Zeitschrift: Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

Herausgeber: Geobotanisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

Band: 44 (1975-1976)

Artikel: Ökologische Felduntersuchung bei Wasserlinsen (Lemnaceae) in den südwestlichen Staaten der USA

Autor: Landolt, Elias / Wildi, Otto

Kapitel: 4: Beziehungen zwischen Standort und Verbreitung der Arten

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377687

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

5. *W. globosa, L. valdiviana*

6. *L. turionifera, L. trisulca*

Weniger häufig als erwartet kommen vor allem die Arten mit einem Glied, das demjenigen von *L. minor* ähnlich ist, zusammen vor: *L. minor, L. gibba, L. obscura, L. turionifera, L. paucicostata, S. punctata.* Sie treten offenbar in so starke Konkurrenz zueinander, dass sie sich gebietsweise sogar gegenseitig ausschliessen können.

4. Beziehungen zwischen Standort und Verbreitung der Arten

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse basieren auf 60 verschiedenen Standorten, von denen genügend grosse Wasserproben zur Verfügung standen, um die in Kapitel 2 erwähnten Analysen durchzuführen. Im folgenden wird zunächst eine allgemeine Charakterisierung der Standorte bezüglich der Gesamtheit der Messungen gegeben. Anschliessend sollen die verschiedenen Messwerte einzeln mit den Artvorkommen in Beziehung gesetzt werden.

4.1. *Allgemeine Charakterisierung der Standorte*

Um einen raschen und einfachen Ueberblick über die untersuchten Standorte zu erhalten, wurde zunächst eine Hauptkomponentenanalyse (R-Technik) durchgeführt.

Methode:

Rohdaten: X Matrix der c Standorte mit r Standortsfaktoren

A Matrix mit standardisirten Daten mit den Elementen

$$a_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_i) / (\sum_r (X_{ij} - \bar{X}_i)^2)^{0.5}$$

für j = 1, ..., r

R = AA' Matrix der Korrelationskoeffizienzen zwischen den Stndortsfaktoren

Es folgt die Berechnung der Eigenwerte $\lambda_1, \ldots\ldots\ldots, \lambda_r$

und davon diejenige der Matrix der Eigenfaktoren

$$\alpha_1, \ldots\ldots, \alpha_r$$

Die Matrix der Faktorenwerte der Koordinaten in Abb. 3 und 4, ergibt sich aus

$$Y = \alpha' A$$

Eine Diskussion der Methode im Zusammenhang mit ökologischen Problemen findet sich z.B. bei ORLÓCI (1973).

Die graphische Darstellung der ersten zwei Faktoren der Hauptkomponentenanalyse der Abb. 3 und 4 (Ordination) kann wie folgt interpretiert werden:

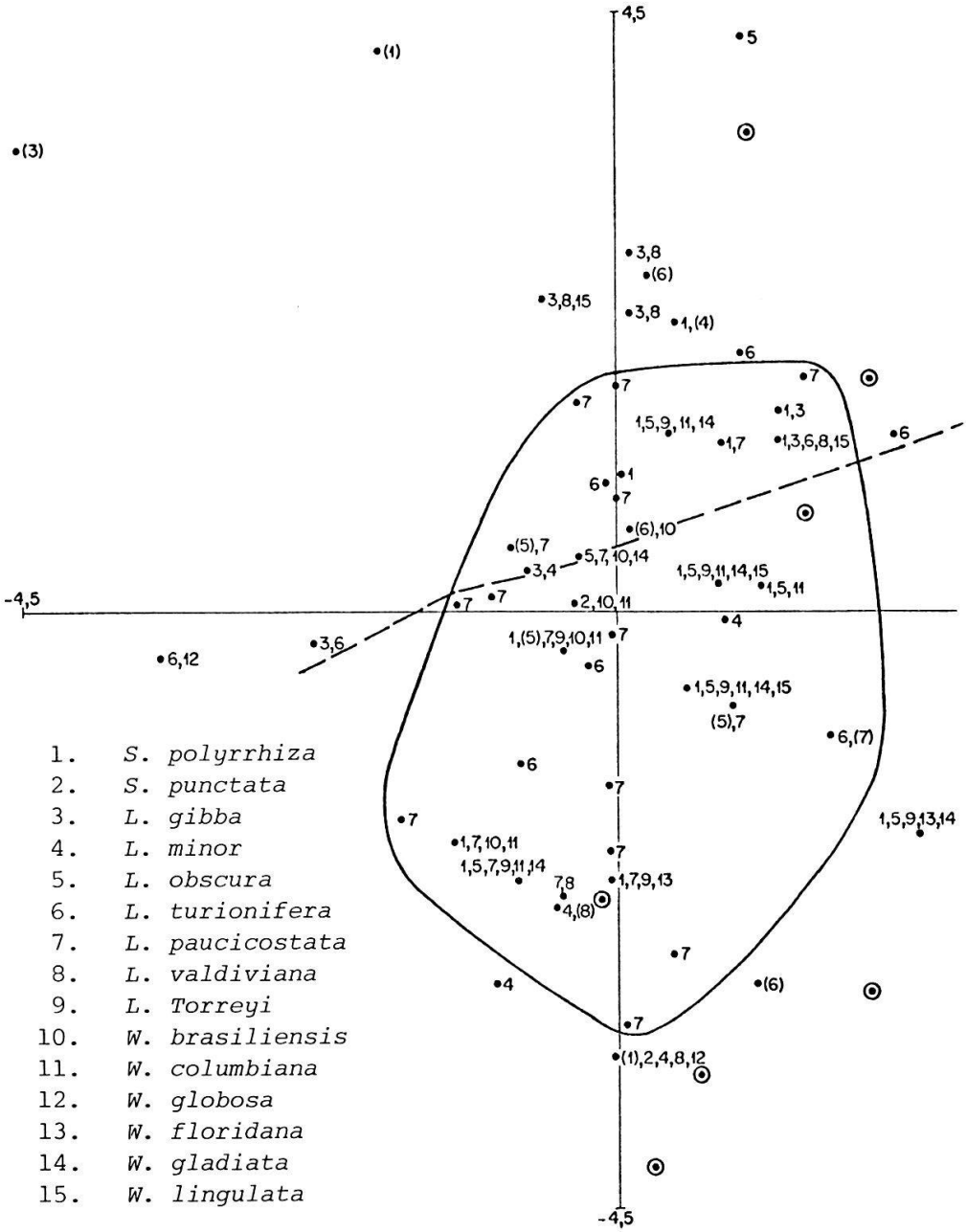
1. Die in der Ordination peripheren Standorte sind oft artenarm und weisen zum Teil auch viele abgestorbene Pflanzen auf, was auf ungünstige Wuchsbedingungen hinweist.

2. Die lemnaceenfreien Standorte befinden sich fast ausnahmslos am rechten und unteren Rand der Ordination. Hier dürften ungünstige Wuchsbedingungen herrschen (z.B. geringe Konzentrationen an Nährstoffen.

3. Keine der Arten ist auf einen engen ökologischen Bereich konzentriert.

4. *Spirodela polyrrhiza* und *Lemna turionifera* sind fast im gesamten Bereich anzutreffen. Bei *L. gibba* erkennt man eine deutliche Beschränkung auf den oberen Teil der Ordination, wogegen *L. paucicostata* die peripheren Bezirke meidet (Abb. 3). *L. Torreyi*, *W. columbiana*, *W. floridana* und *W. gladiata* meiden ebenfalls periphere Bereiche, haben aber ihren Schwerpunkt im unteren Drittel. *L. valdiviana* nimmt in Bezug auf den zweiten Faktor vorwiegend mittlere Standorte, in Bezug auf den ersten Faktor periphere Standorte ein (Abb. 4).

In einem zweiten Schritt wurden durch schrittweise Diskriminanzanalysen verschiedene auf Grund von Abb. 3 vermutete Gruppierungen von Proben auf ihre Trennbarkeit mit Hilfe der hier gemessenen ökologischen Faktoren untersucht. Bei diesem Verfahren wird die Güte der vorgegebenen Klassifikation zu Beginn auch stets durch eine Varianzanalyse getestet.



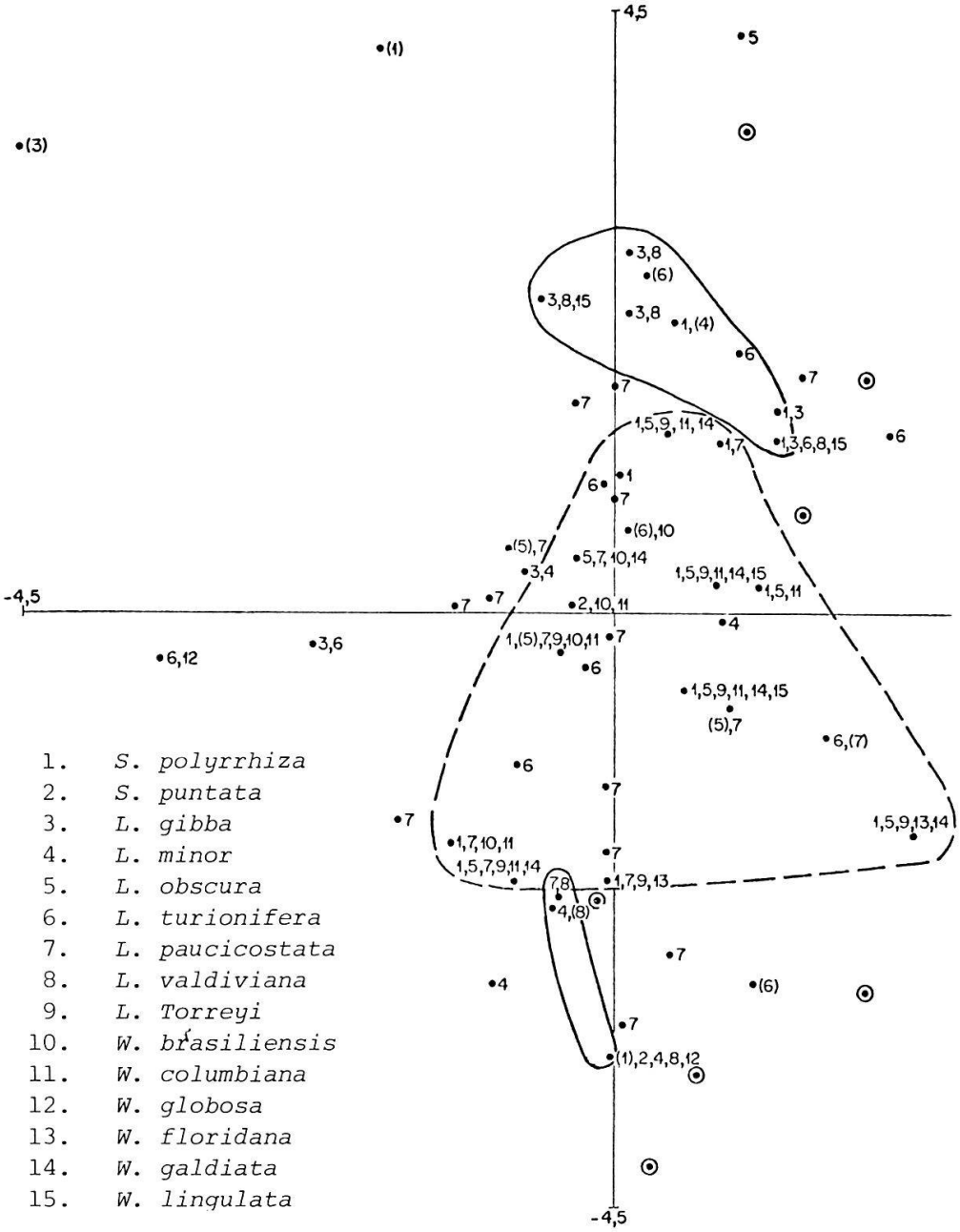
⊙ ohne Lemnaceen
without *Lemnaceae*

——— *L. paucicostata*
— — *L. gibba*

( ) nur sehr wenige oder beschädigte Glieder
fronds only very few or damaged

Abb. 3. Hauptkomponentenanalyse der Lemnaceenfunde. Ordinate: 1. Faktor; Abszisse: 2. Faktor. Innerhalb der ausgezogenen Linie befinden sich Standorte mit *L. paucicostata*, oberhalb der unterbrochenen Linie jene mit *L. gibba*.

Fig. 3. Principal component analyses of the Lemnaceae sites. Ordinate: 1. factor; Abscissa: 2. factor. Sites with L. paucicostata are located within the uninterrupted line, those with L. gibba above the dashed line.



1. *S. polyrrhiza*
2. *S. puntata*
3. *L. gibba*
4. *L. minor*
5. *L. obscura*
6. *L. turionifera*
7. *L. paucicostata*
8. *L. valdiviana*
9. *L. Torreyi*
10. *W. brasiliensis*
11. *W. columbiana*
12. *W. globosa*
13. *W. floridana*
14. *W. galdiata*
15. *W. lingulata*

⊙ ohne Lemnaceen
without Lemnaceae

——— *L. valdiviana*
— — *L.Torreyi,W.columbiana,W.gladiata,W.floridana*

( ) nur sehr wenige oder beschädigte Glieder
fronds only very few or damaged

Abb. 4. Hauptkomponentenanalyse der Lemnaceenfundorte (vgl. Abb. 3). Innerhalb der ausgezogenen Linien befinden sich Standorte mit *L. valdiviana*, innerhalb der unterbrochenen solche mit *L. Torreyi, W. columbiana, W. gladiata* und *W. floridana*.

Fig. 4. Principal component analysis of the Lemnaceae sites. Stands of L. valdiviana are located within the uninterrupted line, those containing L. Torreyi, W. columbiana, W. gladiata and W. floridana inside the dashed lines.

Gute Ergebnisse konnten mit folgenden 2 Unterteilungsarten erzielt werden:

Gruppe 1 : Standorte mit *L. gibba*

Gruppe 2 : restliche Standorte

sowie

Gruppe 1 : Standorte mit *L. gibba*

Gruppe 2 : Standorte mit *W. columbiana*

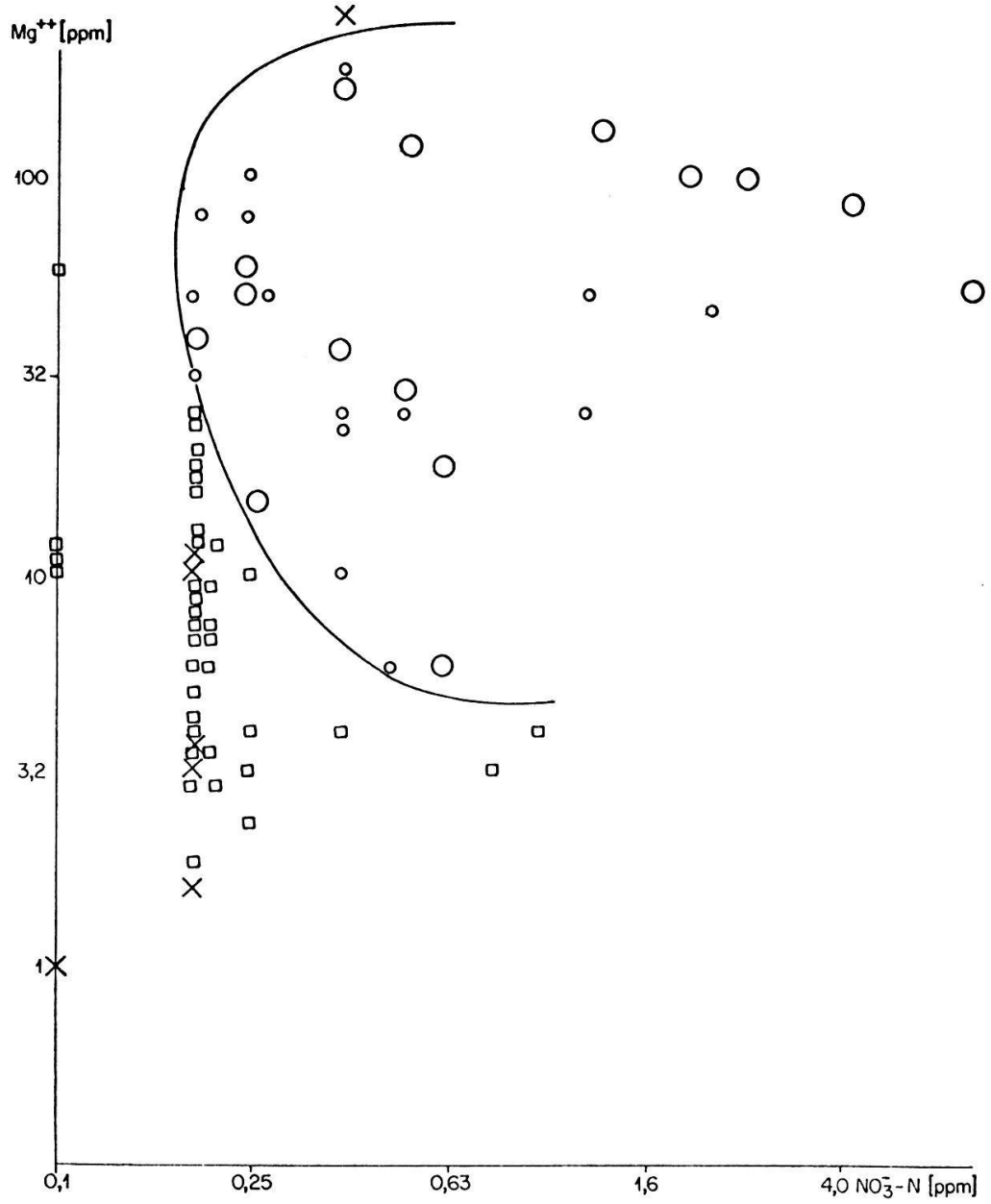
Gruppe 3 : Standorte ohne Lemnaceen

Gruppe 4 : restliche Standorte

Erwartungsgemäss lassen sich in diesem Fall Gruppe 2 und 4 relativ schlecht trennen. Die beste Trennbarkeit lässt sich in beiden Fällen durch log (NO_3-N) erzielen, gefolgt von log (Mg^{++}). Die beiden Faktoren sind auch annähernd unabhängig: r = - 0.089, df = 59 (df = Anzahl Freiheitsgrade). log (NO_3-N) korrelierte bereits in der Hauptkomponentenanalyse hoch mit dem ersten, log (Mg^{++}) hoch negativ mit dem zweiten Faktor. In Abb. 5 wurden sie daher zur direkten Ordination (Messwerte als Koordinaten) verwendet:

- Proben mit *L. gibba* treten nur bei hohen Mg^{++}- und meist hohen NO_3^- - Gehalten auf.
- Wasserproben ohne Lemnaceen befinden sich in der Region mit geringem NO_3^- - oder mit sehr hohem Mg^{++}- Gehalt.
- Alle "*L. gibba*-Standorte" ohne *L. gibba* (kleine Kreise in Abb. 5) liegen mit einer Ausnahme ausserhalb des geographischen (teilweise klimatisch bedingten) Vorkommens von *L. gibba*. Ein einziger Standort in Kalifornien ist jeweils im Winter trocken und kann deshalb von *L. gibba* nicht besiedelt werden.

Es können natürlich irgendwelche mit den am besten trennenden Messungen NO_3-N und Mg^{++} korrelierende Faktoren für diese Befunde mit verantwortlich sein. Daher werden hier noch die Korrelationen mit den restlichen der gemessenen Standortsfaktoren wiedergegeben:



○ Fundorte mit *L. gibba*. - *Sites with L. gibba*.
o "*L. gibba*-Standorte" ohne die Art. - "*L. gibba-habitats*" *without L. gibba*.
X Proben ohne *Lemnaceae*. - *Samples without Lemnaceae*.
□ Restliche Fundorte. - *Remaining sites*.

Abb. 5. Direkte Ordination der Lemnaceenfundorte

Fig. 5. Direct ordination of the Lemnaceae sites

	$\varkappa$	pH	Ca^{++}	Na^{+}	K^{+}	NH_4-N	PO_4-P
NO_3-N	-0.11	0.15	-0.09	0.00	-0.14	0.23	0.13
Mg^{++}	0.89	0.45	0.48	0.74	0.40	-0.34	-0.34

df = 59

NO_3-N ist demzufolge von allen andern Standortsfaktoren sehr unabhängig. Mg^{++} korreliert dagegen hoch mit $\varkappa$, Ca^{++} und Na^{+}. Alle diese Salzkonzentrationen hängen mit der Aridität des Fundortes zusammen.

4.2. *Artverbreitung bezüglich der einzelnen Standortsfaktoren*

In der Abbildung 6 sind die vorgefundenen ökologischen Bereiche für die verschiedenen Arten aufgezeichnet. Mit Ausnahme des pH-Wertes sind die Messdaten logarithmisch transformiert.

4.2.1. *pH - Werte*

Gesamtbereich: 6,4 - 10,4

Es scheint, dass zur Zeit der Exkursion im August und September die Gewässer der südwestlichen Staaten der USA die höchsten pH-Werte während des Jahres aufweisen. Das würde die relativ hohen gemessenen Werte (kein pH unter 6,4) erklären. Nach LANDOLT (1957) ist das mittlere pH der untersuchten kalifornischen Gewässer im September um 1,4 höher als im März (September 6,6; März 5,2). Die niedrigsten pH-Werte wurden damals in der Sierra Nevada gemessen (pH abwärts bis 3,5), von der auf unserer Exkursion keine Proben gesammelt wurden.

Unsere Messungen (1973) sind in Tabelle 2 mit Messungen aus der Literatur verglichen.

Tab. 2. pH-Bereiche der einzelnen Arten in Nordamerika. (In Klammern die Anzahl der berücksichtigten Messungen)
Table 2. Ranges of pH for the North American species. (The numbers of measurements taken into account are given in paranthesis)

Arten	HICKS 1932	LANDOLT 1957 und unveröff.	HARRISON und BEAL 1964	Messungen 1973
S.polyrrhiza	5.8-7.6(148)	5.2-6.8(11)	6.0-8.1(16)	6.6-10.4(21)
S. punctata				6.8- 7.3(2)
L.gibba		5.5-8.0(25)		7.4- 9.8(17)
L.minor	5.0-7.6(180)	5.0-7.5(7)		6.8- 7.7(9)
L.obscura			6.4-6.7(2)	6.6- 7.9(11)
L.turionifera		3.5-8.2(19)		7.1-10.4(21)
L.paucicostata		4.8-8.2(8)	4.5-7.2(33)	6.6- 9.4(4)
L.valdiviana	5.8-7.0(32)	5.0-7.4(26)		6.6- 9.1(14)
L.Torreyi			5.2-7.4(5)	6.6- 7.6(7)
L.trisulca	5.4-7.3(85)	7.2-8.2(3)		
W.borealis	6.1-7.6(41)			
W.brasiliensis			6.1-6.7(3)	6.8- 7.7(8)
W.columbiana	5.8-7.6(85)		6.5-6.7(2)	6.6- 9.8(12)
W.globosa		5.0-7.2(6)		6.8- 7.2(2)
W.floridana	5.0-6.4(22)		6.1-6.7(11)	6.9- 7.0(2)
W.gladiata				6.6- 7.4(6)
W.lingulata		5.2-7.4(41)		6.6- 7.7(14)

Dazu sind folgende Bemerkungen anzubringen: Unter *L. minor* bei HICKS (1932) ist wahrscheinlich auch *L. turionifera* eingeordnet. *W. globosa* wurde bei LANDOLT (1957) fälschlicherweise als *W. punctata* (= *W. borealis*) bezeichnet. Die Arbeit von HARRISON und BEAL (1964) erwähnt auch *S. oligorrhiza* (= *S. punctata*). Nach den Abbildungen in dieser Arbeit handelt es sich aber um *S. polyrrhiza*. Die in der gleichen Arbeit angeführte *L. gibba* kommt in North Carolina nicht vor. Die Angaben wurden deshalb zu *L. obscura* gestellt. Die Angaben für *L. valdiviana* wurden *L. Torreyi* zugeordnet, die in North Carolina verbreitet ist. Da die Unterscheidung zwischen *L. perpusilla* und *L. paucicostata* nirgends durchgeführt wurde, sind alle Angaben unter *L. paucicostata* eingeordnet worden.

Die verschiedenen pH-Messungen sind nicht ohne weiteres vergleichbar, weil sie zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden. Die Messungen von HICKS (1932) erfolgten über das Winterhalbjahr vom Oktober bis Juni, jene von LANDOLT (1957) über das ganze Jahr, unsere von 1973 im August und

September. Bei HARRISON und BEAL (1964) stehen keine Angaben über die Jahreszeit.

Für die einzelnen Arten ergeben sich keine grossen Unterschiede in den pH-Ansprüchen. In Gewässern mit pH 9 wurden in der vorliegenden Untersuchung noch die folgenden Arten beobachtet: *Spirodela polyrrhiza, Lemna gibba, L. turionifera, L. valdiviana, Wolffia columbiana.* Gewässer mit pH über 9,5 enthielten im allgemeinen keine Lemnaceen mehr, oder dann zeigten diese bereits Schädigungen. *L. gibba* ist ausgesprochen häufig bei hohem pH anzutreffen. Tiefe pH-Werte wurden auf unserer Exkursion nie angetroffen. Aus Tab. 2 ist ersichtlich, dass einzig *L. turionifera* bei pH tiefer als 4,5 beobachtet worden ist. Da in den untersuchten Gebieten Gewässer mit niederem pH selten sind, lässt sich über die untere pH-Grenze von Lemnaceen kaum etwas aussagen.

HICKS (1932) führte Experimente mit 3 verschiedenen Nährlösungen ("Clark", "Knop" und "Grone und Shive") durch, die er auf pH-Werte zwischen 1 und 10 pufferte. Er konnte so Grenzwerte für seine Arten herauslesen, bei denen die Pflanzen gerade nicht mehr leben konnten. Seine Ergebnisse bei verschiedenen Lösungen waren identisch und sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3. pH-Wachstumsgrenzwerte nach HICKS (1932)
Table 3. pH-growth limits according to HICKS (1932)

	S.pol.	*L.min.**	*L.val.*	*L.tri.*	*W.bor.*	*W.col.*	*W.flo.*
oberer Grenzwert	8,5	8,0	8,0	8,0	9,0	9,0-10,0	7,0
unterer Grenzwert	5,0	4,0	5,0	5,0	5,5	5,5	4,5

* bezieht sich eventuell teilweise oder ganz auf *L. turionifera.*

In eigenen Kulturversuchen in Hutners Nährlösung (1/10 verdünnt) wurde ebenfalls versucht, die pH-Wachstumsgrenzwerte festzustellen. Die Pflanzen wurden bei 25°C, 16-Stundentag, 30'000 Lux gezogen. Anstelle von NO_3^{--} wurde die äquivalente Menge NH_4^+ angeboten. Durch den Verbrauch von NH_4^+ - und die entsprechende Ausscheidung von H^+-Ionen wird die Nährlösung zunehmend sauer, bis die Glieder absterben. Das pH der Endlösung wurde gemessen

(Tab. 4). Die Variation zwischen Parallelkulturen des gleichen Stammes betrug höchstens 0,2 pH-Einheiten. Zwischen den verschiedenen Stämmen und zwischen den Arten zeigen sich etwas grössere Unterschiede.

Tab. 4. Untere pH-Wachstumsgrenzwerte von amerikanischen Lemnaceen.
Table 4. pH-growth limits for American *Lemnaceae*.

	S.pol.	*L.gib.*	*L.min.*	*L.obs.*	*L.tur.*	*L.pau.*	*L.val.*	*W.lin.*
Grenzwert	3,7	3,9	3,3	3,4	3,4	3,3	3,2	3,5
Standard-abweichung		0,3	0,1	0,1	0,1			
Anzahl Stämme	1	19	16	8	15	1	1	1

Aus den Grenzwertuntersuchungen der Tab. 4 kann gefolgert werden, dass *L. gibba* und eventuell auch *S. polyrrhiza* etwas weniger tiefe pH-Werte ertragen können als die anderen untersuchten Arten. Das entspricht auch den Verhältnissen in der Natur, wo *L. gibba* nie in Gewässern mit pH unter 5,5 angetroffen wurde. Die meisten anderen Arten wuchsen dagegen noch bei etwas tieferem pH.

Die abweichenden Befunde von HICKS (1932) haben möglicherweise ihre Ursache darin, dass seine Nährlösungen keine Chelate enthielten und deshalb bei tieferem pH einzelne Mineralstoffe der Pflanze nicht mehr in löslicher Form anbieten konnten. In der Natur übernehmen wahrscheinlich Humusstoffe teilweise die Funktion von Chelaten. Das würde erklären, warum in der Natur einzelne Lemnaceen-Arten noch ausserhalb der von HICKS gemessenen Grenzen vorkommen können. HARRISON und BEAL (1964) stellten fest, dass in den von ihnen untersuchten Gewässern mit Lemnaceen immer organische Stoffe (0,09 - 0,9 %) vorhanden waren. Die Untersuchungen von HICKS unterscheiden sich zudem von unseren dadurch, dass er eine längere zeitliche Einwirkung der Lösungen mit verschiedenem pH auf die Pflanze prüfte, während sich bei uns das pH der Lösung innerhalb weniger Tage bis zum Absterben der Pflanzen verringerte. Auch MC LAY (1976) hat für die von ihm experimentell untersuchten Arten (*S. punctata, L. minor*) bedeutend tiefere und höhere Grenzwerte herausgefunden als HICKS (unterer pH-Wert 3 - 4, oberer pH-Wert 10,5).

4.2.2. *Elektrische Leitfähigkeit ($\varkappa$)*

Gemessener Gesamtbereich ($\varkappa$): 55 - 4400 (10-6 $\Omega^{-1}cm^{-1}$)

Die spezifische Leitfähigkeit, die unter anderem ein Ausdruck der Ionenkonzentration ist, dürfte für die Mehrzahl der Gewässer des Südwestens der USA im September am höchsten sein. In Kalifornien wurden 1954 in tieferen Lagen im Mai meist 5 - 10mal geringere Leitfähigkeiten gemessen als im September (LANDOLT, nicht publiziert). Die höchsten Werte der Gewässer mit Lemnaceen betrugen damals $\varkappa$ = 6000, die niedersten ebenfalls 55. Gewässer mit Leitfähigkeiten $\varkappa$ < 100 enthielten nur Lemnaceen, wenn das Wasser floss. In den Niederlanden fanden DE LANGE und SEGAL (1968) Lemnaceen in Gewässern zwischen $\varkappa$ = 10 und 6600.

Im allgemeinen zeigte jede Art eine relativ grosse Toleranz gegenüber verschiedenen Gewässerkonzentrationen. Immerhin wurden einzelne Unterschiede beobachtet. So wachsen offenbar *S. punctata, L. minor, L. Torreyi, W. brasiliensis, W. gladiata* und *W. floridana* vor allem in Gewässern mit geringeren Konzentrationen. Von diesen Arten wurden keine Proben in Gewässern mit $\varkappa$ > 750 gefunden. Umgekehrt konnte *L. gibba* nie in Gewässern mit $\varkappa$ < 200 beobachtet werden.

4.2.3. *Na^+-Gehalt (Salinität)*

Gemessener Gesamtbereich: 4,2 - 1000 mg Na^+/l (entspricht einer NaCl-Konzentration von 0,01 bis 2,5 o/oo)

Der Na^+-Gehalt der Gewässer ist besonders in Na-Konzentrationen über 70 mg/l sehr eng mit der elektrischen Leitfähigkeit korreliert (vgl. z.B. DE LANGE 1972 dargestellt an der Korrelation mit dem Cl^--Gehalt). Entsprechend ertragen die gleichen Arten sowohl hohe Na^+-Konzentrationen wie hohe Leitfähigkeiten (besonders *L. gibba, L. obscura, S. polyrrhiza*). Alle Arten wachsen auch in Lösungen mit geringem Na^+-Gehalt. Der geringste Gehalt an Na^+, bei dem noch Lemnaceen wuchsen, betrug 7 mg/l; in 2 Gewässern mit 4,2 und 5,5 mg/l Na^+ waren keine Lemnaceen zu finden; die 3 Gewässer mit dem niedrigsten Gehalt an Na^+, die noch Lemnaceen führten (7,0 mg/l; 8,5 mg/l; 9,0 mg/l), waren fliessend. Da der geringe Na^+-Gehalt mit niederem K^+-

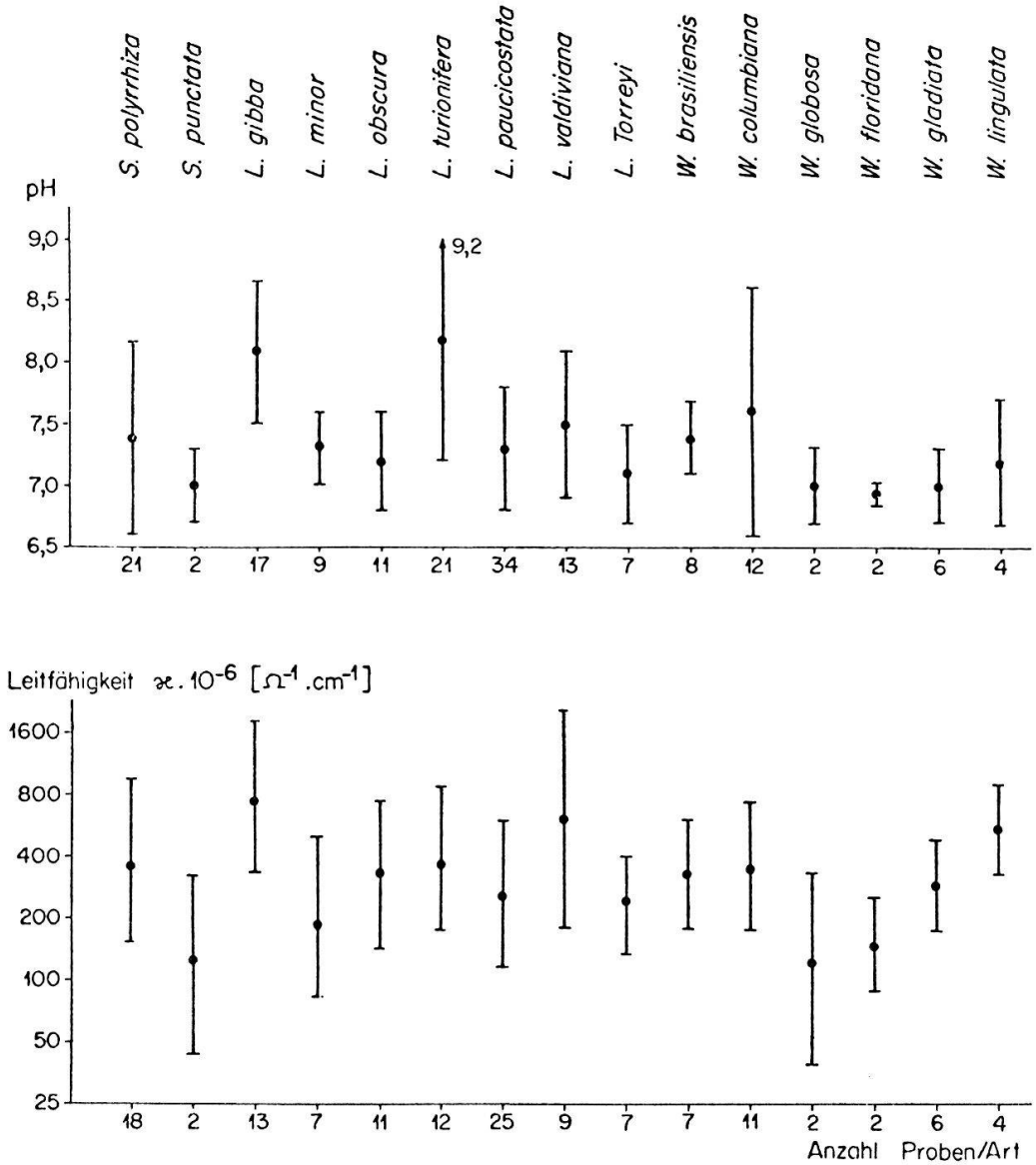
Abb. 6. Chemische Analysen von Gewässern, in denen Lemnaceen gefunden wurden.

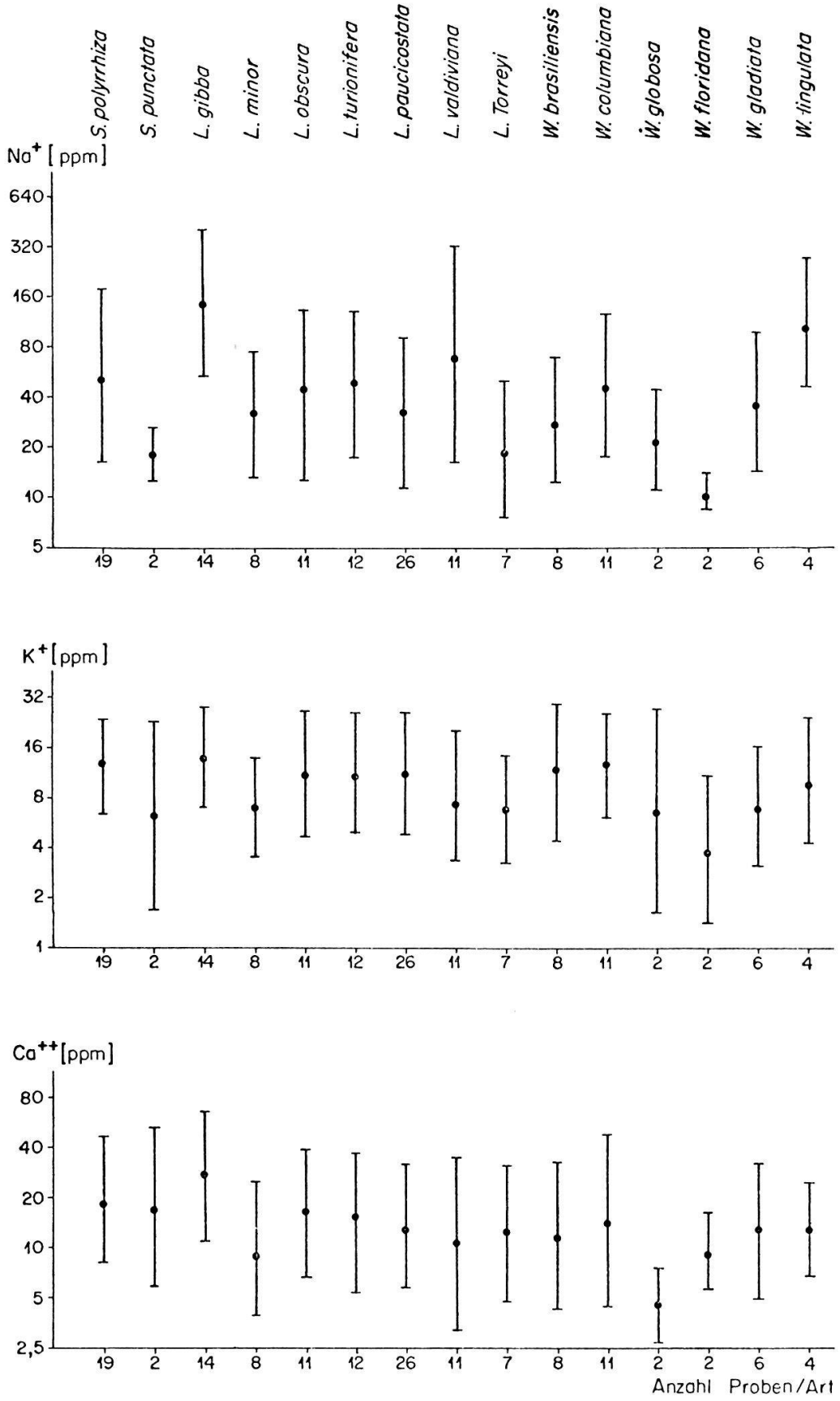
Fig. 6. Chemical measurements of water samples from Lemnaceae sites.

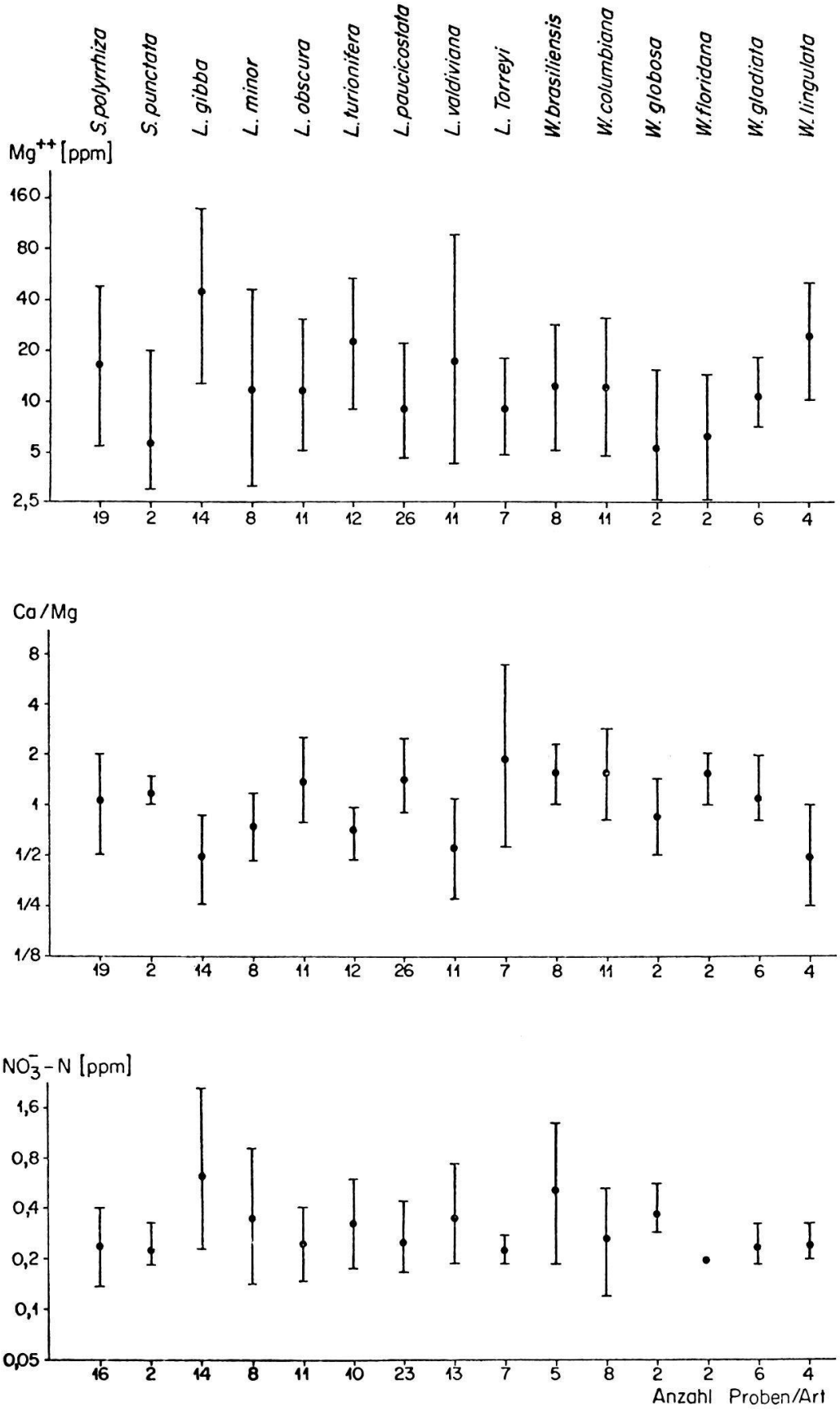
● Mittelwerte
means

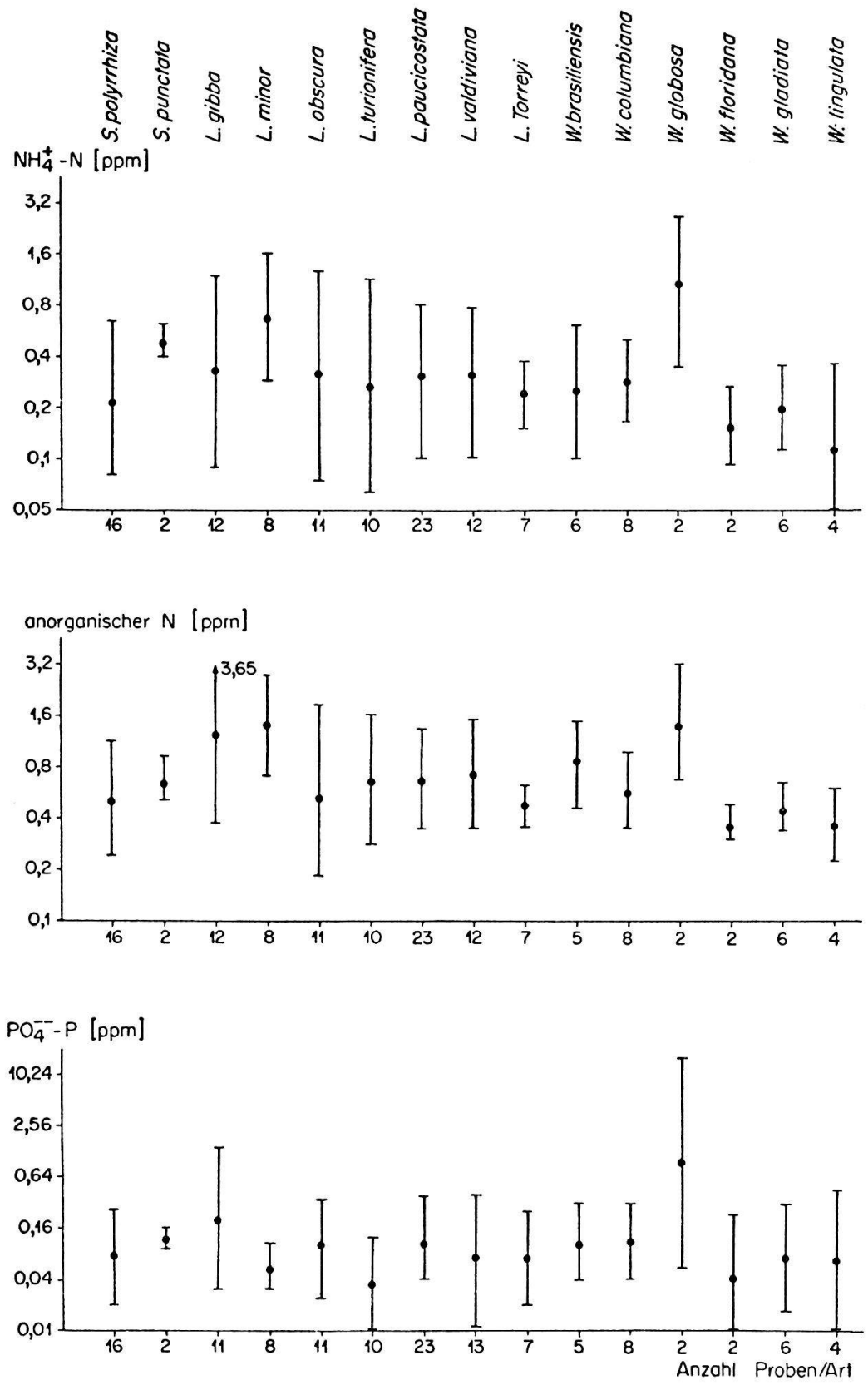
I Standardabweichung
standard deviation

N Anzahl Proben pro Art
number of samples per species




S. polyrrhiza
S. punctata
L. gibba
L. minor
L. obscura
L. turionifera
L. paucicostata
L. valdiviana
L. Torreyi
W. brasiliensis
W. columbiana
W. globosa
W. floridana
W. gladiata
W. tingulata
Na+ [ppm]
640
320
160
80
40
20
10
5
19 2 14 8 11 12 26 11 7 8 11 2 2 6 4
K+ [ppm]
32
16
8
4
2
1
19 2 14 8 11 12 26 11 7 8 11 2 2 6 4
Ca++ [ppm]
80
40
20
10
5
2,5
19 2 14 8 11 12 26 11 7 8 11 2 2 6 4
Anzahl Proben/Art


S. polyrrhiza
S. punctata
L. gibba
L. minor
L. obscura
L. turionifera
L. paucicostata
L. valdiviana
L. Torreyi
W. brasiliensis
W. columbiana
W. globosa
W. floridana
W. gladiata
W. lingulata
Mg++ [ppm]
160
80
40
20
10
5
2,5
19 2 14 8 11 12 26 11 7 8 11 2 2 6 4
Ca/Mg
8
4
2
1
1/2
1/4
1/8
19 2 14 8 11 12 26 11 7 8 11 2 2 6 4
NO3- - N [ppm]
1,6
0,8
0,4
0,2
0,1
0,05
16 2 14 8 11 10 23 13 7 5 8 2 2 6 4
Anzahl Proben/Art


S. polyrrhiza
S. punctata
L. gibba
L. minor
L. obscura
L. turionifera
L. paucicostata
L. valdiviana
L. Torreyi
W. brasiliensis
W. columbiana
W. globosa
W. floridana
W. gladiata
W. lingulata
NH4+ -N [ppm]
3,2
1,6
0,8
0,4
0,2
0,1
0,05
16 2 12 8 11 10 23 12 7 6 8 2 2 6 4
anorganischer N [ppm]
3,2
3,65
1,6
0,8
0,4
0,2
0,1
16 2 12 8 11 10 23 12 7 5 8 2 2 6 4
PO4--P [ppm]
10,24
2,56
0,64
0,16
0,04
0,01
16 2 11 8 11 10 23 13 7 5 8 2 2 6 4
Anzahl Proben/Art

oder Mg^{++}-Gehalt gekoppelt war, ist nicht sicher, ob der niedere Na^{+}-Gehalt für das Fehlen von Lemnaceen verantwortlich ist. Salinitätsangaben über Gewässer mit Lemnaceen liegen verschiedene vor, allerdings als Cl^{-}-Gehalt gemessen. LUTHER (1951) fand in Finnland *L. minor* und *L. trisulca* vereinzelt in Gewässern mit Salinitäten bis zu 4 o/oo und konnte auch für kurze Zeit *Lemna* in Gewässern mit bis zu 6 o/oo beobachten. HARRISON und BEAL (1964) notierten Lemnaceen in North Carolina nur in 50 Gewässern mit einem Salzgehalt zwischen 0,0002 - 1,3 o/oo Lemnaceen innerhalb 748 untersuchter Gewässer mit einem Salzgehalt von 0 - 45 o/oo. DE LANGE und SEGAL (1968) zitierten als obere Grenze von *L. gibba* führenden Gewässern 4,7 o/oo Salzgehalt. HALLER et al (1964) untersuchten in Florida die Wirkung der NaCl-Konzentration auf das Wachstum von *L. minor* (wahrscheinlich handelt es sich um die dort viel häufigere *L. obscura*). Sie stellten fest, dass die *Lemna* in Salzkonzentrationen zwischen 0,83 und 3,33 o/oo besser wuchs als in Salzkonzentrationen von 0,17 o/oo, wie sie am natürlichen Standort vorhanden sind. Erst ab einer Konzentration von 6,66 o/oo nahm ihre Wachstumsgeschwindigkeit ab, und eine Konzentration von 16,65 o/oo wirkte toxisch. Diese Resultate würden bedeuten, dass in der Natur der grösste Teil der *Lemna* führenden Gewässer in bezug auf NaCl-Gehalt suboptimal wären. Es ist allerdings nicht einzusehen, warum dann Lemnaceen nicht häufiger in Gewässern mit hoher Salzkonzentration anzutreffen sind, falls eine relativ hohe NaCl-Konzentration einen günstigen Einfluss ausüben sollte. Da die Untersuchungen von HALLER et al (1974) nur während 4 Wochen und mit Meerwasser durchgeführt wurden, sind auch andere Erklärungen für die Wachstumssteigerung möglich (z.B. nur kurzzeitiger Effekt, Zuführung anderer Nährstoffe, die vorher im Minimum vorhanden waren). Auch STRAUSS (1976) hat bei *L. minor* einen positiven Effekt von NaCl bis zu einer Konzentration von 0,3 o/oo und gutes Wachstum bis 3,5 o/oo festgestellt.

4.2.4. *K^{+}-Gehalt*

Gemessener Gesamtbereich: 1,6 - 53 mg/l

Gewässer mit einem K^{+}-Gehalt unter 2 mg/l enthalten nur noch Lemnaceen, wenn sie fliessen. Verschiedene Arten (*S. polyrrhiza, L. gibba, L. turionifera, L. obscura*) wurden in Gewässern mit einem K^{+}-Gehalt unter 3 mg/l

nicht mehr angetroffen. Umgekehrt wuchsen *L. Torreyi*, *W. gladiata* und *W. floridana* nur in Gewässern mit weniger als 15 mg K^+/l.

4.2.5. *Ca^{++}- und Mg^{++}-Gehalt*

Gemessene Gesamtbereiche: 1,0 - 145 mg/l (Ca^{++})
0,7 - 230 mg/l (Mg^{++})

Ca^{++}- und Mg^{++}-Gehalt sind zwar schwach miteinander korreliert (0,48). Das Verhältnis Ca^{++}/Mg^{++} kann trotzdem zwischen 8 und 0,15 variieren. Auffällig ist der hohe Mg^{++}-Gehalt vieler Gewässer und der meist relativ geringe Ca^{++}-Gehalt. In den Niederlanden ist beispielsweise der mittlere Ca^{++}-Gehalt der von DE LANGE (1972) gemessenen Gewässer (100 mg/l) etwa 4 mal höher, der Mg^{++}-Gehalt (18 mg/l) nur 1/2 so hoch. Gut wachsende Lemnaceen wurden nur in Gewässern mit mehr als 3 mg Ca^{++}/l und mehr als 3 mg Mg^{++}/l angetroffen. In 3 Gewässern mit 2,3 bis 3 mg Ca^{++}/l, und mit 2,3 bis 3,3 mg/Mg^{++}/l wuchsen noch Lemnaceen im fliessenden Wasser. In einem anderen fliessenden Gewässer mit 1,0 mg Ca^{++}/l und 0,7 mg Mg^{++}/l waren noch Lemnaceen vorhanden, aber in sehr schlechtem Zustand. 4 Gewässer mit einem Ca^{++}-Gehalt zwischen 0,8 und 4,8 mg/l und einem Mg^{++}-Gehalt zwischen 1,0 und 3,9 mg/l enthielten keine Lemnaceen. Es scheint, dass in Gewässern mit niedrigem Ca^{++}- und Mg^{++}-Gehalt Lemnaceen nicht gedeihen können. Auf der anderen Seite scheinen zumindest einzelne Arten auch sehr hohe Konzentrationen ertragen zu können. DE LANGE (1972) erwähnt Lemnaceen führende Gewässer mit über 200 mg Ca^{++}/l. Die höchsten Werte für Mg^{++} liegen in den entsprechenden Gewässern der Niederlande nur bei etwa 50 mg/l. In Amerika wurden Gewässer bis zu 145 mg Mg^{++}/l von Lemnaceen besiedelt. Ein einziges Gewässer mit höheren Konzentrationen (230 mg/l) enthielt keine Lemnaceen. Da dieses Gewässer sonst keine extremen Standortsfaktoren aufweist, ist möglicherweise diese hohe Konzentration für die dort in der Gegend vorkommenden Lemnaceen (*L. turionifera*, *L. trisulca*) ein begrenzender Faktor. Die einzelnen Arten unterscheiden sich besonders in ihrem Vorkommen in Gewässern mit verschiedenem Mg^{++}-Gehalt, während der Ca^{++}-Gehalt etwas weniger deutlich die Verteilung der Arten beeinflusst. In Gewässern mit über 100 mg Ca^{++}/l wuchsen nur noch *S. polyrrhiza* und *L. gibba*, in solchen mit über 100 mg Mg^{++}/l nur *L. gibba* und *L. valdiviana*. *L. minor*, *W. brasiliensis* und *W. lingulata* wurden nur in Gewässern mit einem Ca^{++}-Gehalt von weniger als 25 mg/l aufgefun-

den. In Europa ist allerdings *L. minor* auch bei höheren Konzentrationen anzutreffen. *L. Torreyi, W. brasiliensis* und *W. gladiata* wuchsen nur in Gewässern mit einem Mg^{++}-Gehalt unter 30 mg/l. Gewässer mit weniger als 5 mg/l Ca^{++} oder Mg^{++} wurden nur noch von den folgenden Arten besiedelt: *S. punctata, L. minor, L. obscura, L. paucicostata, L. valdiviana, L. Torreyi, W. globosa, W. floridana*. Auch im Ca^{++}/Mg^{++}-Verhältnis der besiedelten Gewässer zeigen sich einige Unterschiede zwischen den Arten. So wachsen in Gewässern mit mehr als 3 mal so viel Mg^{++} wie Ca^{++} nur noch *L. gibba, L. valdiviana* und *W. lingulata*. Gewässer mit mehr Ca^{++} als Mg^{++} werden von diesen Arten im allgemeinen nur selten besiedelt. Das mag allerdings zumindest für *L. gibba* eher an den geringen Mg^{++}-Mengen als an deren Verhältnis zum Ca^{++}-Gehalt liegen. In den Niederlanden ist *L. gibba* ebenfalls vorwiegend an Gewässer mit hohem Mg^{++}-Gehalt gebunden, die Ca^{++}-Mengen können dort aber bis zum 10-fachen der Mg^{++} -Mengen betragen.

4.2.6. *Stickstoffgehalt*

Gemessener Gesamtbereich:	NO_3-Stickstoff	0,1 - 9,2 mg/l
	NH_4-Stickstoff	0,0 - 10,3 mg/l
	$N_{anorg.\ total}$	0,2 - 11,2 mg/l

Der organisch gebundene Stickstoff wurde nicht gemessen. Auch die Gewässer mit der geringsten Konzentration von N enthielten noch Lemnaceen, wobei allerdings nicht feststeht, ob nicht zu anderen Jahreszeiten mehr Stickstoff vorhanden ist. Die bei weitem höchsten Konzentrationen von 9,2 mg NO_3-N/l und 10,3 mg NH_4-N/l wurden je in einem Gewässer mit *L. gibba* bzw. mit *L. obscura* angetroffen. *L. gibba* war gelblich, klein und flach, *L. obscura* teilweise bereits abgestorben. Es scheint, dass ein Gehalt von etwa 10 mg N/l die obere Grenze darstellt, bis zu der ein Lemnaceen-Wachstum noch möglich ist.

Ob der Stickstoff in Form von NO_3^{--} oder NH_4^{+} vorliegt, scheint für die Besiedlung der Gewässer mit Lemnaceen keine Rolle zu spielen. Bei der Diskriminanzanalyse der verschiedenen Gruppierungen von Gewässerproben (Kapitel 4.1.) ist zwar der NO_3-Faktor als der am besten trennende herausgekommen, doch wurde der gesamte anorganische Stickstoff als Faktor nicht

getestet.

Die folgenden Arten sind vorwiegend in stickstoffreichen Gewässern anzutreffen und können vielleicht auch zum Teil als mässige Verschmutzungszeiger betrachtet werden: *L. gibba*, *L. minor* und *W. globosa*. In stickstoffreichen wie auch stickstoffarmen Gewässern kommen vor: *S. polyrrhiza*, *L. obscura*, *L. turionifera*, *L. paucicostata*, *L. valdiviana*, *W. brasiliensis*, *W. columbiana*. *L. Torreyi* und die 3 *Wolffiella*-Arten wurden nie in Gewässer gefunden, die mehr als 0,6 mg N/l enthielten. Sie können möglicherweise als Zeiger für unverschmutzte Gewässer angesehen werden.

4.2.7. *Phosphorgehalt*

Gemessener Gesamtbereich: PO_4-P 0,00 - 9,9 mg/l

Auch in Gewässern mit nicht mehr messbarem Phosphorgehalt treten noch Lemnaceen auf. Aehnlich wie für den Stickstoff muss allerdings berücksichtigt werden, dass der Gehalt an Phosphor im September am Ende der Vegetationsperiode wahrscheinlich sehr niedrig ist, während er anfangs des Sommers möglicherweise höher liegt. Die höchsten Konzentrationen von Phosphor wurden in Gewässern mit *L. gibba* (9,9 mg/l) und *W. globosa*, vermischt mit einzelnen Gliedern von *L. turionifera* (5,2 mg/l),beobachtet. Im allgemeinen zeigten sich aber keine grossen Unterschiede zwischen den Arten.

5. Oekologische und geographische Charakterisierung der in Nordamerika vorkommenden Arten

Aus den erhaltenen Resultaten und nach Angaben aus der Literatur soll versucht werden, die einzelnen Arten in Nordamerika (zwischen Mexiko und Alaska) ökologisch und geographisch zu charakterisieren. Wie bereits früher betont, reicht das Material nur in wenigen Fällen für eine statistisch einwandfreie Erfassung der Arten aus. Es kann deshalb hier lediglich auf die gemessene ökologische Variationsbreite und auf einige Besonderheiten