser gehalten wurden, und zwar verschiedene Kulturen mit den Salzgehaltskonzentrationen 2, 4, 6, 8, 10, 12 und 14‰ bei Langtag und Temperaturen von $24\text{--}29^\circ\text{C}$. Das Ergebnis zeigt Abb. 5. Die Wechselkultur zeigt bei niederem Salzgehalt ($2\text{--}4\text{‰}$) etwa dieselben Werte für die Vermehrung wie die Kulturen in konstantem Salzgehalt. Im Bereich von 6‰ und in geringem Maße auch bei 8‰ liegt die Vermehrungsintensität aber über der von Kulturen mit konstantem Salzgehalt. Nun darf nicht übersehen werden, daß in dieser Kurve die Werte von Kulturen mit konstantem Salzgehalt von z. B. 6‰ und die Werte der Kultur, die in der Salzphase 6‰ enthielt, auf gleiche Höhe gesetzt wurden. Der durchschnittliche Salzgehalt dieser Wechselkultur beträgt 3‰ ($3\frac{1}{2}$ Tage Süßwasser, $3\frac{1}{2}$ Tage 6‰), und der Vergleich ihrer Vermehrung mit der in konstantem 3‰ -Wasser ergibt etwa gleiche Werte. Oberhalb dieser Konzentration sinken aber die Werte der Wechselkultur sehr rasch ab, so daß *Lemna minor* wohl zu dem Typ I mit verstärkter Schädigung durch Salzgehaltswechsel zu rechnen ist. Der Größenmodul der Blätter lag in der Wechselkultur deutlich unter der der Konstantkultur (Textabbildung), blieb aber im ganzen Bereich $2\text{‰} + 0\text{‰}$ bis $10\text{‰} + 0\text{‰}$ zwischen 1,8 und 2,8 mm mit einem Maximum bei $6\text{‰} + 0\text{‰}$ (Abb. 6).



Lemna minor aus konstantem Salzgehalt von 4‰ (rechts) und einer Kultur mit $3\frac{1}{2}$ -tägigem Wechsel von Süßwasser und Nordseewasser von 4‰ .

Kulturen in salzhaltigen Medien verschiedener chemischer Zusammensetzung

Für die Brackwasser-Phänomene wurde oft die Verschiebung des relativen Ionen-gehaltes verantwortlich gemacht, z. B. für die viel weiter ins Salzwasser reichende Verbreitung vieler pontokaspischer Tiere im Kaspischen See verglichen mit dem Schwarzen Meer (BIRSTEIN). Sicher ist, daß der Ionen-Antagonismus und damit das relative Mengenverhältnis der einzelnen Komponenten ein wichtiger physiologischer Faktor ist. Eine zweite Frage ist es aber, inwieweit diese physiologischen Wirkungen zur Erklärung der Brackwasserphänomene ausreichen. Manches spricht dagegen: das Vorkommen vieler Arten in Gewässern ganz verschiedener Salzzusammensetzung, die gelungene Einbürgerung mariner Organismen im Kaspi-See (ZENKEWITSCH) und im Lac Quarun. W. SCHMITZ kam bei seinen Untersuchungen über die Versalzung der Werra zu dem Ergebnis: „Bei Konzentrationsverhältnissen wie im Küstenbrackwasser oder im Werrawasser besteht doch offenbar ein gut ausbalanciertes Ionenangebot im Außenmedium, dem der tierische Organismus angepaßt ist und bei dem auch ziemlich beträchtliche Veränderungen in der relativen Ionenkonzentration vom Organismus physiologisch reguliert werden können.“ Diese Erkenntnis wurde durch Resistenzversuche an 13 Fischen der Werra gewonnen; die Resistenzgrenze war bei Verwendung von Nordseewasser etwa die gleiche wie bei dem anders zusammengesetzten Werrawasser, bezogen auf den absoluten Salzgehalt.

Die Untersuchung des Problems ist für limnische Organismen viel schwerer als für marine. Das Meerwasser ist überall ein sehr konstantes Salzgemisch, das nur in den Randmeeren (z. B. der Ostsee) geringfügige Abweichungen erfährt. Die Binnengewässer einschließlich der Süßwasser sind aber in dem absoluten wie relativen Gehalt an Ionen sehr verschieden, und demgemäß sind auch die Brackwasser, die durch den Einstrom von Süßwasser in Meerwasser entstehen, sehr verschieden. Die marinen Organismen leben in dieser Beziehung also primär in einem homogenen Milieu, sie treffen aber bei ihrem Vordringen in Mündungsbrackwasser in ein von Ort zu Ort andersartiges Milieu. Die limnischen Organismen leben in einem in dieser Beziehung quantitativ und qualitativ sehr verschiedenem Milieu (saure Moorgewässer, alkalische Wässer usw.) und in vielen Fällen auch in einem wechselnden Milieu (Einfluß starker Regengüsse auf Kleingewässer). Limnische Organismen werden also in eine Vielzahl von ökologisch-physiologischen Typen zerfallen, die der jeweiligen Eigenart ihres speziellen Wohngewässers angepaßt sind. Die Versuche an Einzelarten dürfen also keineswegs sofort allgemeine Gültigkeit beanspruchen.

Die Versuche mit *Lemna minor* ergaben zunächst Resultate, die mehr Probleme aufwerfen als lösen. Trotz dieser Situation seien die bisherigen Ergebnisse kurz mitgeteilt.

a) Versuche mit abweichendem Meerwasser.

Kulturen wurden angesetzt in Nordseewasser (aufgelöstes Meersalz aus Büsum), Ostseewasser aus der Kieler Förde und synthetisch hergestelltem Kaspisalzwater. Dieses hat die Zusammensetzung: 61,475 g NaCl, 1,197 g KCl, 5,601 g CaCl₂, 0,089 g KBr, 28,19 g MgSO₄, 1,4838 g Na₂CO₃.

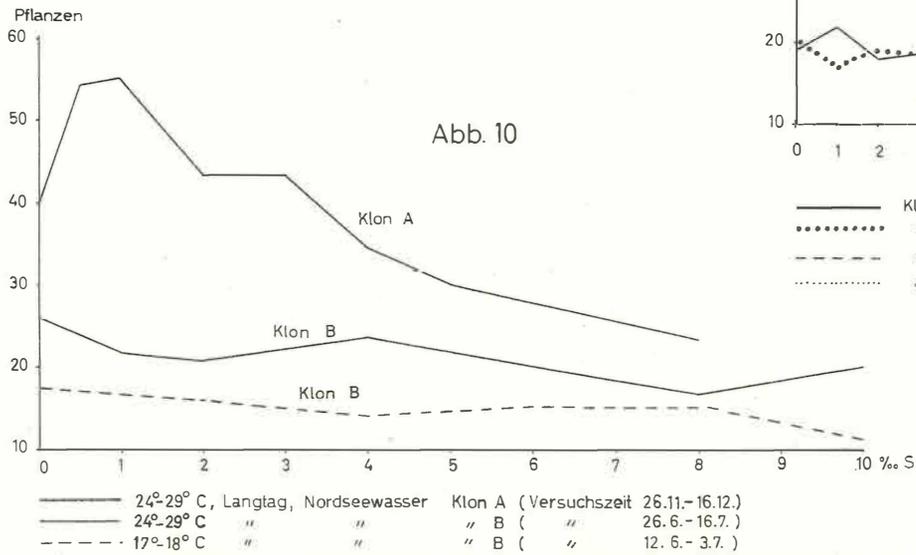
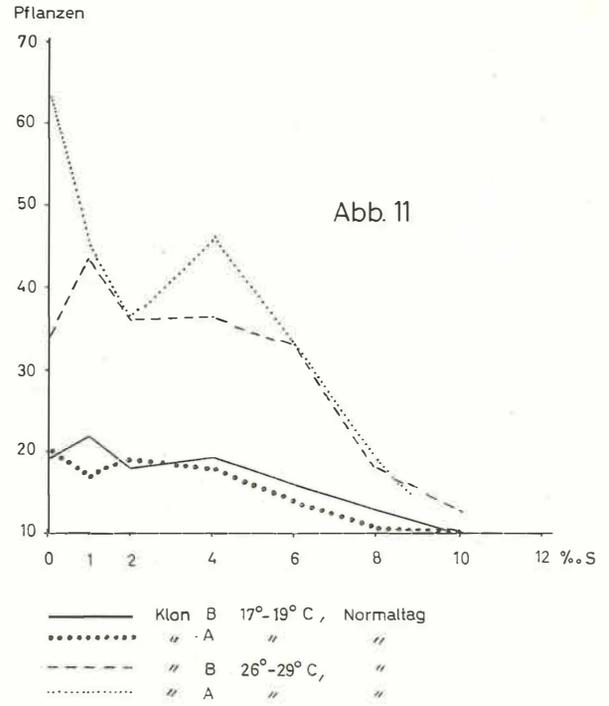
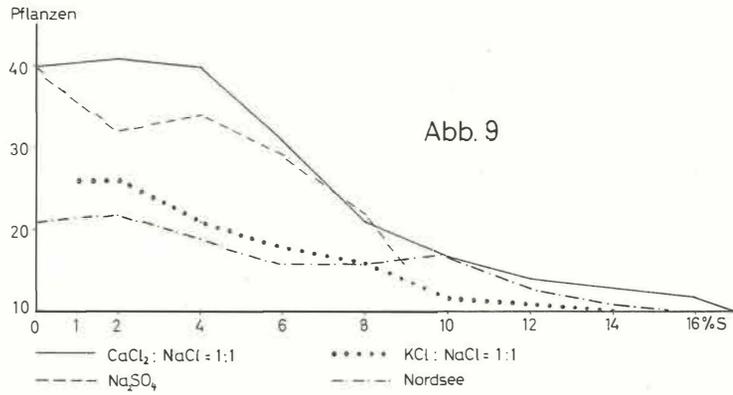
Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 9: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna minor* in 10 Tagen im Normaltagversuch bei 24—29° C in verschiedenen Salzlösungen.

Abb. 10: Vermehrung von 10 Pflanzen *Lemna trisulca* in 20 Tagen in Nordseewasser (aus Büsumsalz).

Abb. 11: Vermehrung von 10 Pflanzen *Wolffia arrhiza* in 20 Tagen in Nordseewasser (aus Büsumsalz).

Tafel 3 (zu A. Remane und G. Lässig)



Die Vermehrungsrate war in diesen Kulturen in Ostseewasser und besonders in Kaspiseewasser viel stärker als in Nordseewasser, doch sinken die Kurven besonders in Ostseewasser in höheren Konzentrationen rascher ab, so daß die Vermehrung schon bei 12‰ ihr Ende findet, während sie bei Nordseewasser bis 14‰ reicht (Abb. 7). Der Aussagewert dieser Versuche muß noch durch Verwendung natürlichen Nordseewassers, künstlichen Ostseewassers und durch Vergleich mehrerer Kulturreihen überprüft werden.

b) Versuche mit einseitigen Salzlösungen.

Um die Wirkung von Salzlösungen verschiedener Zusammensetzung zu überprüfen, wurden einheitliche Lösungen und Lösungen aus zwei Salzen im Verhältnis 1 : 1 verwendet. Die Lösung erfolgte wieder in dem Gemisch aus $\frac{1}{5}$ dest. Wasser und $\frac{4}{5}$ Kieler Leitungswasser, so daß deren Ionenbestand für das Wachstum zur Verfügung stand. Die „einheitliche“ Lösung ist also nur einheitlich durch Zusatz eines Salzes, das allein den Salzgehalt des Kulturwassers oberhalb des Süßwasserbereichs bestimmte. Wider Erwarten gedieh *Lemna minor* in einer NaCl-Kultur bis ca. 8‰, die Vermehrungsrate war im Bereich von 3—8‰ sogar besser als in Nordseewasser, bis 6‰ aber geringer als in Ostseewasser, von 6‰ entsprach sie dem Verhalten im Ostseewasser, d.h. die Vermehrung hörte früher auf als in Nordseewasser (9‰ gegen 13‰) (Abb. 8). Na₂SO₄-Kulturen ergaben bis 8‰ eine bessere Vermehrungsrate als die entsprechende Nordseewasser-Kultur, stellte aber früher (bei 9‰) die Vermehrung ein (Abb. 9). Schlecht war die Lebensfähigkeit in KCl-Kulturen, obwohl eine Vermehrung bis 8‰ vorhanden war. Das Verhalten in CaCl₂-Kultur entsprach etwa dem in Nordseewasser, bei 12‰ war die Vermehrung noch deutlich. MgCl₂-Kulturlösungen führten zum sofortigen Absterben schon bei 1‰.

Diese Versuche zeigten, daß selbst in Medien mit starker Einseitigkeit der Salzgehaltskomponente sich *Lemna minor* noch bis 10 oder sogar ca. 12—13‰ (CaCl₂) nicht nur hält, sondern sogar vermehrt. Ihr Verhalten ist gegenüber den natürlichen Salzgemischen in NaCl-, CaCl₂- und Na₂SO₄-Kulturen so wenig abgeändert, daß eine geringe Verschiebung der Salzanteile kaum als entscheidender ökologischer Faktor in Anspruch genommen werden darf.

Kulturen mit zwei Salzen als Salzgehaltsspender im Verhältnis 1 : 1 hatten durchweg gute Resultate. KCl + NaCl ergab etwa dieselbe Vermehrungsrate wie Nordseewasser, CaCl₂ + NaCl aber eine viel höhere Vermehrung, die bis 16‰ reichte, auch MgCl₂ + CaCl₂ als Salzgehalt liefernde Komponenten ergaben eine ebenso große Zuwachsrate wie im Kaspisee-Wasser, das sich unter den Meerwässern als bestes Medium erwiesen hatte. Auch hier ist die fördernde Wirkung von Calcium offensichtlich. Die „Blätter“ bleiben in solchen Gemischen bis zu 14‰ in einem Zeitraum von 20 Tagen intensiv grün.

Kulturen anderer Lemnaarten

Lemna trisulca war wegen ihrer völlig submersen Lebensweise ein besonders erwünschtes Vergleichsobjekt. Sie wuchs jedoch langsam und es gelang nicht, die Kulturen von Diatomeen und Algen freizuhalten. Zwei Klone, die in Nordseewasser verschiedener Konzentration gehalten wurden, vermehrten sich bis 10‰, Klon B in allen Stufen sehr gleichmäßig, Klon A mit einem deutlichen Gipfel der Kurve bei 0,5 und 1‰ (Abb. 10).

Spirodela polyrrhiza gedieh gleichfalls bis über 10‰ und bildet selbst bei Langtag und hohen Temperaturen in allen Stufen reichlich Dauerstadien (Kulturen im November durchgeführt).

Wolffia arrhiza vermehrte sich in zwei Klonen gleichfalls bis ca. 8—10‰ bei Normaltag und Temperaturen zwischen 26 und 29° C. Der Größenmodul der „Blätter“ betrug

im Maximum in 0, 1, 2 und 4‰ gleichmäßig 1,2 mm, bei 6‰ 1,04 mm und bei 8‰ 0,83 mm. In Klon A waren bei 10‰ sämtliche Pflanzen nach 20 Tagen abgestorben in Klon B waren hier nach 20 Tagen erst 3 Pflanzen abgestorben, es hatten sich aber 3 Knospen gebildet. Bei 12‰ war auch hier alles abgestorben (Abb. 11).

Zusammenfassung

Zur Untersuchung des Salzwassereinflusses auf limnische Organismen wurden Klone von Lemnaceen (speziell *Lemna minor*) in verschiedenen Medien kultiviert.

In Kulturen mit Nordseesalz gedieh *Lemna minor* bis 14‰ (Vorkommensgrenze in der Natur ca. 3‰). Bis zu dieser Konzentration erfolgte die Bildung neuer „Blätter“.

In Salzgehaltskulturen nahm die Länge der Wurzeln ab, die Pflanzen ab 10‰ waren praktisch wurzellos. Es nahm ferner die Größe der „Blätter“ ab. Die Größenabnahme war durch Verkleinerung der Zellen bedingt.

Versuche mit anderen Salzwässern (Ostsee-Wasser, Kaspisee-Wasser) ergab besseres Wachstum, besonders in Kaspisee-Wasser.

Versuche mit einseitigen Salzlösungen ergaben noch gutes Wachstum mit NaCl und besonders CaCl₂, herabgesetzt mit KCl und MgCl₂. Gemische mit zwei Salzen als Salzgehaltsspender ergaben gute Resultate besonders mit Ca-Salzen.

Das relativ gleichmäßige Verhalten in einseitigen Lösungen macht einen Einfluß geringer Verschiebungen der Salzgehaltskomponente auf die Verbreitung von *Lemna* unwahrscheinlich (abgesehen von einer Förderung durch Ca-Steigerung).

In vielen Kulturen ergab sich ein besonders gefördertes Gedeihen (Vermehrung, Wurzellänge, Zellgröße) in schwachen Salzlösungen, also die Erscheinung der Brackwasser-Stimulation. Eine Sonderwirkung des Salzgehaltes bei ca. 8‰ wird in manchen Kulturen erkennbar.

Literaturverzeichnis

- Ax, P. und R. (1960): Experimentelle Untersuchungen über die Salzgehaltstoleranz von Ciliaten aus dem Brackwasser und Süßwasser. — Biol. Zentralbl. 79. — BIRSTEIN, J. A. (1946): Some observations on the geographical distribution of Ponto-Caspian Amphipoda. — Bull. Soc. Nat. Moscou. S. Biol. LI (3). — REMANE, A. und C. SCHLIEPER (1958): Die Biologie des Brackwassers. Schweizerbart, Stuttgart. (Aus der Reihe: Die Binnengewässer, XXII). — SCHMITZ, W. (1957): Über das Ausmaß der Versalzung der Werra und experimentelle Befunde über die Resistenz des Süßwasserfischbestandes. In: Vom Wasser. Ein Jahrbuch für Wasserchemie und Wasserreinigungstechnik.