Einfluss von Calcium und Magnesium auf das Wachstum von mitteleuropäischen Lemnaceen-Arten = Influence of calcium and magnesium upon the growth of duckweeds (Lemnaceae) from Central Europe

Autor(en): **Zimmermann, Maria-Astrid**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **48 (1980)**

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-377706

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, *48* (1981), 120-160.

Einfluss von Calcium und Magnesium auf das Wachstum von mitteleuropäischen Lemnaceen-Arten*

Influence of calcium and magnesium upon the growth of duckweeds (Lemnaceae) from Central Europe

von

Maria-Astrid ZIMMERMANN

Inhalt

1. Einleitung
2. Material und Methoden
3. Ergebnisse
   3.1. Physiologische Untersuchungen
   3.2. Felduntersuchungen
4. Diskussion

Zusammenfassung - Summary

Literatur

*Die Veröffentlichung ist die abgekürzte Form der Diplomarbeit, deren vollständiges Manuskript sich in der Bibliothek des Geobotanischen Institutes, Stiftung Rübel, befindet.

1. Einleitung

Anlass zu den vorliegenden Untersuchungen gab die Arbeit von LANDOLT und WILDI (1977). Darin wird erwähnt, dass einzelne Lemnaceen-Arten in Gewässern mit unterschiedlichen Ca- und Mg-Gehalten vorkommen. Es sollte Aufgabe dieser Arbeit sein, Näheres darüber zu erfahren. Man wollte feststellen, wie und wie stark verschiedene Lemnaceen-Arten auf unterschiedliche Ca- und Mg-Konzentrationen reagieren und ob das Vorkommen einer Art eventuell auch durch das Ca/Mg-Verhältnis beeinflusst wurde.

Zu diesem Zwecke wurden

1. Versuche in der Klimakammer durchgeführt
2. Wasserproben von lemnaführenden und lemnafreien Gewässern analysiert
3. der Literatur Angaben über schon bestehende Wasseranalysen entnommen.

Die Untersuchungen wurden an *Lemna minor, L. minuscula, L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* durchgeführt. *Lemna trisulca* wächst in der untersuchten Nährlösung ohne Zucker nicht und wurde deshalb in den Kulturversuchen nicht berücksichtigt.

Die physiologischen Versuche sollten es erlauben die Konzentrations-Bereiche zu bestimmen in welchen die vier Arten vorkommen. Felduntersuchungen und Angaben aus der Literatur sollten Vergleiche mit den so erhaltenen Resultaten ermöglichen.

Verdankungen

Diese Arbeit entstand 1980 am Geobotanischen Institut der ETHZ unter der Leitung von Prof. Dr. E. Landolt. Ich möchte ihm an dieser Stelle herzlich danken für seine unermüdliche Beratung und seine Geduld. Danken möchte ich auch Frau A. Hegi, Frau M. Siegl, Herrn R. Graf und Herrn E. Schäffer, die mir im Labor willkommene Hilfe leisteten. Die Analysen und Wasserproben wurden an der EAWAG ausgeführt. Dafür danke ich Herrn Dr. E. Szabo und seinen Mitarbeitern. Frau Prof. K. Urbanska und Herrn B. Zuur danke ich für die Uebersetzung der Zusammenfassung ins Englische.

2. Material und Methoden

Die für die Untersuchungen verwendeten Stämme wurden am Geobotanischen Institut der ETHZ kultiviert. Es handelt sich dabei um vier in Mitteleuropa vorkommende Arten: 1. *Lemna minor* L. (6578), 2. *L. minuscula* Herter (8370), 3. *L. gibba* L. (8428), 4. *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden (7344).

Als Nährlösung diente eine 1:5 verdünnte Hutnerlösung (HUTNER 1953, HILLMAN 1961) ohne Zucker. Um das unabhängige Variieren der Ca- bzw. Mg-Konzentration zu ermöglichen, wurden diese Elemente unter Form von $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ bzw. $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, separat zugefügt.

Die genaue Anleitung zur Herstellung der Nährlösung findet man in LüöND (1978). Die Wachstumsbedingungen sind gleich geblieben: der Tag dauerte 12 h, die Lichtintensität betrug 24000 LUX im ersten, 21000 LUX in zweiten und 25000 LUX im dritten Versuch; am Mittag wurde in den Erlenmeyer-Kolben jeweils eine Temperatur von ca. 23°C gemessen.

Für die Versuche wurden 500 ml Erlenmeyerkolben mit 250 ml Nährmedium verwendet, welche vor dem Animpfen bei 120°C und 2 atm. 25 Min. lang im Autoklaven sterilisiert wurden.

Um die Stämme an die neuen Versuchsbedingungen zu gewöhnen, liess man sie vor dem eigentlichen Versuch zweimal eine Woche lang auf dem Medium wachsen, dann wurden von den neu gebildeten Gliedern etwa drei ins Nährmedium gebracht und zwar in vier Parallelen je Stamm und Medium.

Messungen. - Die Wachstumsrate wurde nach der Gleichung

$$K = \frac{\log n_2 - \log n_1}{t_2 - t_1} \cdot 10^3 \quad \text{(LANDOLT 1957)}$$

bestimmt, wobei n_1 = Anfangszahl der Glieder, n_2 = Endzahl der Glieder, t = Zeit in Tagen.

Weiter wurden mit dem Okularmikrometer die Gliedlänge und -breite und mit der Schublehre die Wurzellängen und bei *Lemna gibba* die Glieddicke gemessen.

Felduntersuchungen. - Von April bis August wurden an den Gewässern des Unter-

suchungsgebietes Wasserproben geholt. Die Probeaufnahme erfolgte immer an der gleichen Stelle aus der obersten Wasserschicht mit 500 ml Plastikflaschen.

Am Abend oder am folgenden Tag wurden die Proben mit nach EDI (1974) vorbehandelten und gewaschenen Membranfiltern (Millipore 0.45 µm) filtriert und bis zur Analyse kühl aufbewahrt.

Die Messungen von Ca- und Mg-Gehalt wurden mit AAS an der EAWAG in Dübendorf ausgeführt.

Angaben zum Untersuchungsgebiet findet man in LüöND (1978) und LEUCHTMANN (1979).

Lage der untersuchten Gewässer:

Probestelle Nr.	Geographische Lage
1- 7	nordöstlich von Kleinandelfingen (Kt. Zürich, CH)
8-10	nordwestlich von Ossingen (Kt. Zürich, CH)
11-15	in der Nähe von Koblenz, bei der Aare-Mündung (Kt. Aargau, CH)
17	bei Grezhausen (Breisgau, D)
18	bei Kunheim (Elsass, F)
19-20	südöstlich von Colmar (Elsass, F)
21	bei Herrlisheim-prés-Colmar (Elsass, F)
22	bei Brinighoffen, nordwestlich von Altkirch (Elsass, F)
23	bei Brinighoffen, nordwestlich von Altkirch (Elsass, F)
24-26	nördlich von Faverois (Sundgau, F)
27-28	östlich von Lepuis-Neuf (Sundgau, F)
29	südöstlich von Lepuix-Neuf (Sundgau, F)
30-31	westlich von Seppois-le-Bas (Sundgau, F)
32	östlich von Vendlincourt (Kt. Jura, CH)
33	östlich von Vendlincourt (Kt. Jura, CH)
34	Feuerteich in Moernach (Sundgau, F)
35-44	Fischteich nördlich von St. Louis-la-Chaussée (Elsass, F)
45	Strasbourg, rue Finck-Matt (Elsass, F)
90	Colmar, Petite Venise (Elsass, F)

Koordinaten:

Probestellen

1-10: Landeskarte der Schweiz 1:25000, Blatt 1052 Andelfingen (1972)
1) 694.000/273.600, 2) 694.200/273.600, 3) 694.425/273.425, 4) 694.600/273.425, 5) 694.725/273.150, 6) 695.000/273.075, 7) 694.375/272.925, 8) 694.600/275.800, 9) 695.050/275.425, 10) 696.000/275.125

11-15: Landeskarte der Schweiz 1:25000, Blatt 1050 Zurzach (1970)

11) 659.200/272.850, 12) 658.475/271.950, 13) 659.100/272.575, 14a) 658.975/272.400, 14b) 659.000/272.450, 15) 659.175/272.625

17: Topographische Karte 1:50000, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, L 8110 Müllheim, 3397.575/5315.950

18a-18b: L 7910 Breisach am Rhein. 18a) 3392.450/5327.300, 18b) 3392.150/5327.225

19-21: Carte de France 1:50000, Institut géographique national de France, Neu Brisach XXXVII-19. 19) 378.750/5322.625, 20) 378.700/5322.700, 21) 374.850/5320.950

22-23: Altkirch XXXVII-21. 22) 365.050/5279.675, 23) 365.250/5279.875

24-33: Landeskarte der Schweiz 1:25000, Blatt 1065 Bonfol (1975), 24) 570.750/265.238, 26) 569.638/264.825, 27) 574.863/265.613, 28a) 574.900/265.625, 28b) 575.063/265.650, 29) 575.288/264.488, 30) 578.875/264.600, 31) 578.738/264.750, 32) 579.275/255.563, 33) 579.550/255.613

34: Carte des Vosges 1:50000, Mulhouse Ferrette, édite par le Club Vosgien, 970.100/290.000

35-44c: Landeskarte der Schweiz 1:25000, Blatt 1047 Basel (1976), 35) 607.300/273.875, 36) 607.413/274.125, 37) 607.413/274.163, 38) 607.313/274.200, 39) 607.350/274.413, 40) 607.375/274.438, 41) 607.275/274.475, 42) 607.250/274.550, 43) 607.225/274.575, 44a) 607.388/274.100, 44b) 607.275/274.700, 44c) 607.175/274.675

45: Carte de France 1:50000, Institut géographique national de France, Strasbourg XXXVII-16. 998.675/1111.700

90: Colmar XXXVII-18. 974.250/5326.400

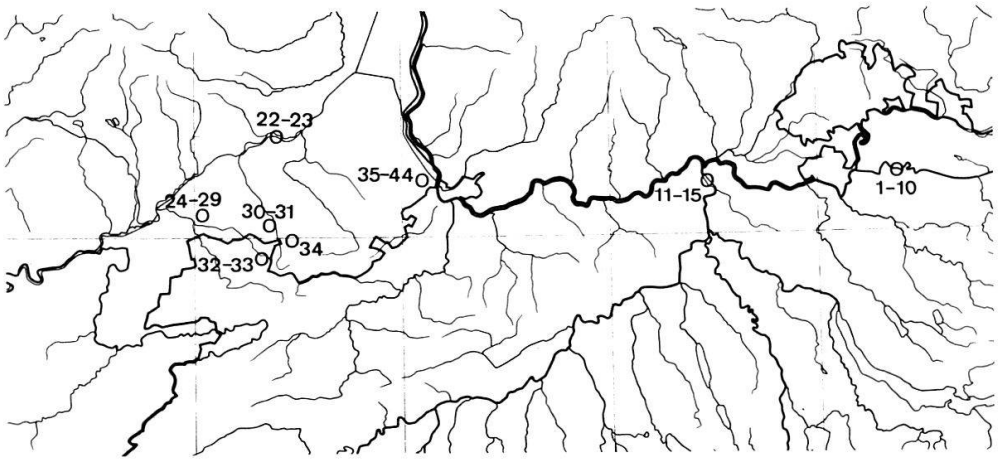


Abb. 1. Geographische Verteilung der Standorte in der nördlichen Schweiz, im Elsass und im südlichen Baden-Württemberg.

Fig. 1. Distribution of the investigated habitats in northern Switzerland, Alsace and southern Baden.

3. Ergebnisse

3.1. *Physiologische Untersuchungen*

Es wurden drei Versuche durchgeführt. Beim ersten wurden Ca- und Mg-Konzentration gemeinsam variiert, beim zweiten wurde die Ca-Konzentration bei gleichbleibender Mg-Konzentration, beim dritten Versuch die Mg-Konzentration bei gleichbleibender Ca-Konzentration variiert. Beim dritten Versuch konnten wir bei einer Mg-Konzentration von 45 mg/l bei allen vier Arten noch ein Wachstum feststellen, bei der nächsthöheren Konzentration von 300 mg/l hingegen starben die Stämme ab. Da der Unterschied zwischen diesen Konzentrationen gross ist, wurde ein vierter Versuch durchgeführt, der es erlauben sollte das Verhalten der Arten in diesem Zwischenbereich zu untersuchen. Allerdings wurden mangels Zeit nur die Wachstumsraten bestimmt und qualitative Beobachtungen gemacht. Im weiteren wurden pro Art und Konzentration die Glieder je eines Kolbens herausgenommen und fotokopiert (Abb. 15 und 16).

Tabellen welche die genauen Werte der Wachstumsraten, Wurzellängen und Gliedgrössen enthalten, sind in ZIMMERMANN (1980) zu finden.

3.1.1. *Wachstumsraten*

In den Abbildungen 2a-d sind die mittleren Wachstumsraten der untersuchten Stämme für die vier Versuche dargestellt. Die Ergebnisse von Versuch 3 und 4 sind jeweils in der gleichen Abbildung zu finden. (Es ist zu beachten, dass die Konzentrationen in allen Abbildungen logarithmisch aufgetragen wurden).

Die vier untersuchten Arten zeigen im allgemeinen ähnliches Verhalten. Werden Ca und Mg gemeinsam variiert, stellen sie bei einer Konzentration unter 0.48 mg Ca/l und 0.35 mg Mg/l das Wachstum ein. Dabei ist Ca der limitierende Faktor, denn wie Versuch 3 zeigt, benötigt die Pflanze bei genügender Ca-Versorgung sehr geringe Mengen an Mg. Obwohl die Wachstumsrate deutlich unter derjenigen höherer Konzentrationen liegt, wird auch bei der kleinsten untersuchten Konzentration von 0.035 mg Mg/l noch ein Wachstum registriert. Als einzige Ausnahme scheint *Lemna gibba* höhere Mg-Mengen zu benötigen. Diese Art stellt ihr Wachstum in einem Konzentrationsbereich von 0.04-0.35 mg/l ein.

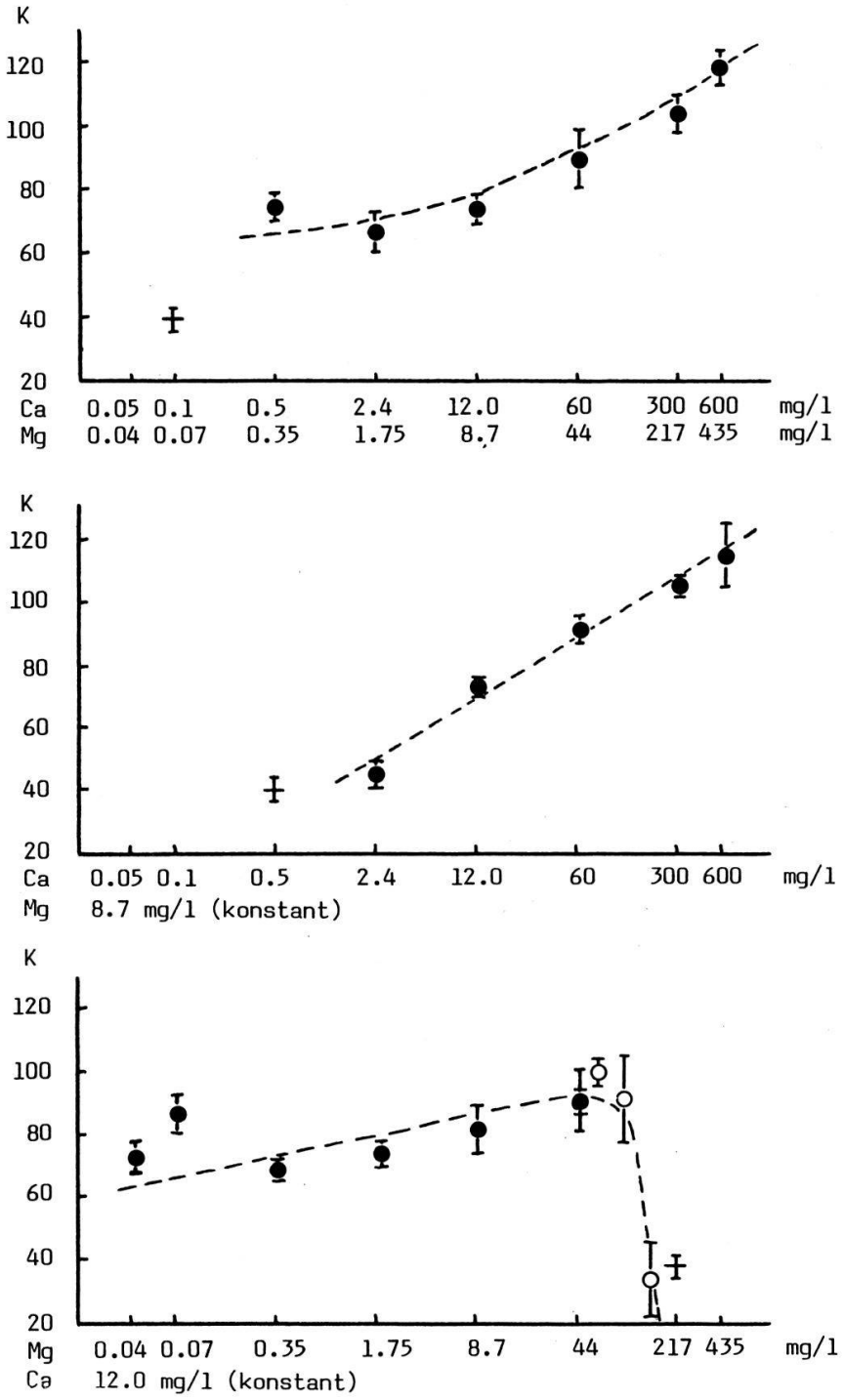


Abb. 2a. *Lemna minor*. Mittlere Wachstumsraten mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Ergänzungswerte (O), abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 2a. Lemna minor. Mean multiplication rates and the standard deviations in varying concentrations of Ca and Mg in the culture medium. Supplementary experiments (O), *dead cultures* (†).

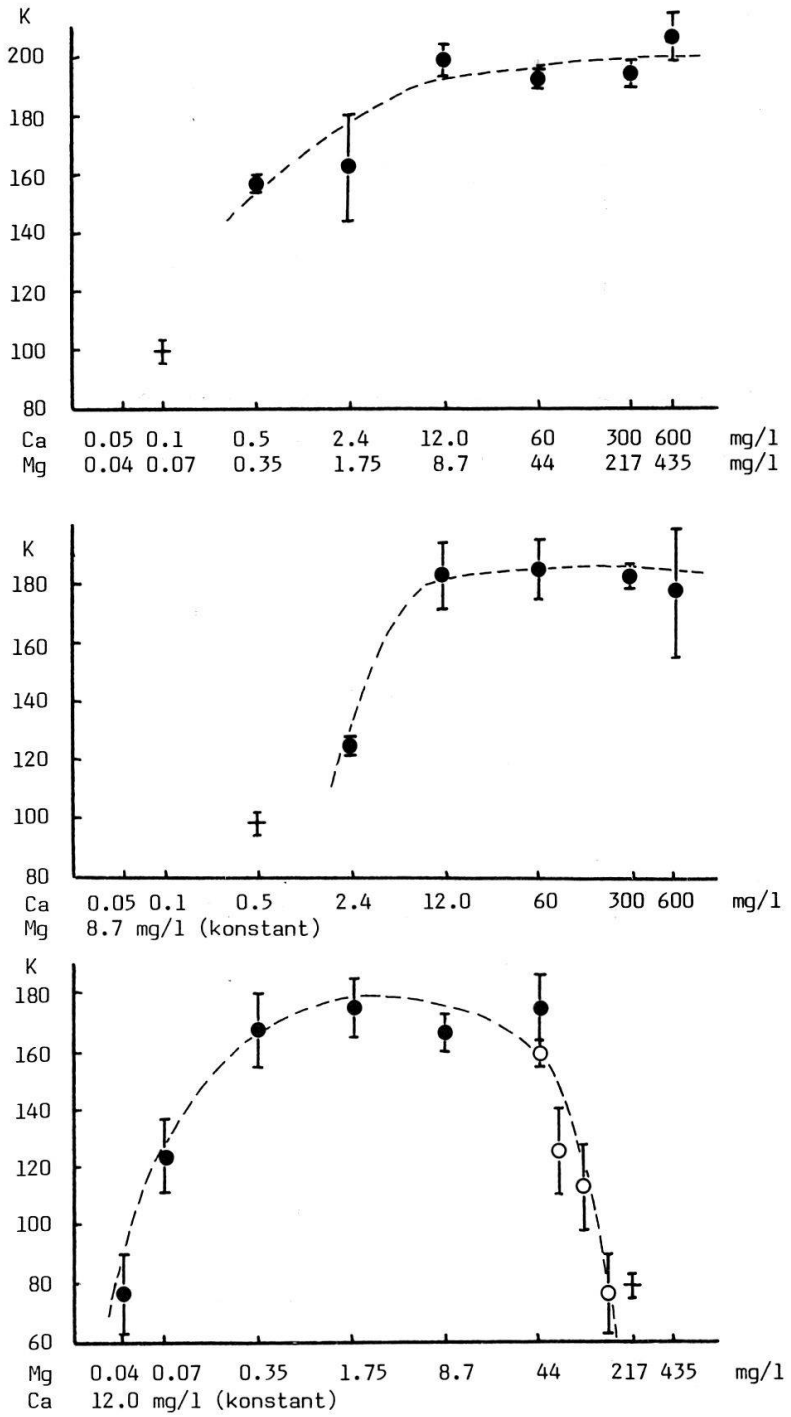


Abb. 2b. *Lemna minuscula*. Mittlere Wachstumsraten mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Ergänzungswerte (O), abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 2b. Lemna minuscula. Mean multiplication rates and the standard deviations in varying concentrations of Ca and Mg in the culture medium. Supplementary experiments (O), *dead cultures* (†).

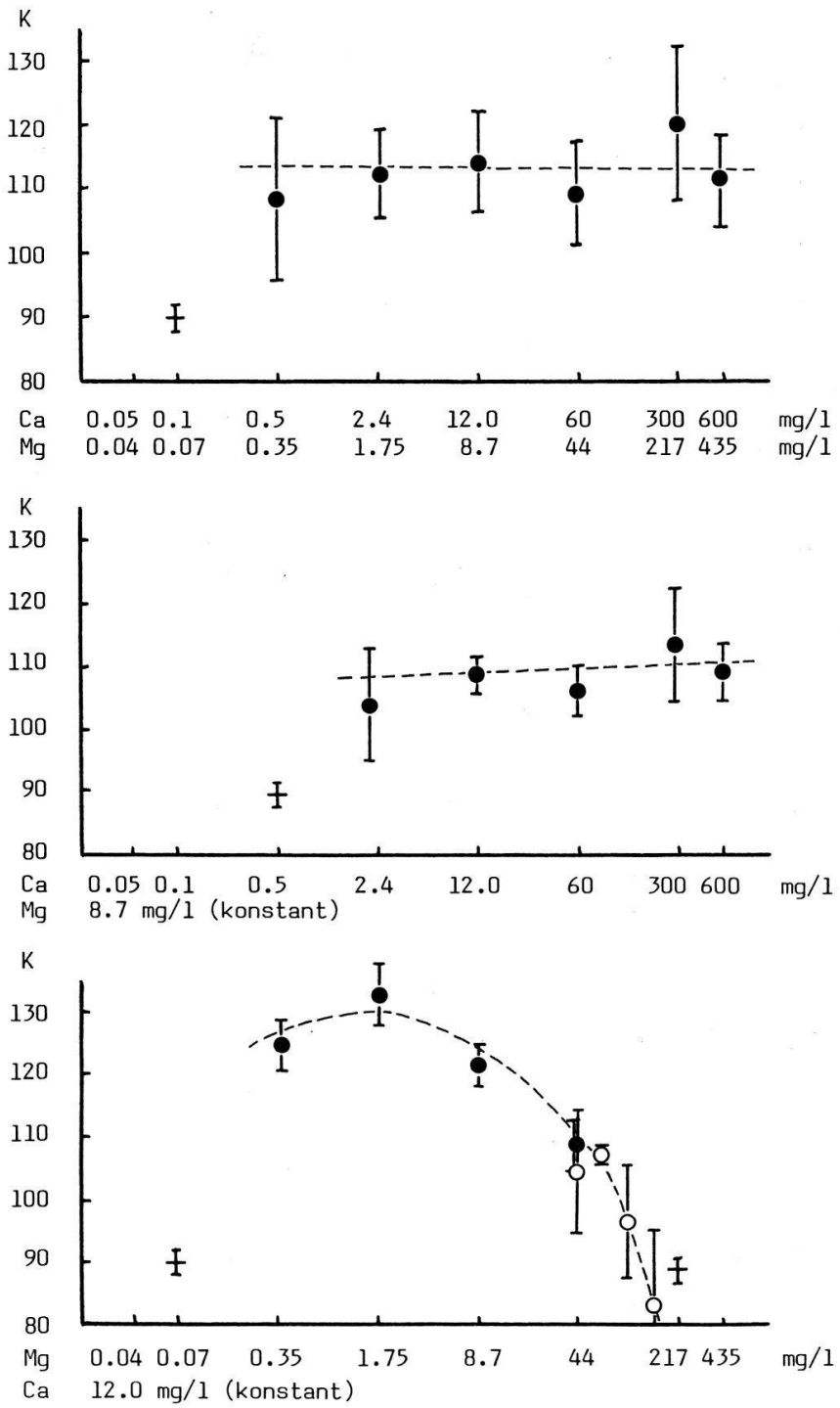


Abb. 2c. *Lemna gibba*. Mittlere Wachstumsraten mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Ergänzungswerte (O), abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 2c. Lemna gibba. Mean multiplication rates and standard deviations in varying concentrations of Ca and Mg in the culture medium. Supplementary experiments (O), *dead cultures* (†).

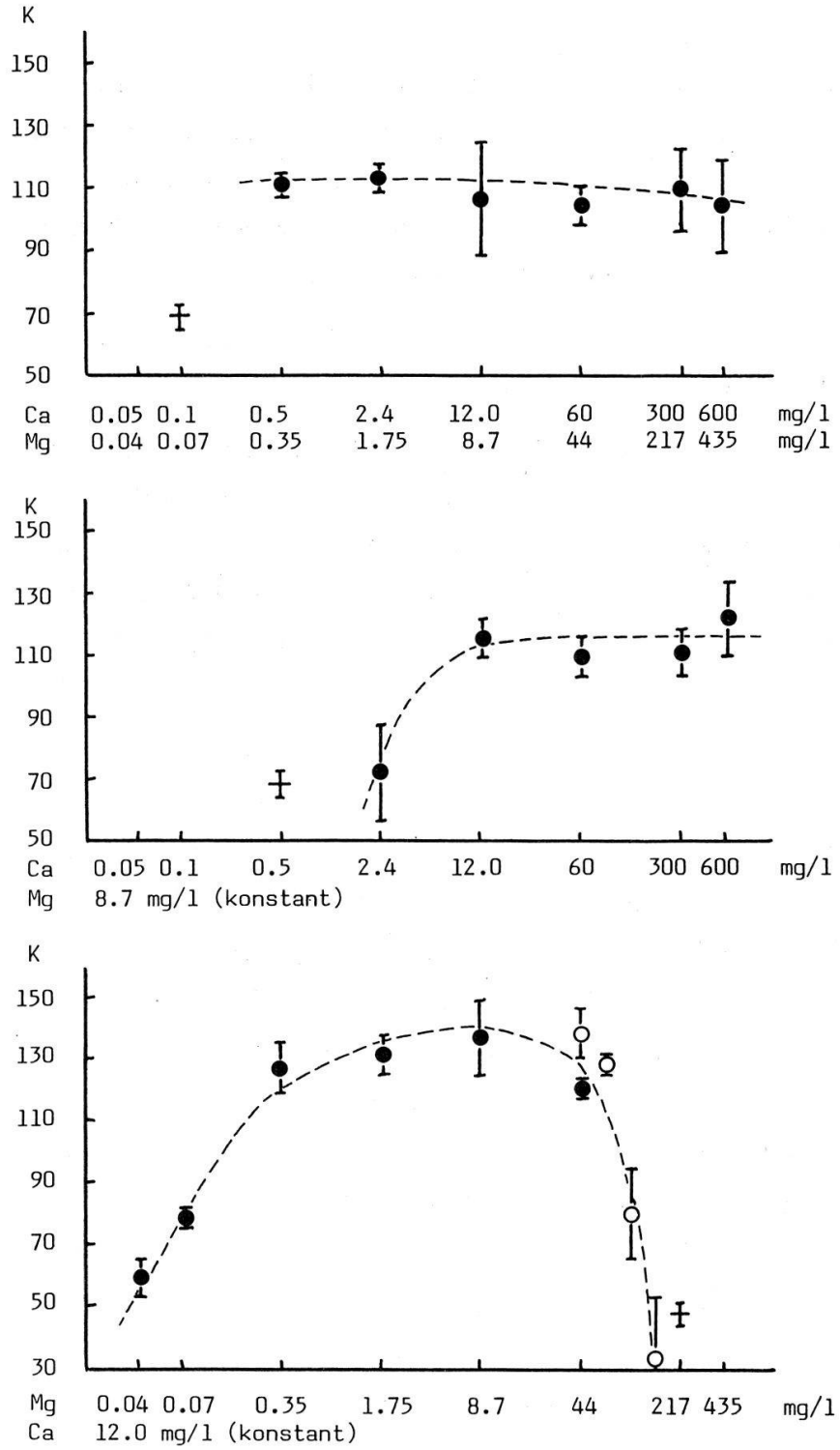


Abb. 2d. *Spirodela polyrrhiza*. Mittlere Wachstumsraten mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Ergänzungswerte (O), abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 2d. Spirodela polyrrhiza. Mean multiplication rates and the standard deviations in varying concentrations of Ca and Mg in the culture medium. Supplementary experiments (O), *dead cultures* (†).

Wird der Mg-Gehalt konstant gehalten (8.7 mg/l, Standardkonzentration) und nur das Ca variiert, sind höhere Ca-Konzentrationen notwendig, um die Lebensfähigkeit der Pflanzen zu gewährleisten (mehr als 2.4 mg Ca/l). Dies hängt sehr wahrscheinlich mit der entgiftenden Wirkung von Ca auf Mg zusammen wie sie LOEW (1932) und ISERMANN (1969) postulieren.

Individuell verschieden sind dagegen die Wachstumskurven der einzelnen Arten in Abhängigkeit der Konzentration.

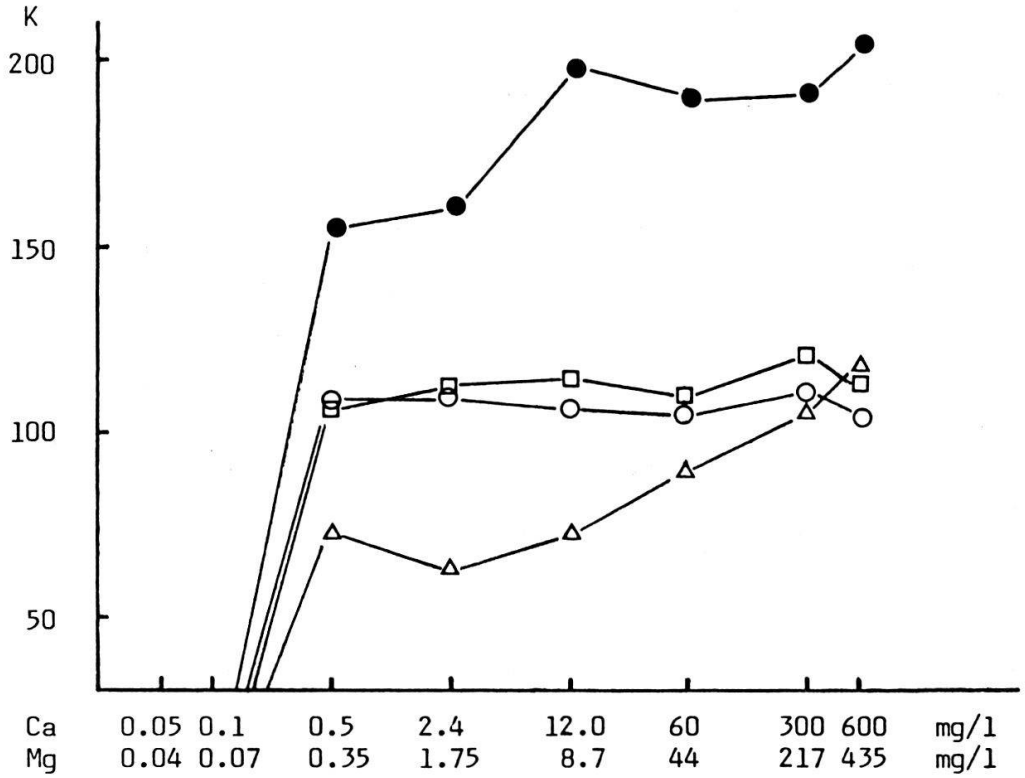
Bei *Lemna minor* kommt der Einfluss von Ca im Wachstumsbereich deutlich zum Ausdruck. Mit der Erhöhung der Ca-Konzentration nimmt auch die Wachstumsrate zu und zwar unabhängig vom Mg-Gehalt der Nährlösung. Aendert man dagegen nur die Mg-Konzentration, wird zwischen 0.35 und 90 mg Mg/l nur eine geringe Zunahme der Wachstumsrate beobachtet. Oberhalb dieser Konzentration fällt die Kurve steil ab.

Lemna minuscula reagiert auf die Erhöhung des Ca-Gehaltes bis zu einer Konzentration von 12 mg Ca/l mit einer Zunahme der Wachstumsrate. Höhere Konzentrationen lassen die Wachstumsrate nicht weiter steigen. Verändert man nur den Mg-Gehalt, so nimmt die Wachstumskurve in den niedrigen Konzentrationen (0.035-0.35 mg Mg/l) zu, stabilisiert sich im mittleren Bereich (0.35-45 mg Mg/l) und fällt bei höheren Konzentrationen wieder ab.

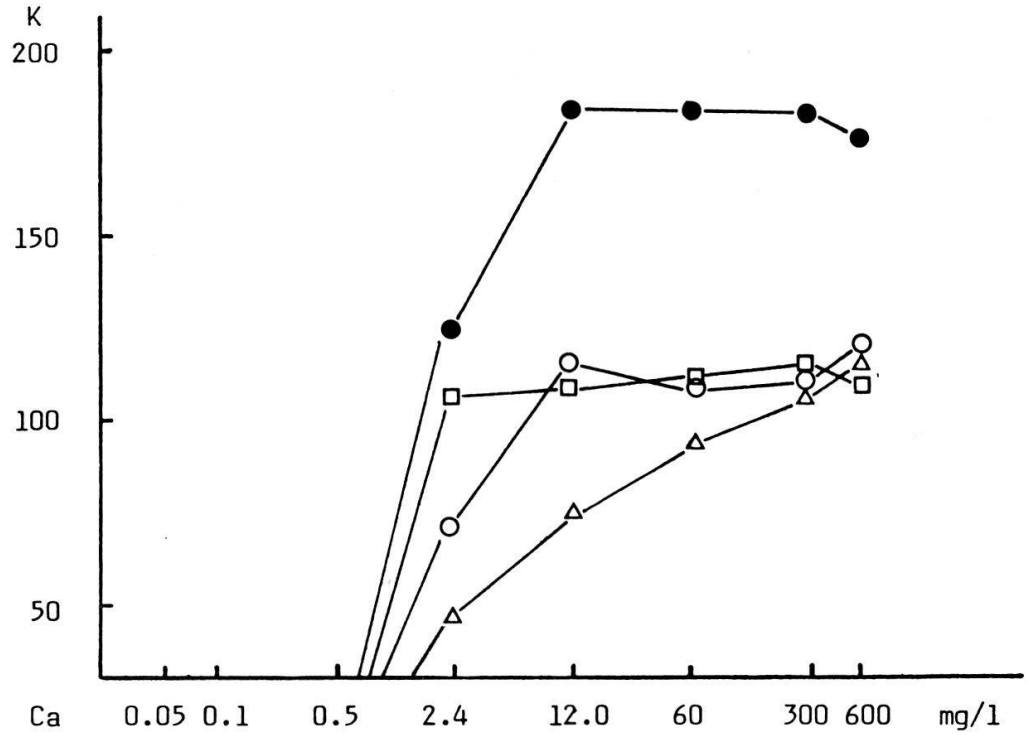
Bei *Lemna gibba* scheint Ca im untersuchten Bereich von 0.5-600 mg Mg/l keinen Einfluss auf die Wachstumsrate zu haben. Eine genaue Aussage ist jedoch durch die grosse Standardabweichung verunmöglicht. Wird nur der Mg-Gehalt variiert, kann man feststellen, dass die Kurve bei einer Konzentration von 0.35-1.75 mg Mg/l ansteigt und darüber wieder abfällt.

Bei *Spirodela polyrrhiza* ist die Wachstumsrate im Bereich von 0.5-600 mg Ca/l und 0.35-435 mg Mg/l ziemlich stabil. Verändert man nur die Ca-Konzentration, nimmt die Wachstumskurve bis 12 mg Ca/l zu und stabilisiert sich danach (bis 600 mg/l untersucht). Verändert man nur den Mg-Gehalt, nimmt die Wachstumskurve bei niedrigen Konzentrationen zu, stabilisiert sich im mittleren Bereich und fällt darüber wieder ab.

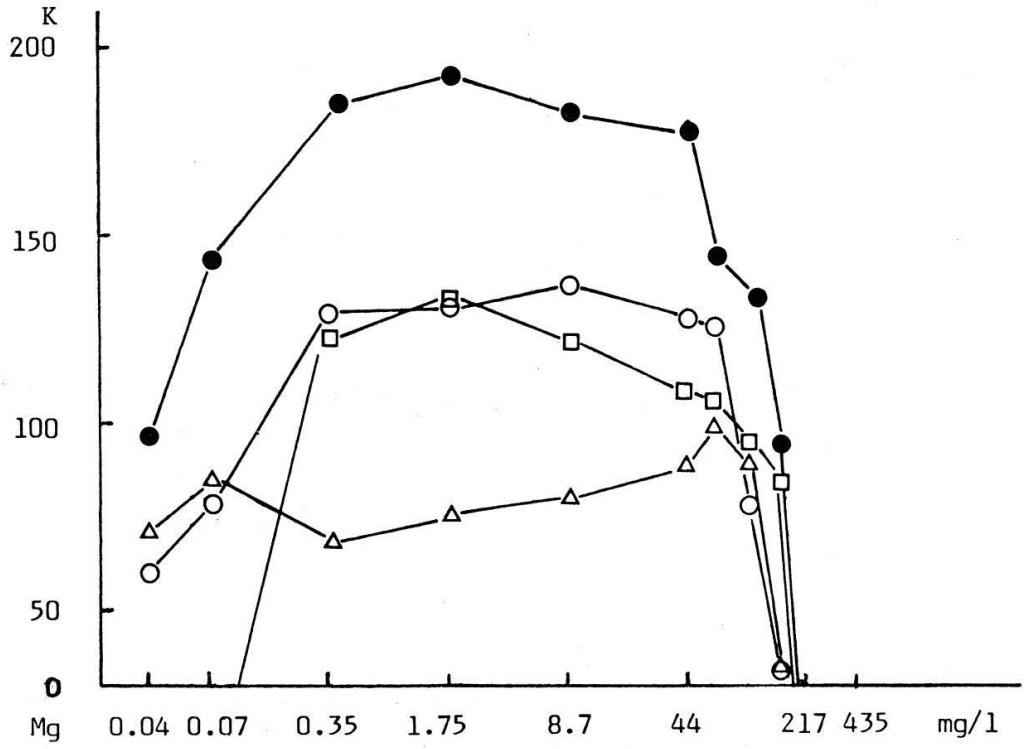
Beim Vergleich der vier Arten fällt auf, dass sich *Lemna minuscula* und *Spirodela polyrrhiza* ähnlich verhalten, falls nur entweder Ca oder Mg variiert wird:


K
200
150
100
50
Ca 0.05 0.1 0.5 2.4 12.0 60 300 600 mg/1
Mg 0.04 0.07 0.35 1.75 8.7 44 217 435 mg/1

3a.


K
200
150
100
50
Ca 0.05 0.1 0.5 2.4 12.0 60 300 600 mg/1

3b.



3c.

Abb. 3a-c. Wachstumsraten von *Lemna minor* (△), *L. minuscula* (●), *L. gibba* (□) und *Spirodela polyrrhiza* (○) in Abhängigkeit der Ca- und Mg-Konzentration.

3a. Gleichzeitige Variation der Ca- und Mg-Konzentration (S. 131 oben).
3b. Variation der Ca-Konzentration (Mg 8.7 mg/l) (S. 131 unten)
3c. Variation der Mg-Konzentration (Ca 12 mg/l) (oben)

Figs 3a-c. Multiplication rates of Lemna minor (△), L. minuscula (●), L. gibba (□) and Spirodela polyrrhiza (○) in relation to the concentration of Ca and Mg in the culture medium.

3a. Varying concentration of Ca and Mg (p. 131 above)
3b. Varying concentration of Ca (Mg 8.7 mg/l) (p. 131 below)
3c. Varying concentration of Mg (Ca 12 mg/l) (above)

- bei einseitiger Veränderung von Ca, zuerst Zunahme und dann Stabilisierung der Wachstumsrate,
- bei einseitiger Veränderung von Mg, anfänglich Zunahme der Wachstumsrate, Stabilisierung im mittleren Bereich und Abfall bei hohen Konzentrationen.

Werden Ca und Mg gemeinsam variiert, steigt die Wachstumskurve von *Lemna minuscula* mit zunehmender Ionen-Konzentration leicht an, bei *Spirodela polyrrhiza* bleibt sie hingegen ziemlich stabil.

Lemna gibba unterscheidet sich von den anderen Arten vor allem durch ihre Mg-Empfindlichkeit. Wie weiter oben schon erwähnt wurde, braucht sie eine 10mal höhere Mg-Konzentration als die anderen Arten um zu wachsen. Bei einem Gehalt von mehr als 8.7 mg Mg/l, in einem Bereich in welchem die anderen Arten noch ein optimales Wachstum aufweisen, fällt die Wachstumskurve bereits wieder ab, hat aber die höhere Toleranzgrenze.

Als einzige Art entwickelt sich *Lemna minor* besser bei hohen Ca-Konzentrationen und reagiert weniger empfindlich als die anderen untersuchten Arten auf Mg. Sie wächst bei den geringen Mg-Konzentrationen und gedeiht noch gut, wenn andere Arten schon Vergiftungserscheinungen zeigen (zwischen 50 und 100 mg Mg/l).

In den Abbildungen 3a-c wurden die Wachstunsraten der vier untersuchten Arten verglichen.

3.1.2. *Wurzellängen*

In den Abbildungen 4a-d sind die mittleren Wurzellängen der Glieder dargestellt. Die grossen Standardabweichungen erschweren die Aussage.

Am deutlichsten ist die Abnahme der Wurzellänge bei *Lemna minor* mit der Zunahme des Ca- und Mg-Gehaltes der Nährlösung. Wird eine der beiden Konzentrationen konstant gehalten, verändert sich auch die Wurzellänge nur wenig.

Bei *Lemna minuscula* ist eine leichte Zunahme der Wurzellänge von den niederen gegen die mittleren Konzentrationen und eine Abnahme bei hohen Konzentrationen wahrscheinlich, aber nicht eindeutig. Wird nur Ca variiert, nimmt die Wurzellänge anfänglich zu und stabilisiert sich nach einer Ca-Konzentration von 12 mg/l. Mehr oder weniger konstant ist die Wurzellänge auch, wenn nur Mg verändert wird.

Bei *Lemna gibba* ist eine Aussage der grossen Standardabweichung nur beschränkt möglich. Deutlich verkürzt sind die Wurzeln bei gleichzeitig hohen Ca- und Mg-Konzentrationen (600 mg Ca/l und 435 mg Mg/l), sowie bei niedrigen Ca-Konzentrationen, wenn Mg in Standardmenge vorhanden ist (2.4 mg Ca/l, 8.7 mg Mg/l) und bei hoher Mg-Konzentration, wenn das Ca in Standardmenge zugegeben wurde

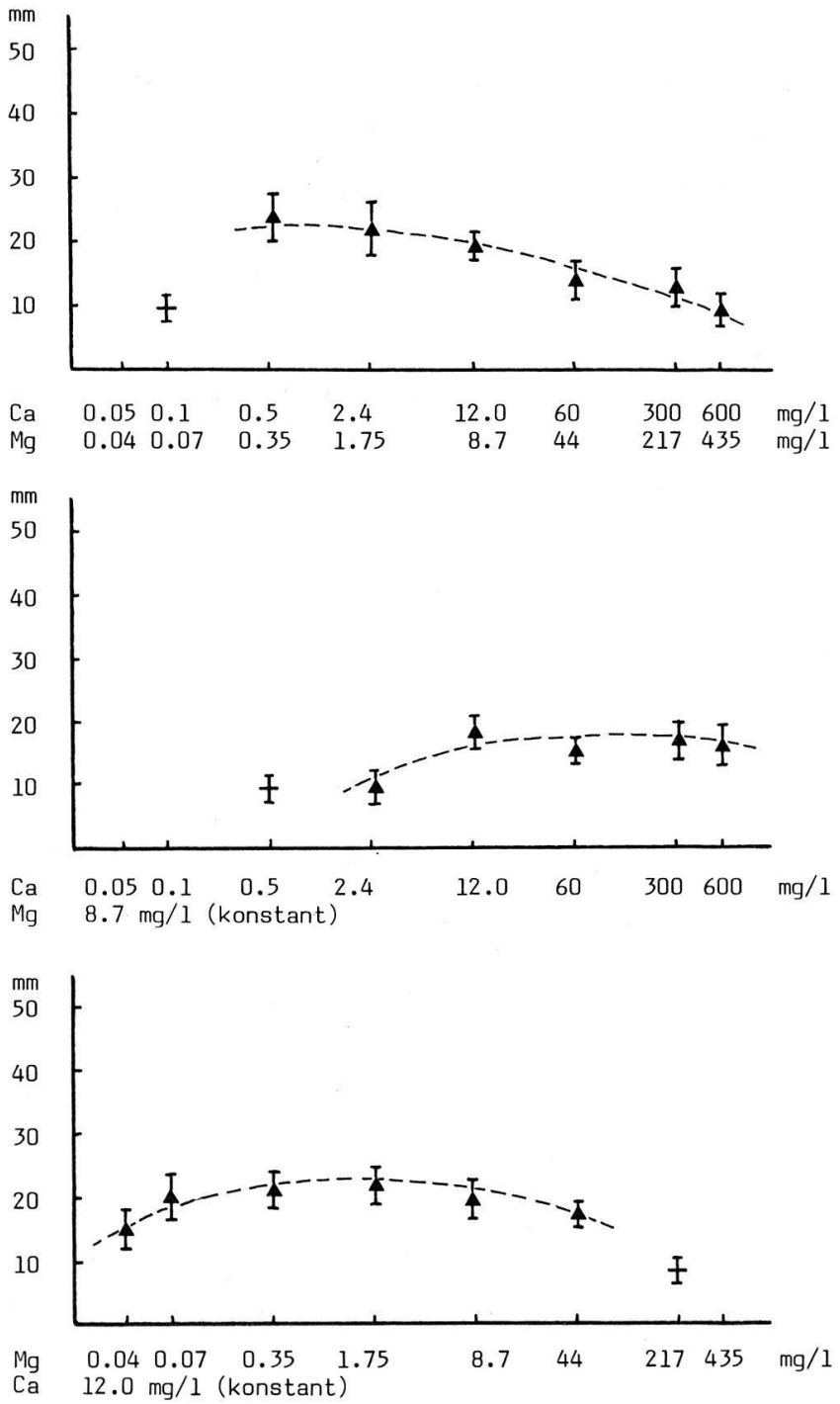


Abb. 4a. *Lemna minor*. Mittlere Wurzellängen mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 4a. Lemna minor. Mean root length values and the standard deviations in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

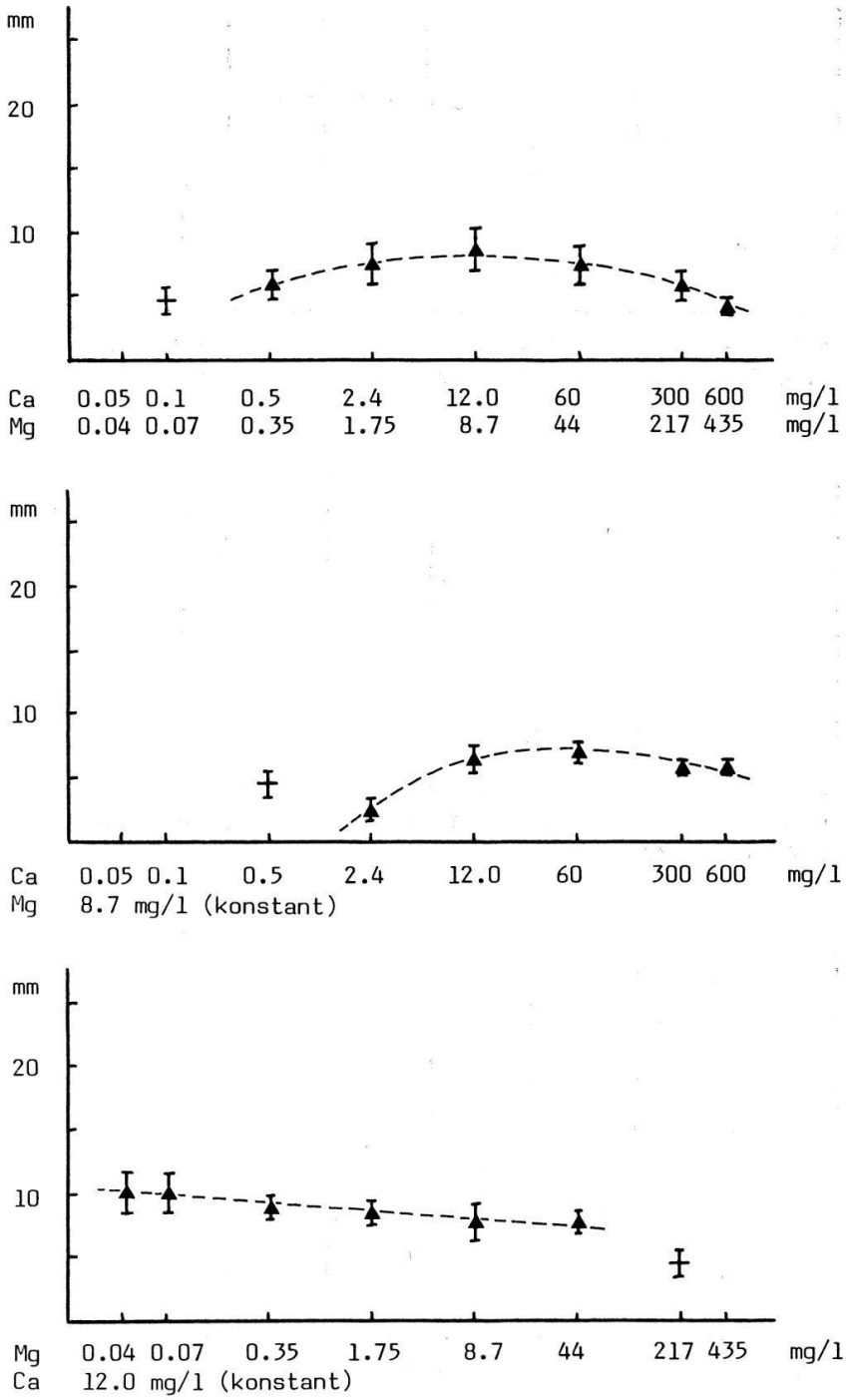


Abb. 4b. *Lemna minuscula*. Mittlere Wurzellängen mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 4b. Lemna minuscula. Mean root length values and the standard deviations in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

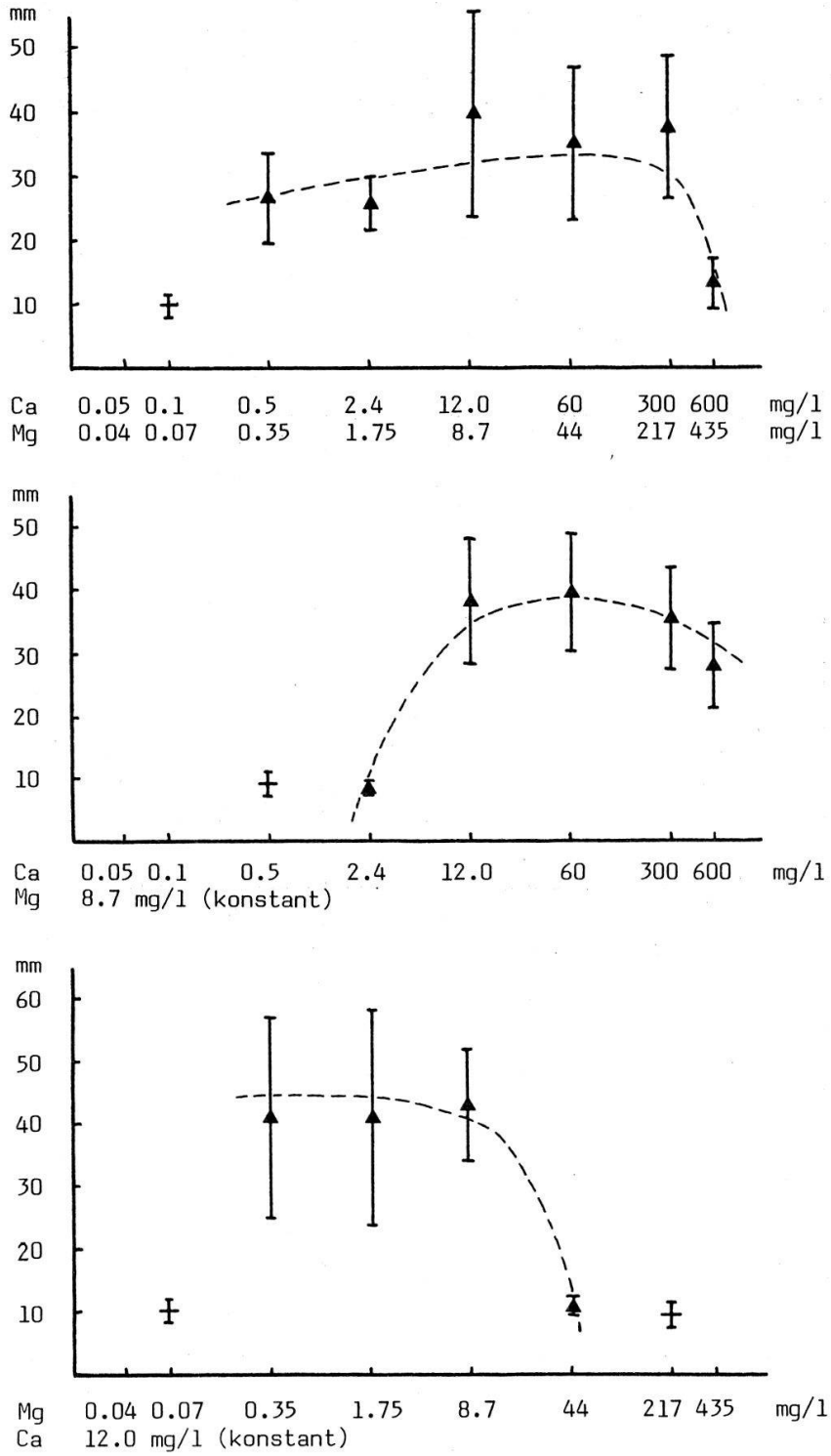


Abb. 4c. *Lemna gibba*. Mittlere Wurzellängen mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 4c. Lemna gibba. Mean root length values and the standard deviations in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

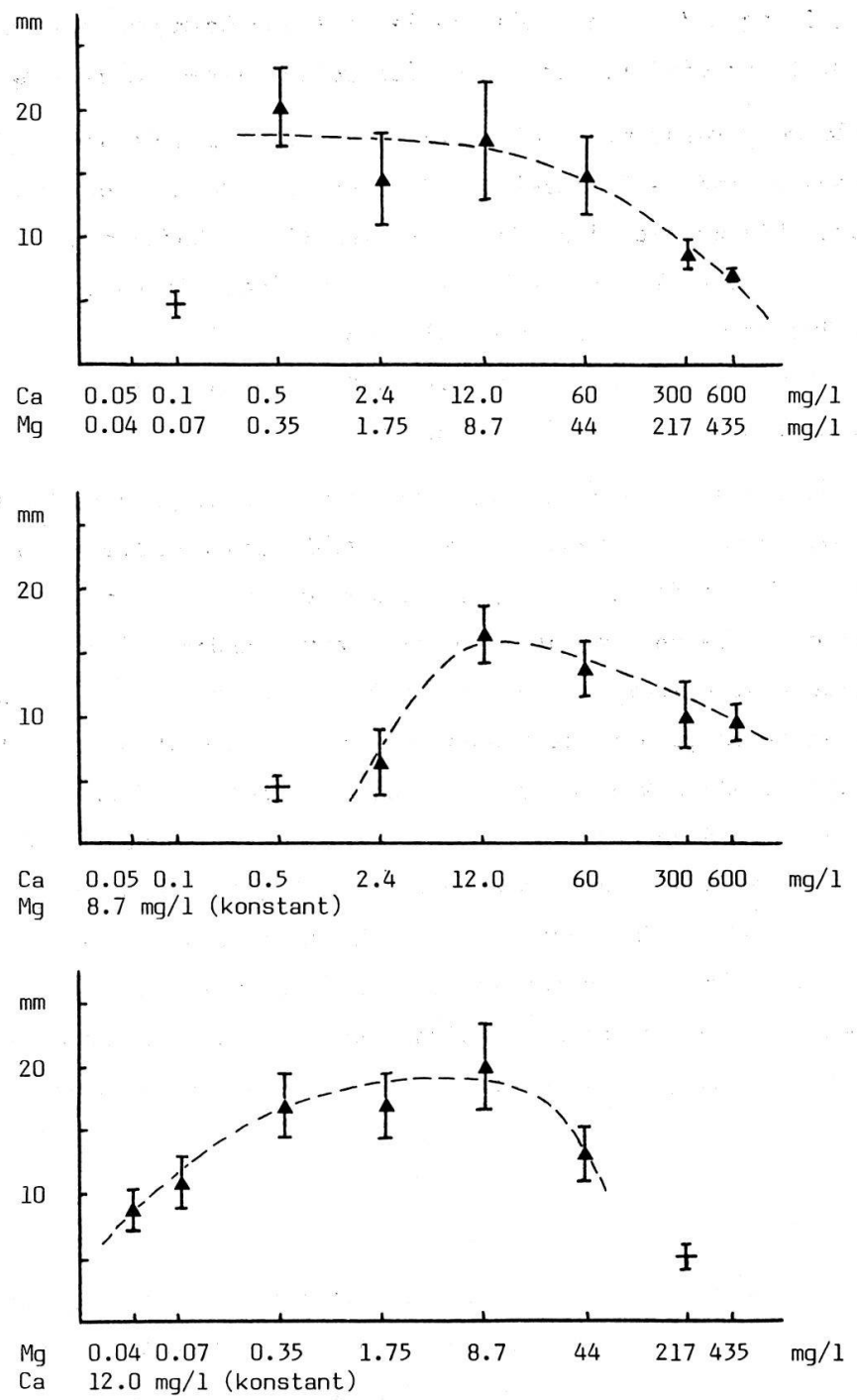


Abb. 4d. *Spirodela polyrrhiza*. Mittlere Wurzellängen mit Angabe der Standardabweichungen bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 4d. Spirodela polyrrhiza. Mean root length values and the standard deviations in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

(44 mg Mg/l, 12 mg Ca/l). In beiden Fällen ist das Ca/Mg-Verhältnis sehr klein (ca. 0.3). Es wird in der Diskussion weiter darauf eingegangen.

Bei *Spirodela polyrrhiza* nimmt die Wurzellänge ab, wenn Ca und Mg in grossen Mengen vorhanden sind. Auf einseitige Erhöhung der Ca-Konzentration reagiert *S. polyrrhiza* bis zur Standard-Konzentration (12 mg Ca/l) mit einer Zunahme der Wurzellänge. Oberhalb dieser Konzentration nimmt die Wurzellänge wieder langsam ab. Erhöht man nur den Mg-Gehalt, so steigt die Kurve der Wurzellänge langsam an, stabilisiert sich im mittleren Bereich und fällt bei einer Konzentration von mehr als 8.7 mg Mg/l wieder ab.

Beim Vergleich der untersuchten Arten stellt man keine grossen Unterschiede fest: *Lemna minor* und *L. minuscula* bzw. *L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* reagieren ähnlich. Werden Ca und Mg gemeinsam variiert, bleibt die Wurzellänge bis zu einer gewissen Konzentration konstant. Darüber nimmt sie dann bei allen Arten mehr oder weniger stark ab, wobei *Lemna gibba* die auffallenste Abnahme der Wurzellänge bei der höchsten Konzentration (600 mg Ca/l, 435 mg Mg/l) aufweist. Aendert man nur den Ca-Gehalt, nimmt die Wurzellänge bei allen Arten bis zur Standard-Konzentration (12 mg/l) zu, dort stabilisiert sie sich bei *Lemna minor* und *L. minuscula*; bei *L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* nimmt die Wurzellänge bei den höchsten Konzentrationen (ab 300 mg Ca/l) wieder leicht ab. Wird nur Mg variiert, bleibt die Wurzellänge bei *L. minor* und *L. minuscula* im untersuchten Bereich mehr oder weniger konstant. Bei *L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* wird bei hohen Mg-Konzentrationen (ca. 44 mg/l) eine Abnahme der Wurzellänge registriert.

3.1.3. *Gliedergrösse*

Die mittleren Gliedgrössen sind in den Abbildungen 5a-e dargestellt. Die Standardabweichung, die meist unter 10% liegt, wurde nicht eingezeichnet. In den Abbildungen 6a und b findet man die Fotokopie der Glieder, die auf Nährlösungen 44, 88, 130, 175 mg Mg/l und 12 mg Ca/l wuchsen (4. Versuch).

Wird im weiteren von Gliedgrösse gesprochen, so ist damit die Länge und Breite der Glieder gemeint. Das Verhältnis der beiden Grössen ist meist konstant.

Die Gliedgrösse von *L. minor* bleibt, sieht man von der Zunahme bei sehr hohen

Ca- Konzentrationen (600 mg/l) ab, mehr oder weniger konstant.

Bei *L. minuscula* scheint die Gliedgrösse bei gleichzeitiger Erhöhung des Ca- und Mg-Gehaltes leicht zuzunehmen. Erhöht man nur die Konzentration, nimmt die Gliedgrösse am Anfang relativ stark, dann nur noch schwach zu. Wird nur die Mg-Konzentration erhöht, nimmt die Gliedgrösse am Anfang relativ stark, dann nur noch schwach zu.

Bei *L. gibba* nimmt die Gliedgrösse bis zu einer Konzentration von 2.4 mg Ca/l und 1.75 mg Mg/l zu, stabilisiert sich und fällt bei der höchsten Konzentration von 600 mg Ca/l und 435 mg Mg/l wieder ab. Auch bei einseitiger Erhöhung von Ca nimmt die Gliedgrösse erst zu, dann wiederum ab. Wird nur Mg erhöht, bleibt die Kurve der Gliedgrösse zwischen 0.35 - 8.7 mg Mg/l konstant und fällt bei höheren Konzentrationen ab.

Die Glieder von *Spirodela polyrrhiza* nehmen bis zu einer Konzentration von 12 mg Ca/l und 8.7 mg Mg/l an Grösse zu und bleiben bis 300 mg Ca/l und 217 mg Mg/l etwa konstant. Bei höherer Konzentration scheint sich das Längen/Breiten-Verhältnis zu verändern. Die Länge nimmt zu, die Breite dagegen ab. Dies isr wahrscheinlich auf die starke Wölbung der Glieder bei hohen Ca-Konzentrationen zurückzuführen. Wird nur Ca erhöht, werden die Glieder bis zu einer Konzentration von 12 mg/l grösser und nehmen darüber leicht an Grösse zu. Erhöht man nur Mg, nimmt die Gliedgrösse bis zu einer Konzentration von 0.35 mg/l zu und stabilisiert sich dann.

Vergleicht man die vier Arten, stellt man fest, dass sich die kleineren Glieder von *L. minor* und *L. minuscula* kaum mit der Ionen-Konzentration verändern. *L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* reagieren mit ihren grossen Gliedern empfindlicher. Die Gliedgrösse nimmt mit steigender Konzentration bis zu einem gewissen Wert zu. Bei *L. gibba* nimmt sie bei sehr hohen Konzentrationen wieder ziemlich stark ab, bei *S. polyrrhiza* ist die Abnahme weniger deutlich.

Die Glieddicke von *L. gibba* scheint von der Ca-, nicht aber von der Mg-Konzentration beeinflusst zu werden. Die grösste Dicke wurde bei einer Ca-Konzentration von 60 mg/l gemessen.

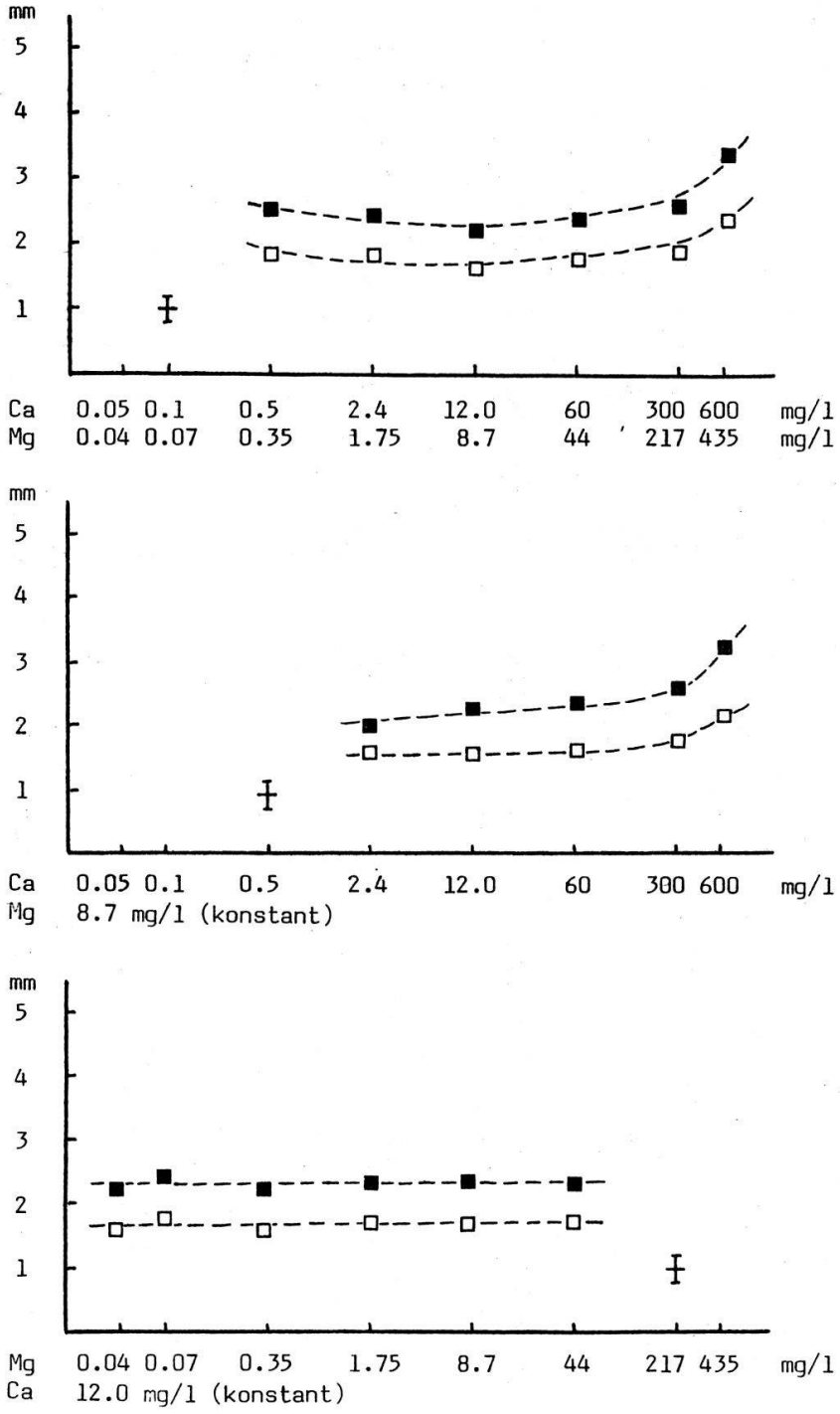


Abb. 5a. *Lemna minor*. Mittlere Gliedlängen (■) und Gliedbreiten (□) bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 5a. Lemna minor. Mean length (■) and width (□) values of the fronds in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

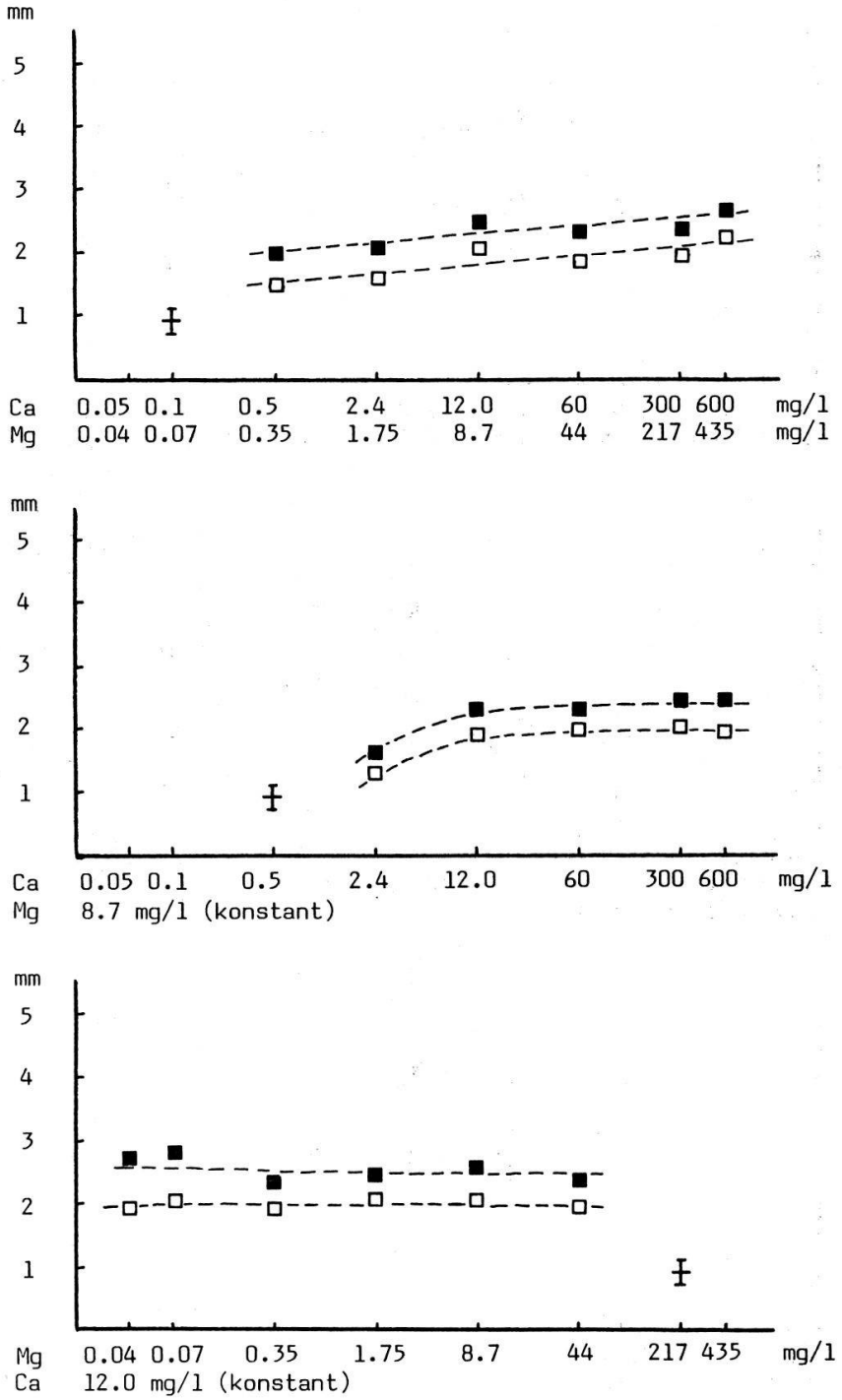


Abb. 5b. *Lemna minuscula*. Mittlere Gliedlängen (■) und Gliedbreiten (□) bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 5b. Lemna minuscula. Mean length (■) and width (□) values of the fronds in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

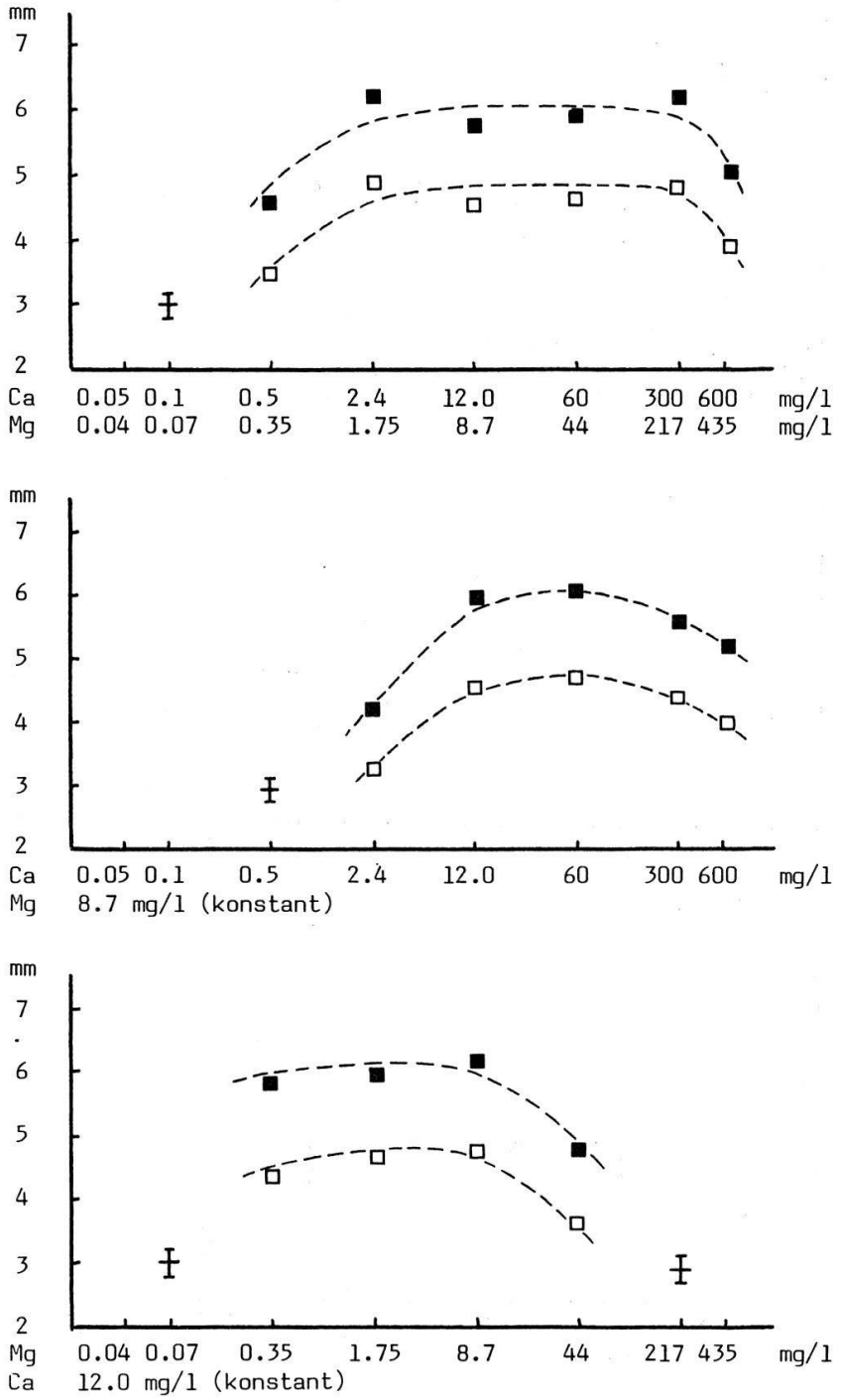


Abb. 5c. *Lemna globosa*. Mittlere Gliedlängen (■) und Gliedbreiten (□) bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen.
Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 5c. Lemna globosa. Mean length (■) and width (□) values of the fronds in cultures with various concentrations of Ca and Mg.
Dead cultures (†).

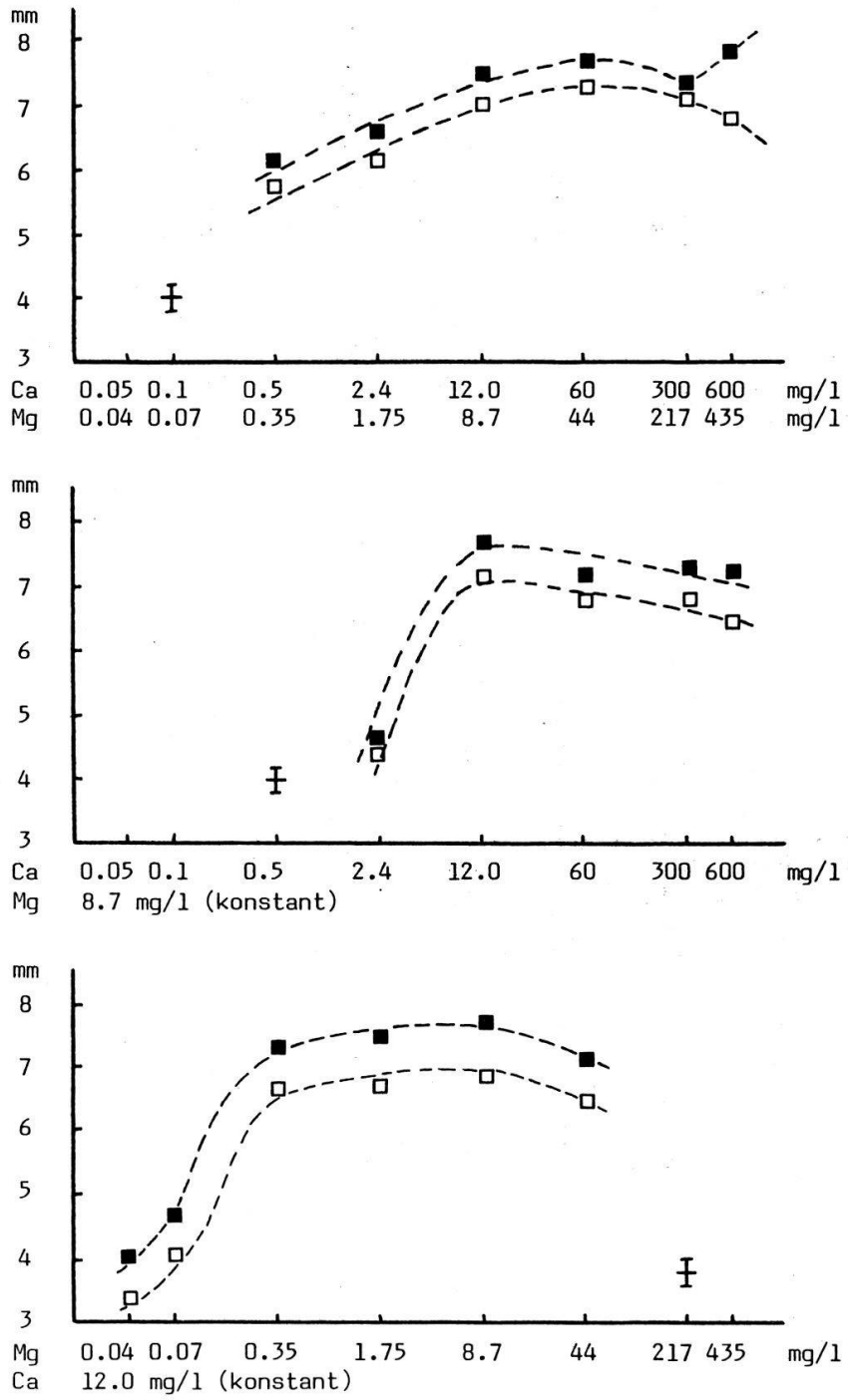


Abb. 5d. *Spirodela polyrrhiza.* Mittlere Gliedlängen (■) und Gliedbreiten (□) bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen. Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 5d. Spirodela polyrrhiza. Mean length (■) and width (□) values of the fronds in cultures with various concentrations of Ca and Mg. Dead cultures (†).

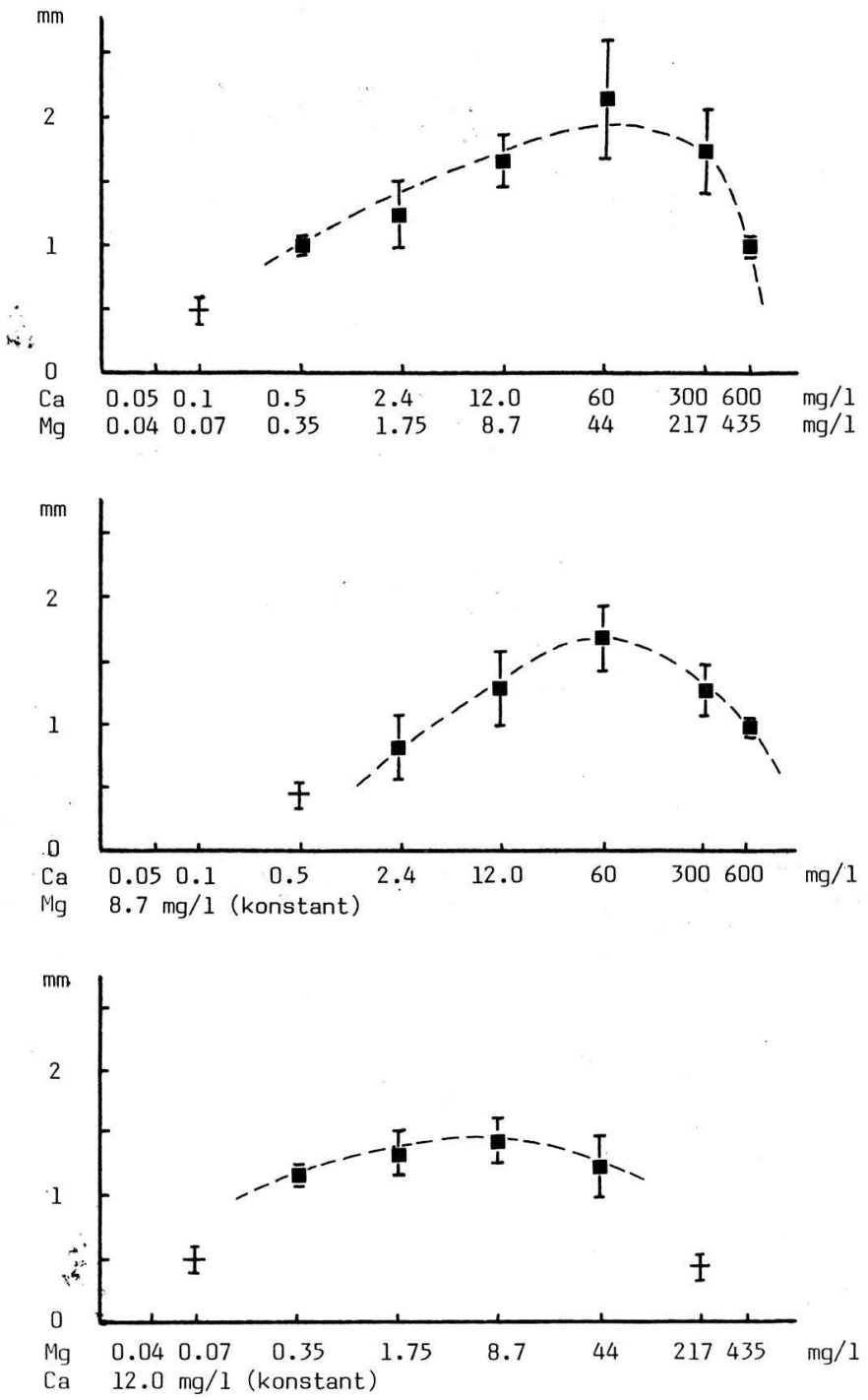


Abb. 5e. *Lemna gibba*. Mittlere Glieddicken bei verschiedenen Ca- und Mg-Konzentrationen.
Abgestorbene Kulturen (†).

Fig. 5e. Lemna gibba. Mean thickness values of the fronds in cultures with various concentrations of Ca and Mg.
Dead cultures (†).

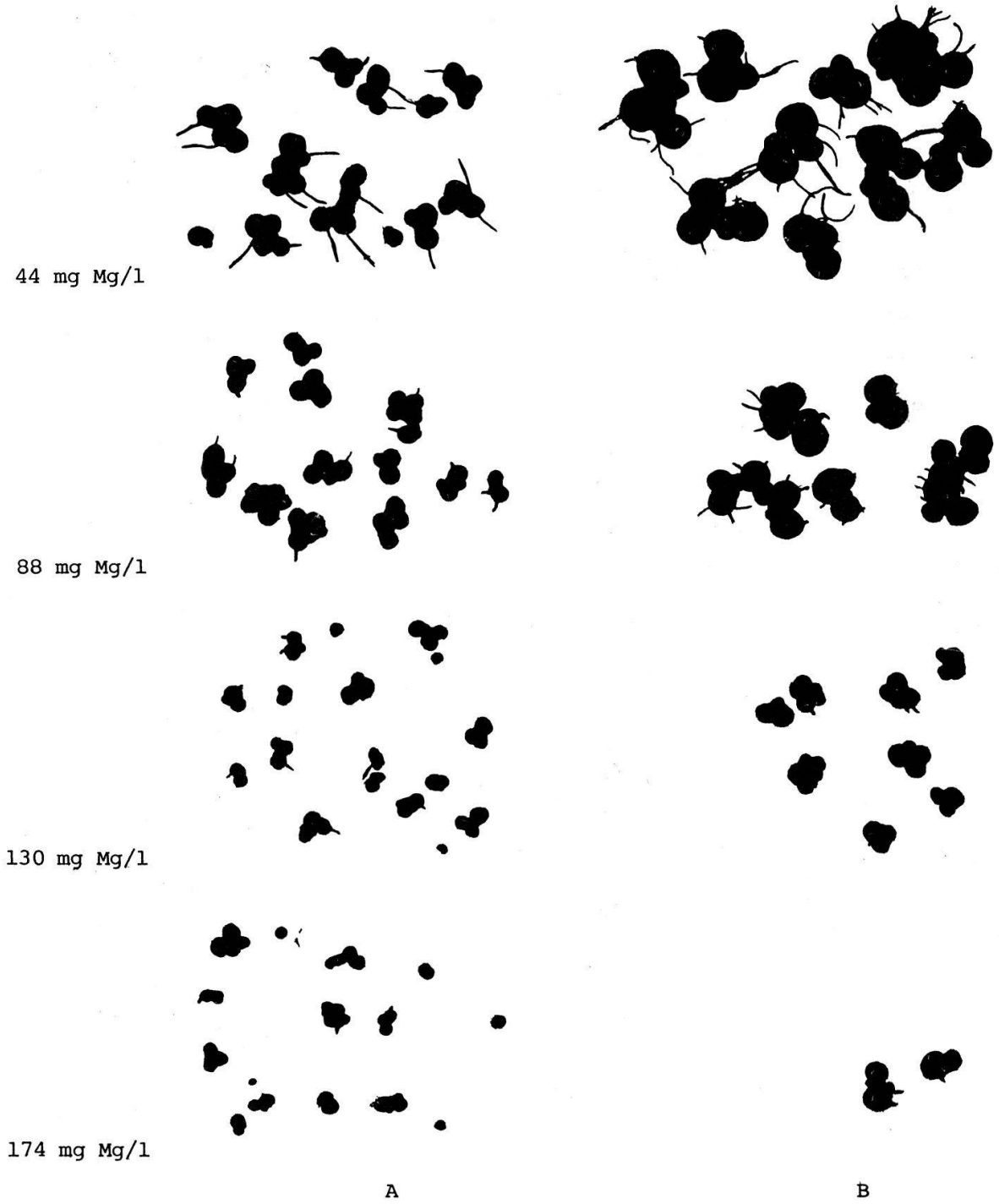


Abb. 6a. *Lemna minor* (A) und *L. minuscula* (B). Grössenverhältnis der Lemnaceen-Glieder bei verschiedenen Mg-Konzentrationen und konstantem Ca-Gehalt (12 mg/l).

Fig. 6a. Lemna minor (A) and L. minuscula (B). Frond size of duckweeds in cultures with various concentration of Mg and constant content of Ca (12 mg/l).

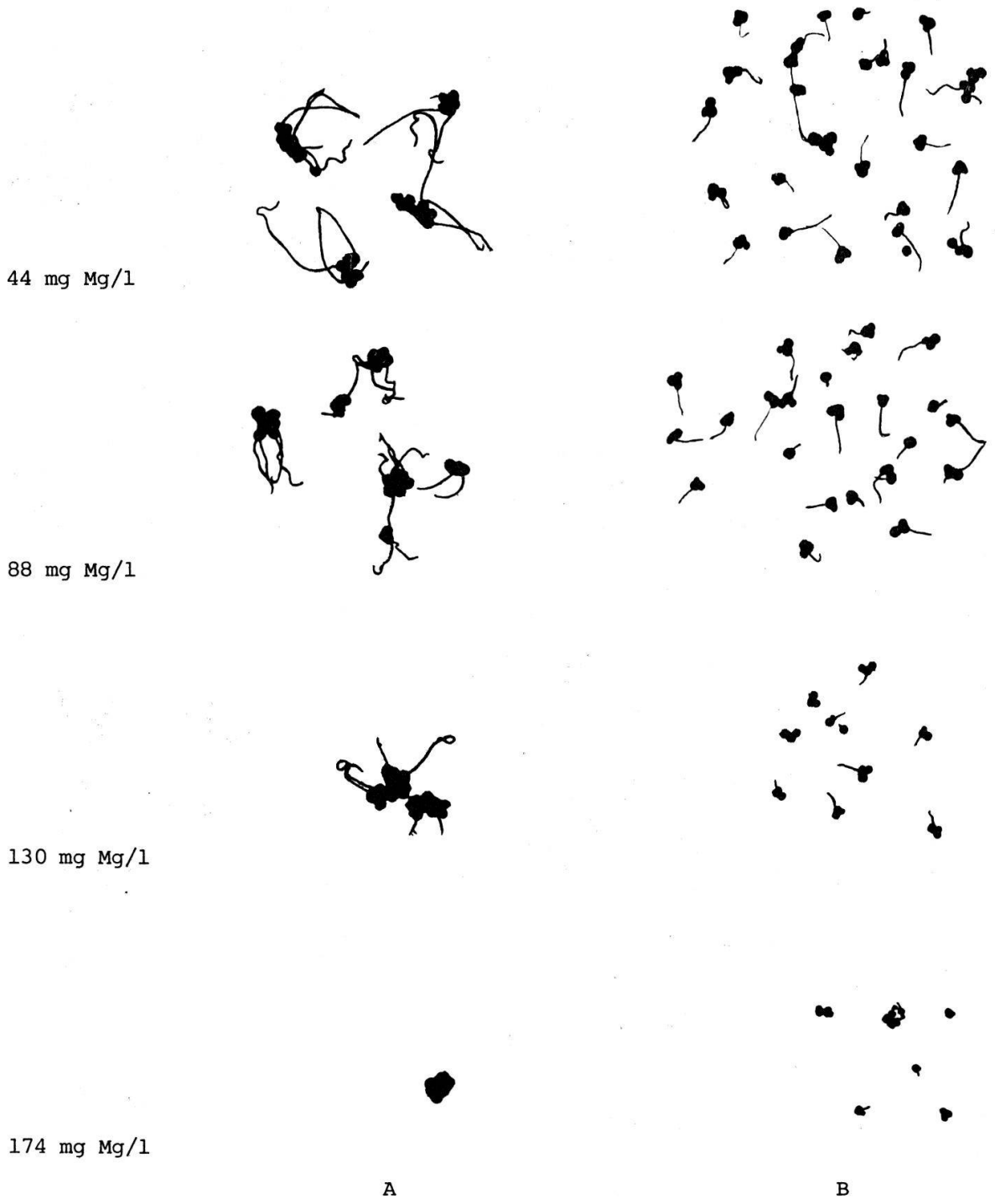


Abb. 6b. *Lemna gibba* (A) und *Spirodela polyrrhiza* (B). Grössenverhältnis der Lemnaceen-Glieder bei verschiedenen Mg-Konzentrationen und konstantem Ca-Gehalt (12 mg/l).

Abb. 6b. Lemna gibba (A) and Spirodela polyrrhiza (B). Frond size of duckweeds in cultures with various concentration of Mg and constant content of Ca (12 mg/l).

3.1.4. *Besondere Beobachtungen*

In den Versuchen liegen die Glieder von *Lemna minor* nicht flach auf der Wasseroberfläche, sondern stehen, wie von LüöND (1978) schon beschrieben, ein wenig von der Wasseroberfläche ab (Abb. 7).

Dies ist bei allen Konzentrationen der Fall, ausser bei sehr hoher Mg-Konzentration (130-175 mg/l) (Ca: Standardmenge), wo die Glieder flach aber zu Knäueln beisammen liegen. Es ist nicht bekannt, dass solch aufstehende Glieder in der Natur schon beobachtet wurden.

Bei *Lemna minuscula* unterstreicht die äussere Erscheinung die niedrige Wachstumsrate bei geringen Ca-Konzentrationen (2.4 mg/l) (Mg: 8.7 mg/l): die Glieder sind klein und zum Teil gelblich.

Bei niedrigem Mg-Gehalt (0.035 mg/l; Ca 12 mg/l) bilden die Glieder Knäuel. Sie haben eine zugespitztere Form, was auch zu erklären vermag, weshalb das Längen/Breiten-Verhältnis hier grösser ist als bei den anderen Konzentrationen. Bei mittlerem Mg-Gehalt geht die Knäuelung zurück, um bei höheren Konzentrationen (ab 44 mg/l) immer stärker in Erscheinung zu treten.

Bei *L. gibba* verfärben sich die Glieder in den Grenzbereichen orange bis weisslich.

Die Glieder von *Spirodela* sind, wie schon erwähnt, bei hohem Ca-Gehalt sehr stark gewölbt und zwar unabhängig von der Mg-Konzentration. Bei geringen Ca-Konzentrationen (2.4-12 mg/l; Mg: 8.7/l) sind die Glieder fast transparent. Dadurch sind sie besser sichtbar und somit auch leichter zu zählen. Die relativ hohe Wachstumsrate bei 2.4 mg Ca/l (Abb. 2d Mitte) ist wohl auf diese Tatsache zurückzuführen.

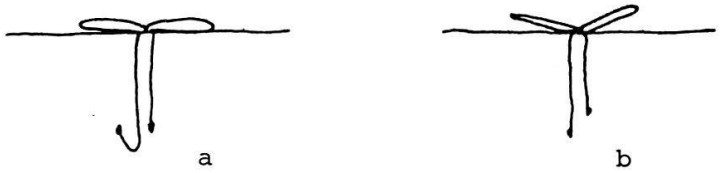


Abb. 7. *Lemna minor* (6578). Normale (a) und abweichende Form (b).

Fig. 7. Lemna minor (6578). Normal (a) and deviating form (b).

Bei hohem Mg-Gehalt (175 mg/l; Ca: 12 mg/l) sind die Glieder wie bei *Lemna minor* und *L. minuscula* stark geknäuelt. Im übrigen sind die Gewebepartien gelbgrün, die Nerven dagegen dunkler grün. Bei noch höheren Mg-Konzentrationen sind die Glieder nicht mehr zu Knäueln zusammen, dafür ist die Gliederunterseite voll von dunkelroten Punkten. Es handelt sich dabei um eine Pigmentbildung die bei absterbenden Gliedern eintritt. Die Chlorophyllbildung ist gering, besonders die neuen Glieder sind fast transparent.

3.2. *Felduntersuchungen*

3.2.1. *Eigene Messungen*

In den Tabellen 1-5 sind die Ergebnisse der Felduntersuchungen wiedergegeben.

Bevor auf die einzelnen Arten eingegangen wird, noch zwei Bemerkungen:

1) Es werden nur einige, charakteristische Standorte besprochen.
2) Bei einigen Probestellen, wo Lemnaceen sonst vorkamen, fehlten diese im Monat Juli. Grund dafür könnte der heftige Regen sein der einige Tage vor der Probeentnahme fiel. Die Lemnaceen wurden dort wahrscheinlich durch das Hochwasser fortgeschwemmt. (Siehe u.a. Probestellen Nr. 15 und 17).

Lemna minor. - Studiert man anhand der untersuchten Standorte das Vorkommen von *L. minor*, fällt auf, dass diese Arten in Gewässern mit den verschiedensten Ca- und Mg-Konzentrationen vertreten sind. Man findet sie, obwohl wenig verbreitet, in Gewässern mit geringen Ca- und sehr geringen Mg-Gehalten, z.B. Probestelle Nr. 24: 15-31 mg Ca/l, 0.9-1.7 mg Mg/l, + (Deckungsgrad); Probestelle Nr. 36: 18-24 mg Ca/l, 0.4-2.2 mg Mg/l, + (Deckungsgrad). *L. minor* kommt aber auch bei den höchsten im Untersuchungsgebiet gefundenen Ca-Konzentrationen vor. Probestelle Nr. 20 enthielt von Mai bis August Ca-Gehalte von 170-180 mg/l (Mg-Gehalt: ca. 10 mg/l). Der Deckungsgrad betrug 25-100%. Beispiele von Gewässern mit mittlerem Ca-Gehalt und hohem Mg-Gehalt, welche *L. minor* enthielten, sind die Probestellen Nr. 1 und 37: Nr. 1: 54-61 mg Ca/l, 13-17 mg Mg/l, + (Deckungsgrad); Nr. 37: 58-63 mg Ca/l, 12-16 mg Mg/l, 1-25% Deckungsgrad.

Lemna minuscula. - Das Wasser der Probestelle Nr. 15 enthielt, immer auf das Untersuchungsgebiet bezogen, mittlere Ca- bzw. Mg-Konzentrationen (68-98 mg

Ca/l und 5.9-8.6 mg Mg/l). Man findet diese Art aber auch in Gewässern mit mittleren Ca- und hohen Mg-Gehalten. Nr. 35: 94-105 mg Ca/l, 13.0-18.5 mg Mg/l, 25-75% Deckungsgrad; Nr. 38: 53-128 mg Ca/l, 11.3-16.7 mg Mg/l, 25-100% Deckungsgrad.

Lemna gibba. - Die einzige Probestelle von *L. gibba* (Nr. 90) weist im Juli und August mittlere Ca- und Mg-Konzentrationen auf (81 bzw. 89 mg Ca/l und 10.1 bzw. 11.8 mg Mg/l). Das Ca/Mg-Verhältnis beträgt damit ca. 8. Für eine Aussage sind diese beiden Daten jedoch nicht genügend.

Spirodela polyrrhiza. - Die an Ca- und Mg-Ionen äusserst arme Probestelle Nr. 29 wurde bei *Lemna minor* schon erwähnt. *S. polyrrhiza* kommt hier bei 12-20 mg Ca/l und 0.9-1.3 mg Mg/l mit einem Deckungsgrad von 1-25% vor. Auch unter den mittleren und konstanten Bedingungen bei der Probestelle Nr. 27 (47-52 mg Ca/l und 3.0-4.8 mg Mg/l) entwickelte sich *S. polyrrhiza* gut (Dekkungsgrad 1-75%). Gefunden wurde diese Art in Gewässern mit Ca-Konzentrationen bis 96 mg/l und Mg-Konzentrationen bis 6.5 mg/l.

Versucht man den Konzentrationsbereich von Ca und Mg in dem *Lemna minor*, *L. minuscula* oder *Spirodela polyrrhiza* vorkommen zu bestimmen, zeichnet sich folgendes ab:

Lemna minor dominiert im untersuchten Gebiet eindeutig. Man findet sie bei allen möglichen Ca- und Mg-Konzentrationen. Bei mittleren Ca- und hohen Mg-Gehalten wird sie oft von *L. minuscula* begleitet, die in Gewässern mit weniger als 5.5 mg Mg/l oder mehr als 130 mg Ca/l nicht gefunden wurde. *L. minuscula* kommt in unseren Untersuchungen auch nie allein, sondern immer nur zusammen mit *L. minor* vor. In den Gewässern mit niedrigen bis mittleren Ca- und niedrigen Mg-Konzentrationen (bis 96 mg Ca/l und 7.6 mg Mg/l), kommt *L. minor* mit *Spirodela polyrrhiza* vor. Im Gegensatz zu *L. minuscula* findet man *S. polyrrhiza* jedoch auch allein (Probestelle 14a).

Berechnet man das Ca/Mg-Verhältnis, findet man das Kleinste (ca. 2.1) bei Probestelle Nr. 22 im Mai. Bei dieser Probestelle ist das Ca/Mg-Verhältnis, mit Ausnahme des Monats Juni, immer relativ klein. *L. minor* wurde, obwohl nur mit geringe, Deckungsgrad, auch in diesem Gewässer gefunden. Das grösste Ca/Mg-Verhältnis (117) weist Probestelle Nr. 32 im Juni auf. In den anderen Monaten schwankt das Verhältnis um 20.

LEGENDE ZU DEN TABELLEN 1-5

1) Die Lage der Probenummern ist auf Seite 123 und 124 angegeben.

2) Die Analysenproben wurden an folgenden Daten entnommen:

4 = 22. - 24. April 1980
5 = 27. - 29. Mai 1980
6 = 21. - 23. Juni 1980
7 = 23. - 25. Juli 1980
8 = 25. - 27. August 1980

3) Bei der Bewertung der einzelnen Arten wurde die Skala nach BRAUN-BLANQUET verwendet:

5 = 75 bis 100% der Fläche deckend
4 = 50 bis 75% der Fläche deckend
3 = 25 bis 50% der Fläche deckend
2 = 5 bis 25% der Fläche deckend
1 = bis 5% der Fläche deckend
+ = nur wenig Fläche deckend
r = nur vereinzelte Individuen

3.2.2. *Gewässeranalysen aus der Literatur*

Um die eigenen Felduntersuchungen zu ergänzen, wurde in der Literatur nach Publikationen gesucht, welche sowohl Gewässeranalysen mit Ca- und Mg-Werten, als auch genaue Vegetationsaufnahmen enthalten. Die Arbeiten dieser Autoren wurden, für jede Lemnaceenart getrennt, zusammengestellt (Tab. 2 - 5). Die Tabellen werden in der Diskussion kommentiert.

Tab. 1. Werte der Gewässeranalysen. (Nr. = Probestelle Nr.)

Table 1. Values of the water analysis.

Nr.	Ca^{++} (mg/l)					Mg^{++} (mg/l)					µS/cm					pH			
Monat	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7
1	94	54	55	60	61	18	15	16	13	14	500	360	335	375	400	8.0	7.8	7.1	6.0
2	56	44	47	40	32	6	6	5	5	4	265	265	230	210	175	8.0	8.1	7.1	6.2
3	92	59	74	49	55	11	11	8	7	7	450	405	350	300	310	7.8	8.0	7.0	6.2
4	63	52	70	64	64	7	8	7	7	7	310	310	335	325	345	8.0	8.0	7.0	6.2
5	47	37	46	66	47	11	11	8	10	11	265	260	270	395	320	8.0	8.0	7.1	6.2
6	88	80	90	75	76	12	12	12	10	10	435	450	440	405	445	7.9	7.7	7.0	6.3
7	115	78	89	69	62	19	16	17	12	13	560	530	485	415	415	7.9	7.7	7.0	6.5
8	98	76	95	79	61	15	18	23	17	16	520	505	520	485	440	8.1	7.7	7.1	6.6
9	80	76	94	75	55	12	18	22	16	16	360	510	520	475	415	9.0	7.6	7.2	7.0
10	120	77	100	84	64	14	16	19	15	15	600	545	505	520	455	7.9	7.6	7.3	7.0
11	63	58	74	64	60	7	8	6	6	6	300	350	320	330	350	6.6	6.9	6.7	6.7
12	111	77	75	52	80	8	8	5	5	7	495	515	325	285	480	6.3	6.9	6.7	6.9
13	89	32	88	70	83	9	9	7	6	8	430	480	375	360	470	6.5	6.2	6.6	6.8
14a	88	58	96	88	92	6	7	5	6	6	375	445	395	450	490	6.7	6.3	6.6	6.8
14b	113	53	100	84	93	8	9	7	7	8	360	460	430	450	515	6.8	6.5	6.7	6.8
15	68	69	93	71	98	6	8	7	7	9	320	400	400	405	540	7.1	6.7	6.7	6.8
17	70	31	71	59	52	8	8	7	7	7	435	380	365	335	365	7.3	6.5	6.5	6.6
18a	54	38	31	45	38	11	11	11	10	10	405	390	385	435	410	7.5	7.1	7.1	8.3
18b	-	-	75	67	64	-	-	8	8	7	-	-	440	415	520	-	-	7.0	7.7
19	130	114	129	117	103	11	11	11	10	9	945	900	840	945	929	8.3	7.0	7.1	7.7
20	145	174	175	174	177	10	12	12	10	9	930	865	1060	600	985	7.8	6.9	7.0	7.4
21	80	56	63	58	56	14	17	21	16	15	520	485	465	470	490	8.4	7.4	7.4	8.1
22	66	42	55	55	46	16	20	2	18	19	320	345	365	380	375	8.2	7.5	7.5	8.0
23	77	58	-	-	-	16	18	-	-	-	380	535	-	-	-	8.3	7.3	-	-
24	31	20	15	28	20	1	11	1	1	2	480	90	100	130	120	8.2	6.8	7.1	7.1
26	24	24	18	24	24	2	2	0.4	2	2	100	130	135	160	145	8.3	8.8	7.1	7.1
27	51	52	51	47	45	4	5	3	5	4	300	390	330	310	325	8.6	7.9	7.0	7.0
28a	51	15	16	45	43	4	4	3	4	4	290	280	345	320	320	9.0	8.4	7.1	7.0
28b	39	26	45	38	39	3	2	1	4	4	240	250	230	295	295	9.2	7.3	7.2	7.1
29	18	20	16	17	18	1	1	1	1	1	90	120	80	145	110	9.1	7.5	7.4	7.3
30	9	12	43	10	11	1	1	18	2	2	50	70	70	70	230	8.0	7.3	7.5	7.4
31	18	18	34	19	11	2	2	0.6	2	2	100	100	235	145	255	9.0	7.3	7.2	7.2
32	42	47	47	43	31	2	2	0.4	2	2	170	210	225	200	545	7.7	7.1	7.1	7.1
33	35	32	43	39	46	3	3	2	3	3	150	145	215	200	240	8.1	7.3	7.1	7.1
34	70	57	57	67	45	3	3	1	3	4	290	235	270	285	240	8.0	7.2	7.1	7.0
35	101	105	103	94	101	13	14	18	15	16	590	475	600	390	630	7.7	7.0	6.9	6.9
36	88	52	55	79	76	12	14	15	13	15	445	390	370	470	525	8.3	6.9	7.1	7.2
37	63	53	63	58	78	15	14	16	12	15	355	335	400	410	410	8.0	7.2	7.1	7.3
38	128	53	78	81	103	13	12	14	11	17	690	380	455	470	400	7.6	6.9	7.1	7.2
39	117	55	44	85	63	14	15	16	12	14	525	375	350	470	425	8.1	6.7	7.2	7.2
40	116	74	66	86	88	14	16	16	12	14	520	450	420	485	450	8.9	6.9	7.2	7.2
41	120	73	65	85	90	15	16	15	12	14	525	450	415	515	535	8.1	6.7	7.2	7.2
42	109	84	103	94	112	13	14	18	13	14	570	480	600	545	555	7.7	6.9	7.1	7.2
43	97	95	106	101	112	12	15	18	14	15	530	550	620	450	650	8.0	7.3	7.1	7.2
44a	95	59	60	91	92	16	15	14	13	16	455	405	360	500	600	7.8	7.3	7.3	7.3
44b	100	81	96	54	91	18	16	19	15	16	255	520	380	525	600	7.8	7.1	7.2	7.3
44c	116	41	101	93	70	21	16	19	15	16	610	535	625	595	490	7.5	7.2	7.2	7.3
45	-	-	46	-	-	-	-	6	-	-	-	-	470	-	-	-	-	7.0	-
90	-	-	-	81	89	-	-	-	10	12	-	-	-	520	565	-	-	-	7.7

Tab. 1 (Forts.) Angaben zum Deckungsgrad.

Table 1 (continued). Cover data.

Probestelle Nr.	*L. minor*					*L.minuscula*					*L. gibba*					*L.trisulca*					*S.polyrrhiza*				
Monat	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
1	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
2	+	+	+	r	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3	4	+	-	+	-	r
3	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	r	-	1	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
5	r	+	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	+	-	3	r	+	+	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
13	-	-	r	-	2	-	-	r	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14a	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	3	4	4	5
14b	-	+	-	-	+	-	r	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	+	r	2	-	1	+	+	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	r	1	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1
18a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18b	-	-	1	+	1	-	-	3	1	3	-	-	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3	4	4	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	+	+	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	4	4	2	3	3	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-	1	2
28a	r	2	-	r	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	2
28b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
29	+	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	1
30	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	3	4	4	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
35	2	2	3	1	1	2	3	4	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	r	+	-	r	r	r	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	2	1	2	1	2	3	1	3	3	4	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	-	-	-	-	-
38	2	3	2	4	3	2	2	3	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	r	+	r	r	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
40	1	1	4	2	3	2	+	3	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	3	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
44a	r	+	+	+	+	-	r	+	+	-	-	-	-	-	-	+	1	2	3	1	-	-	-	-	-
44b	-	r	3	3	4	-	-	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44c	-	3	r	-	r	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2. Literaturangaben, die Wasseranalysen von Gewässern mit *Lemna minor* enthalten.

Table 2. Literature data on water analysis from natural habitats of Lemna minor.

Anzahl Proben	pH	ϰ (µS/cm)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca/ Mg	Dek- kungs- grad	Autor Untersuchungs- gebiet
5	6.9	-	83.5	12.5	6.7	5	HILD & REHNELT (1965) Deutschland
2	8.3 (8.1-8.4)	597 (589-605)	102.6 (102-103)	35 (27-43)	2.9	1	KOHLER et al. (1974) Deutschland
19 4	(7.2-7.6) (7.2-7.6)	(350-550) (180-370)	(55-115) (25-65)	- -			METZLER (1976) Deutschland
12(Ca) 1(Mg) 44(pH) 44( )	7.1 (6.0-9.5)	413 (103-1770)	56 (20-174)	43	1.3	3	SEGAL (1966) Holland
16	7.9 (6.6-9.0)	-	46 (18-101)	16.6 (4.6-43.8)	2.8		WOZAKOWSKA-NATKANIEC (1977) Polen
7(Ca) 5(Mg) 8(pH) 9( )	6.7 (6.2-7.1)	24.5 (20-27)	1.6 (1.2-1.9)	0.8 (0.6-1.1)	2.0	+	LOHAMMAR (1938) Schweden
183(Ca) 125(Mg) 225(pH) 220( )	7.3 (5.9-8.9)	140 (34-730)	20 (3.6-79)	3.6 (1.1-19.5)	5.5	+	
17(Ca) 13(Mg) 23(pH) 21( )	7.7 (6.5-8.3)	266 (176-417)	43.6 (26-65)	7.0 (3.6-11.3)	6.0	>+	
9	7.3 (6.8-7.7)	320 (70-700)	13 (3.0-32)	23 (2.5-85)	0.6		LANDOLT (1975) Nordamerika
6	6.7 (5.9-7.4)	422 (118-649)	49.9 (12-94)	8.5 (2.6-17.5)	5.8	1	DE LANGE (1972) Holland
2	6.9 (6.5-7.5)	782 (553-1010)	151 (83-218)	17.1 (11-23.1)	8.8	1	
108(Ca) (Mg) ( ) 80(pH)	7.3 (6.0-9.1)	380 (80-1060)	64 (11-177)	9.1 (0.4-20.2)	7.0	5	ZIMMERMANN (1981) Schweiz Frankreich Deutschland

Tab. 3. Literaturangaben, die Wasseranalysen von Gewässern von *Lemna minuscula* enthalten.

Table 3. Literature data on water analysis from natural habitats of Lemna minuscula.

Anzahl Proben	pH	ϰ (µS/cm)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca/ Mg	Dek-kungs-grad	Autor Untersuchungsgebiet
19	7.5 (6.6-9.1)	550 (55-1800)	10 (1.0-79)	17 (0.7-110)	0.6		LANDOLT und WILDI (1977) Nordamerika
43 (Ca) (Mg)	7.2 (6.7-7.3)	455 (320-690)	81 (41-128)	11.6 (1.3-18.7)	7.0	5	ZIMMERMANN (1981) Schweiz Frankreich Deutschland

Tab. 5. Literaturangaben, die Wasseranalysen von Gewässern mit *Spirodela polyrrhiza* enthalten.

Table 5. Literature data on water analysis from natural habitats of Spirodela polyrrhiza.

Anzahl Proben	pH	ϰ (µS/cm)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca/ Mg	Dek-kungs-grad	Autor Untersuchungsgebiet
5			83.5	12.5	6.7	2	HILD und REHNELT (1965) Deutschland
19 (Ca) 7 (Mg) 46 (pH) 46 ( )	7.0 (6.5-8.3)	481 (130-1580)	75 (18-187)	19 (0.1-43)	3.9		SEGAL (1966) Holland
19	7.4 (6.6-8.2)	390 (100-4400)	20 (6.5-145)	15 (3.6-85)	1.3		LANDOLT und WILDI (1977) Nordamerika
23 (Ca) (Mg)	7.2 (6.3-8.6)	285 (80-490)	49 (18-96)	4.0 (0.7-7.6)	12.4	5	ZIMMERMANN (1981) Schweiz Frankreich Deutschland

Tab. 4. Literaturangaben, die Wasseranalysen von Gewässern mit *Lemna gibba* enthalten.

Table 4. Literature data on water analysis from natural habitats of Lemna *gibba.*

Anzahl Proben	pH	ϰ (µS/cm)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Ca/Mg	Dekkungsgrad	Autor Untersuchungsgebiet
29 (Ca) 8 (Mg) 70 (pH) 68 ( )	7.3 (0.6-8.6)	906 (108-6600)	80 (5-169)	19 (0.1-41)	4.2	3* 4**	SEGAL (1966) Schweden
15	8.2 (7.4-9.8)	930 (200-2600)	40 (6.5-115)	66 (7.5-145)	0.6	1-5	LANDOLT (1975) Nordamerika
7	7.3 (6.8-7.5)	1357 (951-1950)	138 (58-191)	30.3 (15-48)	4.6	4* 1**	DE LANGE (1972) Holland
5	7.1 (6.9-7.4)	979 (708-1600)	110 (67-139)	23.9 (5.6-41.4)	4.6	5*	
3	6.8 (6.7-7.0)	986 (129-2500)	76 (17-168)	19.6 (3.7-49.8)	3.8	2* 3**	
5	7.3 (7.1-7.8)	831 (593-1120)	101 (70-179)	8.35 (1.8-14.3)	12	1* 5**	
3	7.5 (7.4-7.5)	652 (404-955)	74 (40-106)	19.9 (4.8-35.4)	3.7	2* 3**	
6	6.7 (5.9-7.4)	422 (118-649)	50 (12-94)	8.5 (2.6-17.5)	5.9	2*	
2	6.9 (6.5-7.5)	782 (553-1010)	151 (83-218)	17.1 (11-23.1)	8.8	<1*	
40 (Ca) 25 (Mg) 58 (pH) 48 ( )	7.5 (6.3-8.9)	254 (112-730)	36.3 (10-79)	7.7 (2.2-19.5)	4.7	+	LOHAMMAR (1938) Schweden
11 (Ca) 9 (Mg) 17 (pH) 14 ( )	7.6 (6.5-8.3)	312 (192-417)	50.7 (38-65)	8.3 (5.9-11.3)	6.1	>+	
2 (Ca) (Mg) ( ) 1 (pH)	7.7	545 (520-565)	85 (81-89)	10.9 (10.1-11.5)	7.8	3	ZIMMERMANN (1981) Frankreich

* bauchige Form
** flache Form

LANDOLT (mündl.) vermutet allerdings, dass es sich bei der flachen Form in vielen Fällen um *Lemna minor* handelt.

4. Diskussion

Mit Hilfe der Werte der Klimaversuche, der Felduntersuchungen und der Angaben aus der Literatur, wird versucht die einzelnen untersuchten Arten zu charakterisieren.

Bei *Lemna minor* bestätigten die Klimaversuche, sowie die eigenen Felduntersuchungen die meisten Angaben aus der Literatur. So findet man *L. minor* bei geringen (LOHAMMAR 1938, LANDOLT und WILDI 1977), mittleren (LOHAMMAR 1938, WOZAKOWSKA-NATKANIEC 1977) und hohen (SEGAL 1966, DE LANGE 1972) Ca-Konzentrationen, wobei mit zunehmender Konzentration auch die Wachstumsrate gesteigert wird. Dies widerspricht allerdings der Aussage von LANDOLT und WILDI (1977), *L. minor* meide hohe Ca-Konzentrationen. Jene Messungen wurden vor allem im Hauptverbreitungsgebiet von *L. gibba* und *L. turionifera* gemacht, die offenbar bei hohen Ca- und Mg-Konzentrationen konkurrenzkräftiger sind; im Osten der USA, wo diese Arten weitgehend fehlen, wächst *L. minor* auch in Gewässern mit hohem Ca-Gehalt (LANDOLT, mündlich). Auch bezüglich der Mg-Konzentration ist *L. minor* nicht besonders empfindlich. In der Klimakammer wächst sie bei 130 mg Mg/l noch gut und nach Literaturangaben (SEGAL 1966) kommt sie in Gewässern mit 40 mg Mg/l vor, d.h. bei Konzentrationen, die nur von *L. gibba* überboten werden.

Die einzige Literaturangabe zu *Lemna minuscula* bestätigt zum Teil die bei den Felduntersuchungen gemachten Beobachtungen. *L. minuscula* kommt auch bei LANDOLT und WILDI (1977) bei höheren Mg-Konzentrationen vor als *Spirodela polyrrhiza*. Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen aus den Felduntersuchungen, kommt sie aber im Labor auch bei niedrigeren Ca-Konzentrationen als *S. polyrrhiza* vor.

Da günstige Nährstoffverhältnisse für *Lemna gibba* hohe Na^{+}-, Ca^{++}- und Mg^{++}- und hohe Stickstoffkonzentrationen bedeuten, kommt diese Art in eher trockenen Regionen vor (z.B. mediterrane Gebiete oder Kalifornien) (LANDOLT und WILDI 1977). Diese Angaben aus der Literatur können nicht mit unseren Felduntersuchungen verglichen werden, da wir zu dieser Art dem einzigen Fundort nur an zwei Monaten Wasserproben entnommen haben. Die Resultate der Klimaversuche bestätigen jedoch das hohe Mg-Bedürfnis und auch die höhere Mg-Toleranz von *L. gibba*.

Spirodela polyrrhiza hat nach LANDOLT und WILDI (1977) eine sehr weite ökologische Amplitude, sowohl was das Klima, als auch was die chemische Zusammensetzung der Gewässer betrifft. Wir besitzen zuwenig Daten, um diese Aussage zu bestätigen oder zu widerlegen. Aus unseren Felduntersuchungen und aus den Angaben aus der Literatur wurde aber eher ein vermehrtes Aufkommen von *S. polyrrhiza* in Mg-ärmeren Gewässern (bis ca. 15 mg/l) gefunden. Die Klimakammerversuche zeigen jedoch, dass *S. polyrrhiza* gut auch in Gewässern mit höheren Mg-Konzentrationen vorkommen kann.

Abschliessend kann bemerkt werden, dass das Vorkommen von *Lemna minor*, *L. minuscula* und *Spirodela polyrrhiza* nur in extremen Fällen durch zu niedrigen oder zu hohen Ca- und Mg-Gehalt der Gewässer eingeschränkt wird: zu niedere Konzentrationen in Moorgebieten und in niederschlagsreichen Gebieten über basenarmen Gesteinen, zu hohe Konzentrationen in Steppen- und Wüstengebieten. Oft wird das Wachstum in solchen Fällen gleichzeitig auch durch andere Faktoren eingeschränkt oder verhindert, z.B. bei hohen Ca- und Mg-Konzentrationen durch zeitweilige Austrocknung der Gewässer, da Seen mit hohem Ca- und Mg-Gehalt meist in sehr trockenen Regionen vorkommen. Eine Ausnahme stellt *Lemna gibba* dar, die zum Wachsen relativ hohe Ca- und Mg-Mengen benötigt und auch das Austrocknen ertragen kann (Samenbildung!).

Im weiteren beeinflussen Ca und Mg das Vorkommen der untersuchten Lemnaceen-Arten derart, dass einige bei höheren, andere bei niedrigeren Ca- bzw. Mg-Konzentrationen ein besseres Wachstum zeigen.

Was den Einfluss des Ca/Mg-Verhältnisses auf das Vorkommen der untersuchten Arten betrifft, so geht aus unseren Versuchen hervor, dass dieses Verhältnis eine wichtige Rolle spielt, aber mehr im Sinne, dass bei einem Ca/Mg-Verhältnis das kleiner als 0.1 ist, für das Vorkommen der Pflanze mehr Ca benötigt wird, da die hohen Mg-Mengen entgiftet werden müssen, und dass hingegen bei grösserem Verhältnis immer genügend Ca vorhanden ist, die Toxizität des Mg aufzuheben. Dass ein besonders grosses Ca/Mg-Verhältnis für die Pflanze schädlich ist, wurde nicht festgestellt.

Zusammenfassung

Es war Ziel dieser Arbeit, den Einfluss von Ca und Mg auf das Wachstum von *Lemna minor, L. minuscula, L. gibba* und *Spirodela polyrrhiza* zu untersuchen. Dazu wurden a) Kulturversuche in Klimakammern und b) Gewässeranalysen von Lemnaceen-Standorten im Feld durchgeführt.

a) Untersuchungen in der Klimakammer

Es wurden die Ionenkonzentrationen der Nährlösung von 1) Ca und Mg gemeinsam, 2) nur von Ca, 3) nur von Mg, variiert (untersuchter Bereich: Ca 0.05-600 mg/l, Mg 0.035-435 mg/l):

- Bei einem konstanten Ca/Mg-Verhältnis von 1.4 scheint die Wachstumskurve durch das Ca bestimmt zu werden.
- Alle vier Arten konnten bei Ca-Konzentrationen von 0.5-600 mg/l wachsen. Einzig in Fällen in denen das Ca/Mg-Verhältnis kleiner als 0.3 war, wurde von den Pflanzen mehr Ca (mind. 2.5 mg/l) benötigt, um damit eine toxische Wirkung des Mg zu verhindern. Mit der Erhöhung der Ca-Konzentration nahm die Wachstumsrate nur bei *Lemna minor* sichtlich zu. Bei den anderen untersuchten Arten bleibt das Wachstum bei genügender Ca-Versorgung über alle Konzentrationen hinweg mehr oder weniger konstant.
- Bezüglich Mg stellte *Lemna minor* die geringsten Ansprüche. Ihre Wachstumsrate war schon ab 0.035 mg/l etwa konstant. *L. minuscula* und *Spirodela polyrrhiza* konnten zwar bei 0.035 mg/l auch wachsen, doch nahm ihre Wachstumsrate bis 0.35 mg/l noch zu. *L. gibba* war erst ab 0.35 mg/l lebensfähig. Bei allen vier Arten nahm die Wachstumsrate oberhalb 44 mg Mg/l mehr oder weniger stark ab. Ueber einer Konzentration von 175 mg Mg/l stellten alle untersuchten Arten das Wachstum ein (Ca/Mg ca. 0.07!).

b) Untersuchungen in natürlichen Gewässern

- *Lemna minuscula* und *Spirodela polyrrhiza* kamen in den untersuchten Gewässern bei ähnlichen Ca-Gehalten vor, und zwar wurden sie bis zu einer Konzentration von ca. 100 mg Ca/l gefunden.
- *Lemna minor* besiedelte dagegen Standorte mit den höchsten im Gebiet gefundenen Ca-Werten (ca. 180 mg/l).
- Bei *S. polyrrhiza, L. minor* und *L. minuscula* lag der untere Grenzwert der Ca-Konzentration bei ca. 20 mg/l. Geringere Ca-Gehalte wurden in den untersuchten Gewässern nicht gemessen.
- Wie für Ca besass *L. minor* auch bezüglich Mg den weitesten Existenzbereich. Sie kam bei niedrigen Mg-Konzentrationen (0.9-7.9 mg/l) mit *S. polyrrhiza,* bei höheren (5.9-18.7 mg/l) mit *L. minuscula vor.*
  (*L. gibba* wurde im Gebiet nur in einem Gewässer angetroffen).

Summary

The present paper deals with the influence of Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations upon the growth of duckweeds (*Lemna minor, L. minuscula, L. gibba* and *Spirodela polyrrhiza*). The study was carried out in controlled conditions as well as in the wild. In the cultures, various concentrations of Ca and Mg were used. The variation bracket for calcium comported 0.05-600 mg/l, that for magnesium 0.035-435 mg/l.

The following results were obtained in controlled conditions:

- At a constant Ca/Mg ratio of 1.4, the Ca concentration determined the multiplication rate.
- All four species grew at Ca concentrations of 0.5-600 mg/l. Only when the Ca/Mg ratio was less than 0.3, higher concentrations of Ca were required (min. 2.5 mg/l) to reduce the toxicity of Mg. Multiplication rates of *L. minor* increased with increasing Ca concentration, but those of the other three species remained constant above a minimum Ca concentration.
- Increasing Mg concentrations had small effects upon multiplication rates of *Lemna minor*; above a concentration of only 0.035 mg/l the multiplication rate was more or less constant. *Lemna minuscula* and *Spirodela polyrrhiza* also grew in these conditions, but their multiplication rates increased with increasing Mg concentrations to 0.35 mg/l. *L. gibba* survived only at Mg concentrations exceeding 0.35 mg/l. Multiplication rates of all four species diminished more or less equally at Mg concentrations above 44 mg/l. All cultures died at Mg concentrations exceeding 175 mg/l (Ca/Mg ca. 0.07!).

The following trends were noticed in natural waters:

- *L. minuscula* and *S. polyrrhiza* were observed in waters with similar Ca concentrations up to a limit of ca. 100 mg/l.
- *L. minor* colonised sites with the highest measured Ca concentrations (ca. 180 mg/l).
- *S. polyrrhiza, L. minor* and *L. minuscula* were observed in waters with the lowest measured Ca concentrations (ca. 20 mg/l).
- *L. minor* tolerated the widest range of Mg concentrations. It was observed together with *S. polyrrhiza* in sites with low Mg levels (0.9-7.9 mg/l) and with *L. minuscula* in habitats with high Mg levels (5.9-18.7 mg/l). (*L. gibba* only occurred in a single examined habitat).

Literatur

EDI, 1974: Vorläufige Empfehlung für die regelmässige Untersuchung schweizerischer Oberflächengewässer. Eidg.Dep.des Innern (EDI). 55 S.

HILD J. und REHNELT K., 1965: Oeko-soziologische Untersuchungen an einigen niederrheinischen Kalken. Ber.dtsch.bot.Ges. *78*, 289-304.

HILLMAN W.S., 1961: The *Lemnaceae* or duckweeds. A review of the descriptive and experimental literature. Bot.Rev. *27*, 221-287.

HUTNER S.H., 1953: Comparative physiology of heterotrophic growth. In: LOOMIS W.E., Growth and differentiation in plants. Iowa State Coll. Press, 417-466.

ISERMANN K., 1969: Aufnahme und Verlagerung von Calcium bei der höheren Pflanze. Inst.f.Pflanzenernährung,Univ. Hohenheim. 132 S.

KOHLER A., BRINKMEIER R. und VOLLRATH H., 1974: Verbreitung und Indikatorenwert der submersen Makrophyten in den Fliessgewässern der Friedberger Au. Ber.Bayr.bot.Ges. *42*, 5-36.

LANDOLT E., 1957: Physiologische und ökologische Untersuchungen an Lemnaceen. Ber.Schweiz.Bot.Ges. *67*, 271-410.

- 1975: Morphological differentiation and geographical distribution of the *Lemna gibba-Lemna minor* group. Aquat.Bot. *1*, 345-363.

- und WILDI O., 1977: Oekologische Felduntersuchungen bei Wasserlinsen (*Lemnaceae*) in den südwestlichen Staaten der USA. Ber.Geobot.Inst. ETH, Stiftung Rübel, *44*, 104-146.

DE LANGE L., 1972: An ecological study of ditch vegetation in the Netherlands. Thesis, Univ.of Amsterdam. 112 S.

LEUCHTMANN A., 1979: Physiologische Differenzierungen in der Familie der Lemnaceen. Diplomarbeit Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel (Manuskript). 86 S.

LOEW O., 1932: Die physiologische Funktion des Calciums. Angew.Bot. *14*, 169-182.

LOHAMMAR G., 1938: Wasserchemie und höhere Vegetation schwedischer Seen. Symbolae bot.Upsaliensis III, *1*, 252 S.

LüöND A., 1978: Unterschiedliche Nährstoffansprüche nahverwandter Arten und ihre ökologische Bedeutung. Diplomarbeit Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel (Manuskript), 84 S.

MELZER A., 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayrischer Seen. Diss. Bot. *34*. Cramer Lehre, Vaduz.

SEGAL S., 1966: Oecologie van hogere waterplanten. Vakbl.Biol. *46*, 138-149.

WOZAKOWSKA-NATKANIEC H., 1977: Ecological differentiation of *L. minor* and *S. spirodela* (L.) Schleiden populations. Acta Soc.Bot.Pol. *66*, 201-229.

ZIMMERMANN M.A., 1980: Die Bedeutung des Calcium-und Magnesiumgehaltes von Gewässern für das Leben von Wasserpflanzen am Beispiel der Familie der *Lemnaceae* (Wasserlinsen). Diplomarbeit Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel (Manuskript), 92 S.

Adresse der Autorin: Maria-Astrid Zimmermann, dipl. Natw. ETH
Geobotanisches Institut ETH
Stiftung Rübel
Zürichbergstr. 38
CH-8044 Zürich

Berichte des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübel,
48. Heft (1980)

ERRATA:

S. 62, letzte Zeile: ... a kind of maternal investment ....

S. 64, 11. Zeile : The period of rapid growth in the annuals preceding their reproduction is undoubtedly ....

S. 145 und 146 : Die Abbildungen wurden vertauscht. Zur Legende von Abb. 6a gehört die Abbildung von S. 146; zur Legende von Abb. 6b gehört die Abbildung von S. 145.