

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)
Band: 80 (1983)

Artikel: Biosystematic investigations in the family of duckweeds ("Lemnaceae").
Volume 3 = Das Wachstum von Wasserlinsen ("Lemnaceae") in Abhängigkeit des Nährstoffangebots, insbesondere Phosphor und Stickstoff. Volume 3
Autor: Lüönd, Annamaria
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308709>

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: 01.02.2026

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

**Biosystematic investigations in the family
of duckweeds (*Lemnaceae*)**

Volume 3

**Das Wachstum von Wasserlinsen (*Lemnaceae*)
in Abhängigkeit des Nährstoffangebots, insbesondere
Phosphor und Stickstoff**

von Annamaria Lüönd

1983

Inhalt

Vorwort

1. Einleitung	7
2. Material und Methoden, Untersuchungsgebiete	10
2.1. Klimakammerversuche	10
2.1.1. Verwendete Arten und Stämme	12
2.1.2. Nährlösung	12
2.1.3. Wachstumsrate	17
2.1.4. Morphologie	17
2.1.5. Auswertung	18
2.2. Feldversuche	19
2.2.1. Gewässeruntersuchungen	19
2.2.2. Deckungsgrad	20
2.3. Untersuchungsgebiete	21
2.3.1. Geologie	25
2.3.2. Klima	28
3. Ergebnisse	29
3.1. Laboruntersuchungen	29
3.1.1. Wachstumsraten	30
3.1.2. Gliedgrösse und Farbveränderungen	35
3.1.3. Wurzellängen	43
3.1.4. Bemerkungen zu den Ergebnissen der Laboruntersuchungen	48
3.2. Feldversuche	55
3.2.1. Vorkommende Arten	57
3.2.2. Die wichtigsten Nährelemente in den untersuchten Gewässern und ihre Bedeutung für die Lemnaceen	57
3.2.3. Bemerkungen zu den Feldversuchen	101
4. Diskussion	103
Zusammenfassung - Summary	109
Literatur	111

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1979–1983 am Geobotanischen Institut der ETH, Stiftung Rübel. Sie wurde durch den ETH-Forschungskredit unterstützt.

Ich möchte all jenen herzlich danken, die mir hilfreich zur Seite standen. Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. E. Landolt, unter dessen Leitung diese Arbeit entstand, für seine stete Hilfsbereitschaft. Weiter danke ich Herrn Prof. Dr. H. Ambühl, der sich als Korreferent zur Verfügung stellte. Frau Prof. Dr. K. Urbanska danke ich für die Hinweise, die sie mir während zahlreicher Diskussionen gegeben hat und für die Durchsicht der englischen Zusammenfassung.

Herrn H.R. Binz danke ich herzlich für die Herstellung der Computerprogramme und für weitere wertvolle Tips. Allen meinen Kollegen und Kolleginnen, die mich während der Feldarbeit begleitet haben, möchte ich an dieser Stelle ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Frau A. Hegi schulde ich einen speziellen Dank für die Weitergabe ihrer Erfahrungen mit Lemnaceen, Nährlösungen und für die Zeichnung. Herr E. Schäffer ist mir bei den chemischen Analysen stets hilfsbereit zur Seite gestanden, wofür ich ihm danke. Allen weiteren Mitarbeitern des Instituts, namentlich Frau M. Siegl, Herrn R. Graf und Frau K. Rentsch danke ich für ihre Mithilfe.

Frau A. Honegger und Frau S. Dreyer danke ich für die Reinschrift.

Gedankt sei auch den Mitarbeitern der limnologischen und der chemischen Abteilung der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz für ihre Hilfe bei den Wasseranalysen, insbesondere den Herren Dr. H.R. Hegi (†) und E. Szabó. Herrn A. Kistler danke ich für die Analysen mit dem Atomabsorber.

1. Einleitung und Problemstellung

Lemnaceen (Wasserlinsen) sind frei auf oder unter der Wasseroberfläche schwimmende Pflanzen (Pleustophyten), die sich vorwiegend vegetativ vermehren. Sie sind dadurch in ihrer genetischen Variabilität eingeschränkt (URBANSKA 1980).

Ausser in den trockensten und kältesten Gebieten kommen sie über den ganzen Erdball verteilt vor (Abb. 1). Genaue Angaben über die Verbreitung der einzelnen Arten sind in LANDOLT (1982) zu finden.

HEGELMAIER hat bereits 1868 eine monographische und 1895 eine systematische Uebersicht über die Familie der Lemnaceen erarbeitet. Neuere monographische Arbeiten sind von DAUBS (1965) und LANDOLT (in Vorb.). Die Familie umfasst ungefähr 35 Arten, wovon aber in der Schweiz und der näheren Umgebung nur sieben vertreten sind. Bevorzugt kommen Lemnaceen in stehenden, nicht sehr tiefen Gewässern, wie Tümpel, Weiher, Teiche und kleinere Seen vor, wobei sie teilweise die gesamte Oberfläche decken, manchmal sogar in mehreren Schichten. Dadurch entstehen Veränderungen der Licht- und Temperaturverhältnisse, ebenso der chemischen Faktoren, die das Leben der übrigen Flora und Fauna beeinflussen (KLOSE 1963). Die Lemnaceen können aber auch in Buchten gröserer Seen, in langsam fliessenden, manchmal sogar in reissenden Flüssen beobachtet werden, wo sie sich in *Carex*-, Schilf- und anderen wurzelnden Wasserpflanzenbeständen zeitweise halten können. Sie kommen sowohl in beschatteten als auch in unbeschatteten Gewässern vor. Diese müssen nicht notgedrungen natürlich sein, die Lemnaceen können ebensogut in künstlich erstellten Fisch- und Zierteichen, Gräben und Kanälen auftreten. Sie ertragen mittlere pH-Bereiche, meiden sowohl extrem saure als auch stark basische Gewässer, wobei die pH-Toleranz von Art zu Art etwas variiert (HICKS 1932, LANDOLT und WILDI 1977, McLAY 1976). Die Verbreitung der Pflanzen ist vorwiegend durch Wasservögel und andere Tiere, die in oder in der Nähe von Gewässern vorkommen, gewährleistet. Bestimmte Faktoren wie z.B. die chemische Zusammensetzung des Gewässers, sowie die klimatischen Verhältnisse sind wichtig, damit sich die

Pflanzen am neuen Ort etablieren können. Ebenso müssen die stärksten Konkurrenten, sowie die natürlichen Feinde weitgehend fehlen.

Lemnaceen können als Forschungsobjekt in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden (KANDELER 1961). Viele Arbeiten befassen sich vorwiegend mit rein physiologischen Aspekten (ERISMANN und KIRK 1969, FELLER und ERISMANN 1973, GROB und EICHENBERGER 1973, HILLMAN 1976, HUBALD und AUGSTEIN 1977).

Die Vorteile, diese Pflanzen zu Forschungszwecken zu benutzen, liegen darin, dass man sie steril, auf kleinem Raum, leicht kultivieren kann. Ihre Vermehrungsrate ist im Vergleich zu höheren Pflanzen relativ hoch. Da die Lemnaceen stark reduzierte Pflanzen sind, ist es verhältnismässig schwierig, Vergleiche zu anderen höheren Pflanzen zu ziehen (LANDOLT 1957).

Wegen ihrer ziemlich hohen Proteinwerte (bis 14.3% des Trockengewichts bei *Lemna* ssp. und 19.1-40.9% des Trockengewichts bei *Spirodela* ssp.; aus: STEPHENSON et al. 1980) und der beinahe optimalen Aminosäurezusammensetzung (AMADO et al. 1980) drängt es sich auf, Lemnaceen als Futter- und Nahrungsmittel zu verwenden (CULLEY 1976, CULLEY und EPPS 1973, HILLMAN und CULLEY 1978).

Bisherige Arbeiten haben gezeigt, dass Lemnaceen bevorzugt in anthropogen beeinflussten, meso- bis eutrophen Gewässern vorkommen. Es wurden verschiedentlich Untersuchungen bezüglich der Stickstoff- und Phosphorgehalte in Lemnaceen, sowie des Chemismus lemnaceenhaltiger Gewässer gemacht (KLOSE 1963, POTT 1980). HARVEY und FOX (1973) haben gezeigt, dass *L. minor* ungefähr 0.8% des Trockengewichts Phosphor und 4.5% Stickstoff aufnimmt, während einer Versuchsdauer von ungefähr einem Monat. Ebenso können die Lemnaceen auch Schwermetalle akkumulieren (STEPHENSON et al. 1980), sie sind dann aber nicht mehr als Futter- bzw. als Nahrungsmittel geeignet. Die Pflanzen eignen sich sehr gut als Indikatoren leicht verschmutzter Gewässer (MELZER 1976, POTT 1981). Ebenso können sie zum Reinigen von Haushalt- und Industrieabwässer dienen.

Neben den obenerwähnten Arbeiten, die mehr oder weniger in der freien Natur durchgeführt wurden, basieren andere auf Laborversuchen. Leider sind nur wenige Vergleiche zwischen einzelnen Arten bezüglich des Nähr-

stoffangebots gemacht worden (z.B. JUNGNICKEL 1978). Ebenso ist wenig bekannt, wovon das Vorkommen der einzelnen Arten am natürlichen Standort abhängt (LANDOLT 1957, LANDOLT und WILDI 1977).

Für die technisch-biologische Verwertung sollte man genauere Kenntnisse darüber haben, welche Art am geeignesten ist, möglichst viele Nährstoffe in kurzer Zeit aufzunehmen. Ebenso sollte der genaue Futterwert dieser Art bekannt sein.

Um diese Probleme lösen zu können, müssen die folgenden Grundlagen erarbeitet werden: Vorerst sollte der Nährstoffbedarf im Hinblick auf die zwei wichtigsten Elemente N und P untersucht werden. Ebenso sollten die Zusammenhänge zwischen diesem Bedarf und dem Chemismus der Gewässer in

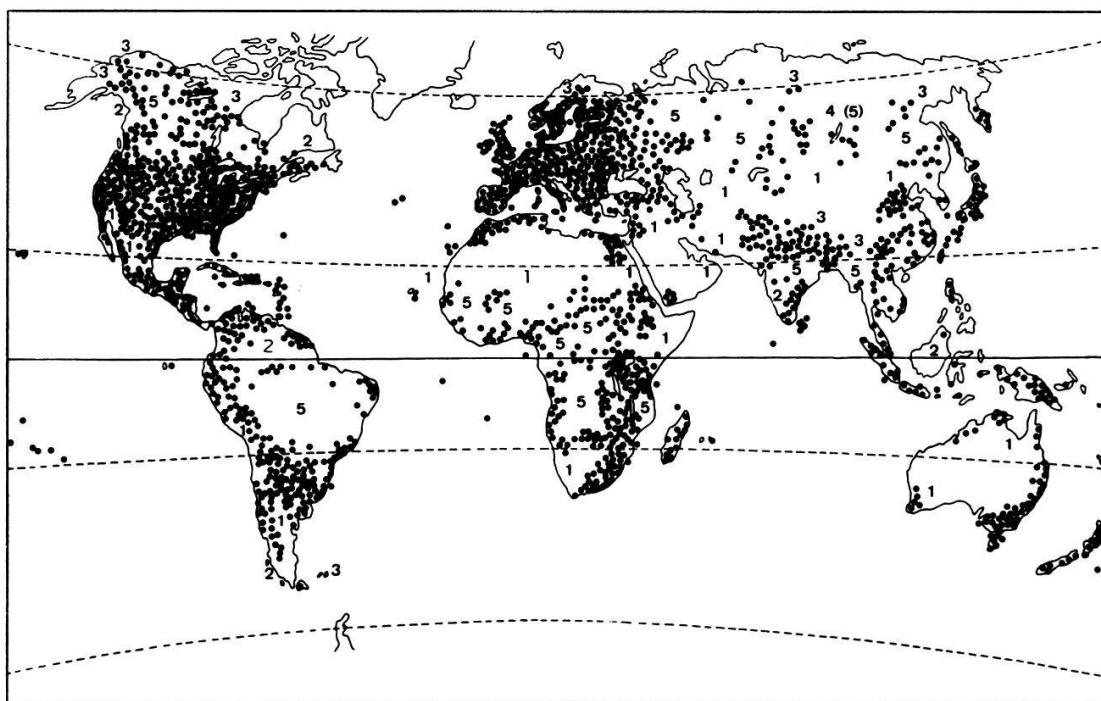


Abb. 1. Verbreitung der Familie der Lemnaceen (aus LANDOLT 1982).
1 = zu trocken, 2 = zu feucht, 3 = zu wenig warm im Sommer, 4 = zu kalt im Winter, 5 = unbekannte Ursachen (z.B. nicht erforscht)

Distribution of the family of the Lemnaceae
1 = too dry, 2 = too wet, 3 = not warm enough in summer, 4 = too cold in winter, 5 = reasons of gaps unknown (e.g. not adequate sampling).

denen die einzelnen Arten vorkommen, abgeklärt werden. Gibt es untere und obere Grenzwerte von einzelnen Nährstoffen, besonders N und P, für das Vorkommen bestimmter Arten in der Natur?

Diese Probleme sind Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Sie umfasst einerseits Laboruntersuchungen mit Verdünnungsreihen, andererseits Beobachtungen an ausgewählten Standorten in der NW-Schweiz, im Gebiet des Oberrheins und in der Po-Ebene. Monatlich wurden die Gewässer analysiert und die Häufigkeit der einzelnen Lemnaceen-Arten festgehalten.

Bei den Laborversuchen wurden die vier Arten *Spirodela polyrrhiza*, *Lemna minor*, *L. minuscula* und *L. gibba* berücksichtigt, in den Felduntersuchungen ausserdem noch *L. trisulca* und *L. aequinoctialis*.

2. Material und Methoden, Untersuchungsgebiete

2.1. Klimakammerversuche

Die Untersuchungen wurden in einer Klimakammer mit kontrollierbaren Licht-, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen durchgeführt (Tab. 1).

Temperatur. – Im Bereich der Pflanzen stieg die Temperatur tagsüber bis

Tab. 1. Vorgegebene Bedingungen in der Klimakammer

Given conditions in the climate chamber

Faktoren	Tag	Nacht
Temperatur °C	25	25
Luftfeuchtigkeit %	50	50
Lichtintensität Lux		
frei	21000	-
im Kolben	18500	-

auf 29.5°C. Der Grund dieses Anstiegs waren einerseits die Lampen, die trotz eines Abstandes von 100 cm zu den Kolben und trotz der eingebauten Kühlung eine gewisse Wärme abstrahlten; andererseits war es die schwarze Unterlage, durch deren Strahlungsabsorption die Temperatur um 1.0°C erhöht wurde.

Luftfeuchtigkeit. – In den relativ dicht verschlossenen Erlenmeyerkolben herrscht ein Gleichgewicht, das von den äusseren Luftfeuchtigkeitsbedingungen abhängig ist, die in der Klimakammer konstant sind.

Lichtintensität. – Folgende Lampen wurden zur Beleuchtung der Kulturen verwendet: 30 Stk. Sylvania Fluorescent (Kaltlicht) à 215 W und vier Philips-Philinea (Rotlicht) à 120 W. Die Lampen waren in 100 cm Entfernung von den Pflanzen angebracht. Darunter befanden sich Mattscheiben im Abstand von 4 cm, durch die das Licht regelmässig über den Raum verteilt wurde. Zwischen den Lampen und den Scheiben zirkulierte ein Luftstrom zur Kühlung der Lampen.

Die Klimakammer hat vier Lichtstufen, wobei jede Stufe eine Rotlichtlampe beinhaltet. Die Lichtintensität konnte langfristig nicht konstant gehalten werden, da die Intensität der Lampen mit der Zeit abnahm und auch durch Verschmutzung der Scheiben vermindert wurde. Die dadurch hervorgerufenen Schwankungen zwischen 15400-24600 Lux, bzw. 13600-21700 Lux im Bereich der Pflanzen liegen noch innerhalb oder nahe der Lichtsättigung (LANDOLT 1957, LARCHER 1976) und sollten somit keinen direkten Einfluss auf das Wachstum der Pflanzen gehabt haben.

Die Lichtintensität wurde mit einem PANLUX-Meter (5001-P011) von Gossen sowohl inner- als auch ausserhalb der Kolben im Bereich der Pflanzen gemessen.

Lichtdauer. – In der Klimakammer wurde ein konstanter Tag-/Nachtrhythmus simuliert, wobei dieser einen Sonnenaufgang und -untergang beinhaltete. Die Nacht dauerte 12 Stunden; während dieser Zeit war es absolut dunkel. Am Tag brannten alle vier Lichtstufen gesamthaft neun Stunden, morgens und abends wurde alle 30 Min. eine Lichtstufe ein- resp. ausgeschaltet, bis entweder alle vier Stufen brannten oder gelöscht waren. So konnte vermieden werden, dass die Pflanzen einem abrupten Wechsel ausgesetzt waren. Die totale Lichtdauer am Tag war demzufolge zwölf Stunden.

2.1.1. Verwendete Arten und Stämme

Es wurden vier einheimische Arten herangezogen (Abb. 2, S. 13):

Spirodela polyrrhiza (L.) Schleiden 7344, Herkunft: Jura, Bonfol; 2n=40

Lemna minor L. 6578, Herkunft: Zürich, Katzensee; 2n=40

Lemna gibba L. 8428, Herkunft: Aargau, Koblenz; 2n=40

Lemna minuscula Herter 8370, Herkunft: Aargau, Klingnau; 2n=40

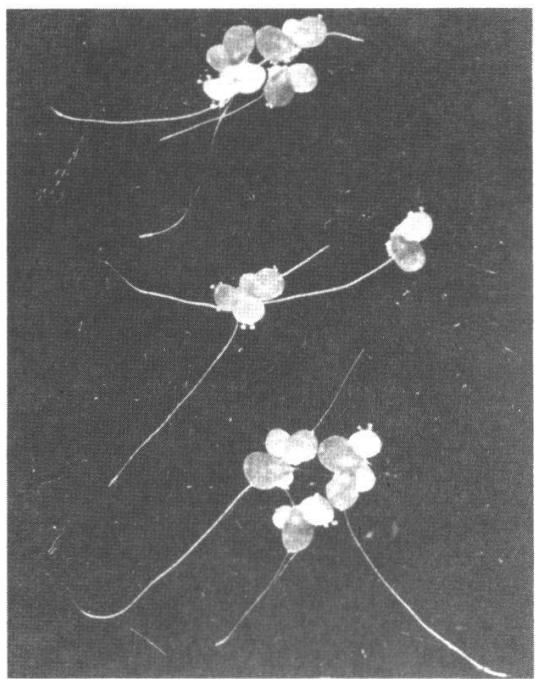
2.1.2. Nährlösung

Als Nährlösung wurde 1/5 verdünnte Hütner-Lösung, teilweise modifiziert, verwendet.

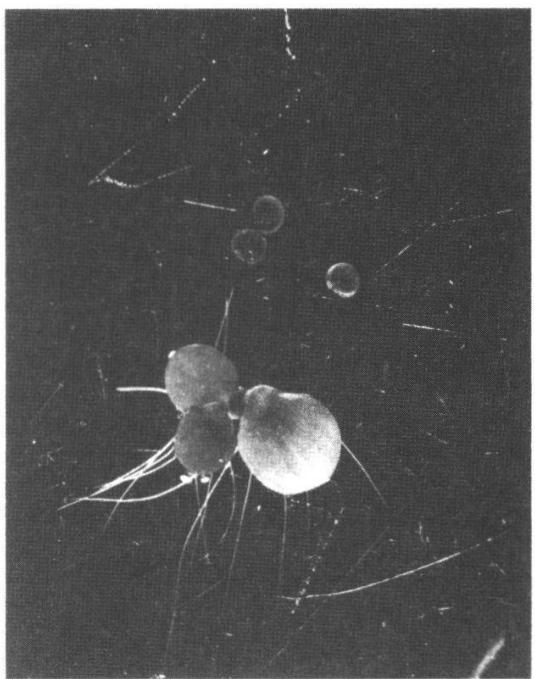
Tab. 2. Nährlösung nach HUTNER (1953)

Nutrient solution according to HUTNER (1953)

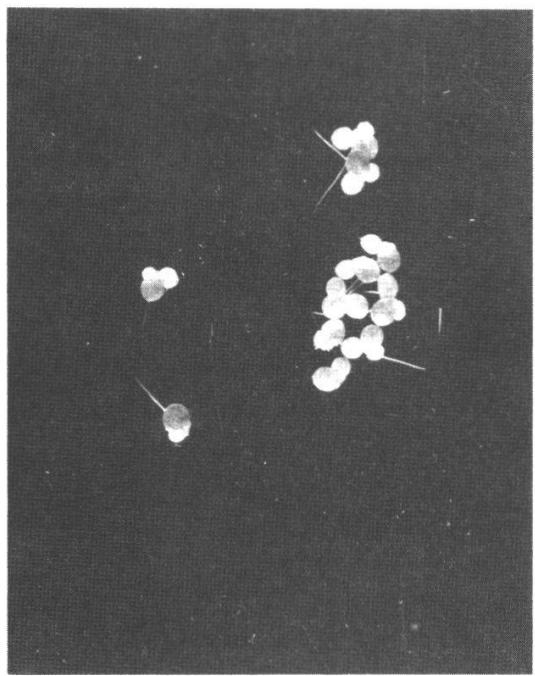
Chemikalien	mg/l	Mol/l	
CaCO_3 (gelöst in HNO_3)	15.0	$3.0 \cdot 10^{-4}$	
EDTA	100.0	$2.7 \cdot 10^{-4}$	Lösung a)
K_2HPO_4	80.0	$4.6 \cdot 10^{-4}$	
NH_4NO_3	40.0	$5.0 \cdot 10^{-4}$	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13.2	$4.6 \cdot 10^{-5}$	
H_3BO_3	2.84	$4.6 \cdot 10^{-5}$	
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5.04	$2.1 \cdot 10^{-5}$	Lösung b) Stock I
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.788	$3.1 \cdot 10^{-6}$	
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.1	$7.1 \cdot 10^{-7}$	
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.54	$9.1 \cdot 10^{-6}$	
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4.98	$1.8 \cdot 10^{-5}$	Lösung c)
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	100.0	$4.1 \cdot 10^{-4}$	Stock II



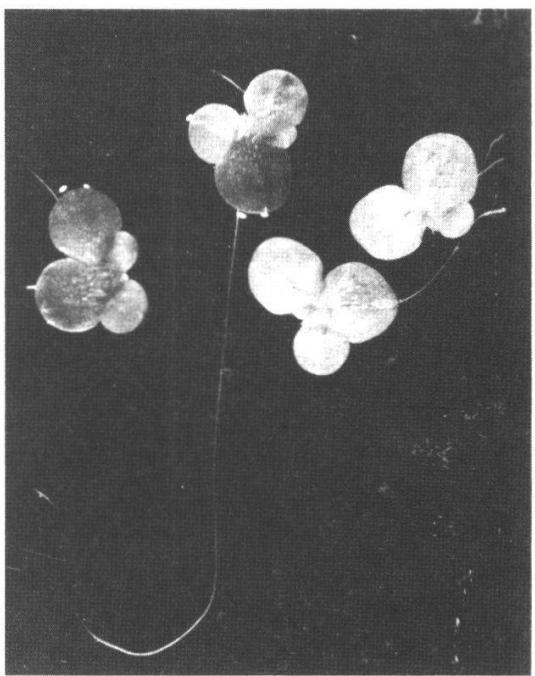
A



B



C



D

Abb. 2. Die untersuchten Arten

A = *Lemna minor*, B = *Spirodea polyrrhiza*, C = *L. minuscula*
D = *L. gibba*

The species studied

Modifikationen. - Zur Durchführung der Versuche mussten einzelne Chemikalien ersetzt werden: Das CaCO_3 wurde nicht wie bei LANDOLT (1957) durch $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sondern durch $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ersetzt. Das $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ wurde fünfach verdünnt zugegeben. Anstelle von $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ wurde zweifach konzentrierteres $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ verwendet. In der vorliegenden Arbeit wurde EDTA-Na₂-Salz (Aethylendinitrilotetraessigsäure Dinatriumsalz Dihydrat) verwendet (chemische Formel: $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Die Nährlösung wurde wegen der kleinen Mengen in einer 250-fachen Konzentration hergestellt, teilweise wurden die einzelnen Lösungen (Stock I und Stock II) getrennt aufbewahrt (Tab. 2) und erst bei Versuchsbeginn zur verdünnten Lösung zusammengegeben. So konnte verhindert werden, dass sich vereinzelt Bakterien und Pilze bildeten.

Variation des Stickstoffes und des Phosphors. - Für die Untersuchungen mit den verschiedenen Stickstoffgaben wurde in der ausgehenden Lösung das NH_4NO_3 weggelassen. Dieses wurde dann in verschiedenen Konzentrationen zugesetzt (Versuchsreihe a-a; Tab. 3).

Tab. 3. Verwendete Stickstoffkonzentrationen

Concentrations of nitrogen used

NH_4NO_3 mg/l	N absolut mg/l	Mol/l	Nummerierung
0.0128	$4.48 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-7}$	1
0.064	$2.24 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	2
0.32	$1.12 \cdot 10^{-1}$	$8.0 \cdot 10^{-6}$	3
1.6	$5.6 \cdot 10^{-1}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$	4
8.0	2.8	$2.0 \cdot 10^{-4}$	5
40.0	14.0	$1.0 \cdot 10^{-3}$ *	6
200.0	70.0	$5.0 \cdot 10^{-3}$	7
1000.0	350.0	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
5000.0	1750.0	$1.25 \cdot 10^{-1}$	9

* Kontrolle: 1/5

Der Stickstoff wurde von der kleinsten Konzentration ausgehend jeweils mit fünf multipliziert.

Der Phosphor wurde als $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ ebenfalls in verschiedenen Konzentrationen zugesetzt. Auch hier wurde, ausgehend von der niedrigsten Konzentration, jede nächste um das Fünffache erhöht (Versuchsreihe b-b; Tab. 4).

Tab. 4. Verwendete Phosphorkonzentrationen

Concentrations of phosphorus used

$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	P absolut		Nummerierung
mg/l	mg/l	Mol/l	
0.00512	$0.69 \cdot 10^{-3}$	$2.24 \cdot 10^{-8}$	1
0.026	$3.47 \cdot 10^{-3}$	$1.12 \cdot 10^{-7}$	2
0.128	$1.74 \cdot 10^{-2}$	$5.6 \cdot 10^{-7}$	3
0.64	$8.68 \cdot 10^{-2}$	$2.8 \cdot 10^{-6}$	4
3.2	$4.34 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	5
16.0	2.17	$7.0 \cdot 10^{-5}$	6
80.0	10.9	$3.5 \cdot 10^{-4}*$	7
400.0	54.3	$1.75 \cdot 10^{-3}$	8
2000.0	271.3	$8.76 \cdot 10^{-3}$	9
10000.0	1356.5	$4.38 \cdot 10^{-2}$	10

* Kontrolle: 1/5

Es wurden auch Kombinationen zwischen den beiden Elementen P und N gebildet, wobei mit den gleichen Konzentrationen der Versuchsreihen a-a und b-b gearbeitet wurde.

- Das N/P-Verhältnis wurde durch alle Konzentrationen hindurch konstant gehalten, d.h. sowohl der Stickstoff als auch der Phosphor nehmen gemeinsam zu (Versuchsreihe c-c).
- Das P·N-Produkt wurde in allen Konzentrationen konstant gehalten, d.h. bei zunehmendem Stickstoff ist der Phosphor sinkend und umgekehrt (Versuchsreihe d-d).

Die Versuchsreihe a-a wurde für die Wachstumsrate dreimal zu verschiedenen Zeitpunkten gemacht. Die Gliedflächen und Wurzellängen wurden nur bei zwei Wiederholungen ausgewertet. Die Reihe b-b wurde zweimal, die Versuche der Reihen c-c und d-d wurden nur einmal gemacht.

Innerhalb der Versuchsreihen wurden pro Konzentrationsstufe drei bis sechs Parallelen untersucht.

Versuchsvorbereitungen. - Beim Herstellen der endgültigen Nährlösung wurde der pH-Wert auf 5.5-6.0 mit KOH resp. HCl eingestellt. Daraufhin wurden je 250 ml der Lösung in 500 ml Erlenmeyerkolben gefüllt. Diese wurden mit einem Wattestopfen fest verschlossen und bei 150 kPa während 20 Min. im Autoklaven sterilisiert.

Die bereits sterilen Pflanzen (LANDOLT 1957) wurden auf 1/5 verdünnter Lösung herangezogen, von wo ungefähr zwei bis drei Glieder auf die einzelnen Konzentrationen gebracht wurden. Auf diesen blieben sie jeweils sieben Tage und wurden dann wieder auf neue Nährösung mit gleicher Konzentration gebracht. Dieser Vorgang wiederholte sich mindestens vier- bis fünfmal, damit sich die Pflanzen sehr gut an die neuen Bedingungen anpassen konnten. Ebenso wurde vermieden, dass die Pflanzen noch gewisse Reserven des entsprechenden Nährstoffes aufwiesen.

Bemerkungen zu pH und zum EDTA-Na₂-Salz.

pH: Es konnte festgestellt werden, dass der pH-Wert durch das Autoklavieren um bis ca. eine Einheit erhöht wurde, ebenso veränderte sich der pH in Nährösungen, die ohne Pflanzen in der Klimakammer standen (Tab. 5).

Tab. 5. Veränderungen des pH-Wertes

Changes in pH-value

Verdünnung	Autoklavieren		nach 16 Tagen	
	vorher	nachher	mit Pflanzen	ohne Pflanzen
1/5 verd. Hütner	5.2	5.6-6.5	6.3	7.0
do. mit 400 mg K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	5.6	5.6-6.5	6.1	6.5

Aufgrund dieser Feststellung ist es schwierig zu sagen, ob sich der pH-Wert durch die Abnahme der Nährstoffkonzentrationen, durch chemische Veränderungen während dem Autoklavieren, durch das Ausscheiden von Giftstoffen der Pflanzen oder durch Temperatur- und Lichteinflüsse verändert hat.

EDTA-Na₂-Salz: Nach EYSTER (1966) wird die Wirkung von EDTA-Na₂-Salz unter anderem durch folgende Faktoren verändert:

- durch das Autoklavieren nimmt der Chelateffekt ab
- durch Beleuchtung verschwindet das EDTA-Chelat innerhalb von acht Tagen fast ganz
- das Verschwinden von EDTA-Na₂-Salz ist nicht mit der Anwesenheit von Pflanzen verbunden.

Falls aber EDTA-Na₂-Salz in genügend hoher Konzentration ($1 \cdot 10^{-3}$ M/l, EYSTER 1966) beigegeben wird, kann es Chelate mit Ionen bilden, die evtl. ohne EDTA giftig wirken könnten.

2.1.3. Wachstumsrate

Die Bestimmung der Wachstumsrate wurde in einer früheren Arbeit (LÜÖND 1980) genau beschrieben. Die Glieder wurden während des Versuchs täglich gezählt und die Wachstumsrate mittels linearer Regression errechnet.

Die Versuchsdauer (bei normalen Nährösungskonzentrationen) von sieben bis zehn Tagen wurde experimentell als jene Zeit bestimmt, in der sich die Pflanzen im logistischen Wachstum befinden, wo sich also noch kein Wachstumsrückgang, bedingt durch extreme Nährstoffabnahme, Platzkonkurrenz, pH-Veränderungen usw. (HARPER 1977, KREBS 1972) bemerkbar machte.

2.1.4. Morphologie

Um genaue Aussagen machen zu können, wurden folgende Daten erhoben:

- Die *Gliedflächen* wurden anhand von Längen- und Breitenmessungen bestimmt, unter der Annahme, dass die daraus resultierenden Flächen proportional zu den echten Gliedflächen sind. Bei jeder Konzentration wurden acht ungefähr gleich alte Glieder ausgemessen, die Ergebnisse gemittelt und die Standardabweichung bestimmt. Da die Pflanzen relativ

rasch austrocknen, erfolgten die Messungen nicht am lebenden Material. Die Pflanzen wurden beim Abschluss der Versuche photokopiert und später ausgemessen. Durch das Kopieren entsteht ein Fehler von ungefähr +3% (Fläche).

- Die Wurzellängen wurden nach der gleichen Methode wie die Gliedflächen ausgemessen. Es müssen hier genau die gleichen Ungenauigkeiten berücksichtigt werden. Da die Werte nur als Relativwerte betrachtet werden, sind die vorliegenden Messfehler bedeutungslos.
- Anthocyanbildung und andere Farbveränderungen: Bei *Spirodela polyrrhiza* und *Lemna gibba* konnten unter gewissen Bedingungen rote Pigmentierungen (= Anthocyane) beobachtet werden. Ob diese Farbstoffe nur unter den entsprechenden Bedingungen gebildet oder aufgrund verminderter Chlorophyllbildung sichtbar werden, wurde nicht untersucht.

Bei allen Arten konnten während den Versuchen farbliche Veränderungen von gelb über hell- bis dunkelgrün beobachtet werden.

2.1.5. Auswertung

Die Abhängigkeit der gemessenen Größen: Wachstumsraten, Gliedflächen und Wurzellängen von der Stickstoff- und Phosphorkonzentration wurde durch ein Polynom dritten Grades mit der Form

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3$$

angenähert und graphisch dargestellt (Abb. 6-8). Dabei steht z für Wachstumsrate bzw. Gliedfläche bzw. Wurzellänge, x für den Logarithmus der N-Konzentration, y für den Logarithmus der P-Konzentration. Die Koeffizienten $a_0 - a_9$ wurden für jede der obenerwähnten Größen und für jede Art mittels multipler Regression berechnet. Die so ermittelten Beziehungen gelten mit einiger Genauigkeit nur im engeren Bereich der Versuchsreihen a-a bis d-d. Ganz ungültig sind diese Formeln natürlich im Bereich jener Konzentrationen, wo die Pflanzen kein Wachstum aufwiesen oder abstarben. Ausserhalb des Gültigkeitsbereiches ergeben die obenerwähnten Gleichungen für z zunehmend falsche, bisweilen sogar negative Werte.

Da das für die Herstellung der Figuren verwendete Plotprogramm (Subroutine

PICTURE aus der ETH-Plot-Library) nur rechteckige Bereiche abbildet, erstrecken sich die Figuren über das ganze Gebiet zwischen den minimalen und maximalen N- bzw. P-Konzentrationen, ohne Berücksichtigung der Gültigkeit. Die unterschiedliche Skalierung der z-Achse in den einzelnen Figuren resultiert ebenfalls aus dem verwendeten Plot-Programm.

2.2. Feldversuche

Folgende Faktoren wurden im Feld untersucht:

- Chemismus: NH_4^+ -N, NO_3^- -N, o-P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+
- Physikalische Daten: pH-Wert, Leitfähigkeit
- Artenzusammensetzung und Deckungsgrad

Ferner wurden Beobachtungen über Beschattung, Windeinfluss und Bewirtschaftung gemacht.

2.2.1. Gewässeruntersuchungen

2.2.1.1. Probenahmen und Aufbereitung der Proben

Lemnaceen stehen nur die Nährstoffmengen zur Verfügung, die in der obersten Schicht des Gewässers enthalten sind (KLOSE 1963). Deshalb wurden die Wasserproben an der Oberfläche mit einer 500 ml Plastikflasche (Hart-Polyäthylen) entnommen, und zwar je nach Fundort während der Vegetationsperiode monatlich oder ein- bis zweimal jährlich. Die Proben wurden mit einem Milliporefilter von 0.45 μm Porendurchmesser filtriert und anschliessend analysiert.

2.2.1.2. Methoden und Analysen

- Die Leitfähigkeit wurde mit dem WTW LF 56 Feldgerät mit der LF-Messzelle LTA 100/k bestimmt und auf $\mu\text{S cm}^{-1}$ umgerechnet. Die Angaben erfolgten in mho cm^{-1} .
- Der pH-Wert wurde mit einem WTW pH Digi 88 bestimmt.

Chemische Analysen:

- Nitrat-Stickstoff NO_3^- -N: Photometrische Bestimmung mit Natriumsalicylat.

- Ammonium-Stickstoff NH_4^+ -N: Photometrische Bestimmung als Indophenol (WAGNER 1969).
- ortho-Phosphat o-P: Photometrische Bestimmung nach VOGLER (1965).

Weitere Angaben über die oben genannten Analysen sind in DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN ZUR WASSERUNTERSUCHUNG, 7. Lieferung, Ausgabe 1975, zu finden.

Die Bestimmung der Mg^{2+} -, Ca^{2+} -, K^+ - und Na^+ -Ionen wurden mit dem Atomabsorber (Perkin-Elmer) an der EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasser- und Abwasserreinigung und Gewässerschutz) bestimmt.

2.2.2. Deckungsgrad

Es wurde die von BRAUN-BLANQUET (1964) beschriebene Skala, etwas modifiziert verwendet (Tab. 6). Diese wurde aus folgendem Grund zusätzlich bewertet: Ein Deckungsgrad 5 pro m^2 mit z.B. *Lemna minor* in der Bucht eines Gewässers, das flächenmäßig nicht mehr Lemnaceen aufweist als gerade diesen Quadratmeter, ist anders zu bewerten als ein Deckungsgrad 5 bei einem Gewässer, das vollständig mit Lemnaceen bedeckt ist und also auch einen Deckungsgrad von 5 erhalten würde.

- Anwendung der Skalenwerte auf ungefähr 1 m^2 bei Gewässern mit nur lokalem Lemnabewuchs: Skalenwert plus Bemerkung *lokal*

Abb. 6. Verwendeter Deckungsgrad

Cover data used

BRAUN-BLANQUET-Skala in %	modifizierte Skala	Bewertung
+ -1 wenige	(+) 1-2 Exemplare	1
1 1- 5	+ wenige	1.5
2 5- 25	1 mehrere	
3 25- 50	2 häufig	
4 50- 75	3 viele 25-50%	3
5 75-100	4 50-75%	6
	5 75-100%	8

- Anwendung der Skalenwerte auf das ganze Gewässer mit Lemnaceenbewuchs über die ganze Oberfläche verteilt: Skalenwert plus Bemerkung *total*.

Die lokalen Skalenwerte wurden tiefer eingestuft als die totalen.

Beispiel: 3 lokal entspricht 3 in Bewertung (s. Tab. 6), 3 total entspricht 6 in der Bewertung.

Ein weiterer Grund dieser Bewertung war, dass die Deckung manchmal mehr als 100% betrug. Dies war dann der Fall, wenn die Pflanzen in Schichten übereinander lagen, oder wenn unter einer dichten *Lemna minor*-/*L. minuscula*-Schicht noch *L. trisulca* mit einem Deckungsgrad von 3-4 vorkam. An einzelnen Fundorten konnte dies über die ganze Vegetationsperiode beobachtet werden, an anderen ereignete sich dies, wenn die über das ganze Gewässer verbreitete Lemnaceendecke vom Wind, der einen wichtigen ökologischen Faktor darstellt (KLOSE 1963), an den Rand verfrachtet wurde. Solche Gegebenheiten wurden entsprechend vermerkt und ebenfalls in die Bewertung miteinbezogen.

2.3. Untersuchungsgebiete

Das Vorkommen bzw. Fehlen möglichst vieler Lemnaceen-Arten sollte erfasst werden. Deshalb wurden auch Fundstellen ausserhalb der Schweiz in den angrenzenden Gebieten Frankreich, Deutschland, Italien (Tab. 7-10, Abb. 3) unter Berücksichtigung der Fundortangaben von KOCH (1952, 1954), LANDOLT (mündl.) und PHILIPPI (1971, 1980) untersucht.

Tab. 7. Uebersicht über die einzelnen Untersuchungsgebiete
Survey of the areas investigated

Untersuchungsgebiete	ungefähre geographische Lage
Untersuchungsgebiet Ia (1-16)	schweizerisches Mittelland
Untersuchungsgebiet Ib (20-49)	südliche Oberrheinische Tiefebene, Sundgau und nordwestliche Schweiz
Untersuchungsgebiet II (60-77)	Poebene
Untersuchungsgebiet III (80-94)	nördliche Oberrheinische Tiefebene

Tab. 8. Untersuchungsgebiete Ia (1-16) und Ib (20-49) die während der Vegetationsperiode (April - Oktober) monatlich einmal aufgesucht wurden.

Investigation areas Ia (1-16) and Ib (20-49) surveyed monthly during the vegetation period (April to October)

Nr.	Ort	Karten Koordinaten	Beschaf- tung Schilf Bäume Sträucher	Ver- drif- tung	Bewirt- schaf- tung	Lenna
Karte 1:25000						
1-10 Tümpel und Seen auf der Andelfinger Seenplatte						
1	Steinigrundsee	694.000/273.600	++	-	++	+
2	Gross-See	694.200/273.600	+++	-	++	+
3	W Am See	694.425/273.425	++++	-	++	+
4	Am See	694.600/273.425	+	+	++	+
5	Rütenen	694.700/273.150	++++	-	++	+
6	Pfaffensee	694.960/273.075	+++	+	++	-
7	Lochsee	694.375/272.925	(+)	+	++	-
8	NW Teil der Husemerseen	694.600/275.820	(++)	+	+	-
9	Grosser Husemersee	695.025/275.425	+	+	-	-
10	NE Teil der Husemerseen	696.000/275.125	+	+	++	-
11-16 Ueberschwemmungsgebiet am Zusammenfluss der Aare und des Rheins (Koblenz)						
11	Grosse Wasserfläche bei der Brücke	659.200/272.850	+	+	-	+
12	Grien	658.480/271.940	+	+	-	+
13	Länglicher Tümpel im Auwald	659.080/272.660	++	+	-	+
14	Runder Tümpel an der Waldstrasse	659.000/272.400	++++	-	-	+
15	Langgestrecktes Gewässer	659.175/272.680	++	-	-	+
16	vis-à-vis 14	659.000/272.420	++	+	-	+
20	Grezhausen, kleine Einbuchtung des Rheins	Karte 1:50000 DL 8110 Müllheim				
21	Kunheim, Tümpel an der Verbindungsstrasse Biesheim/ Blotzheim	3397.410/5315.150 DL 7910 Breisach a/Rhein	-	+	-	+
48	Kunheim	3392.450/5327.300	-	-	-	-
47	Colmar (Petit Venise)	3392.150/5327.225	(+)	+	+	+
22-33 und 49 ausgetrocknete und/oder aufgestaute Fischeiche, die noch heute teilweise bewirtschaftet werden im Sundgau und in der Ajoie						
22	Bois de Colmar	Karte 1:50000 F XXXVII-19 Neuf Brisach 378.750/5323.100	-	+	-	-
23	Herlisheim près Colmar	F XXXVII-21 Altkirch 374.850/5320.950	-	+	+	-
24	Le Schoenholz	365.050/5279.675 Karte 1:25000 1065 Bonfol	+	++	-	+
25	N Favarois	570.750/265.240 569.620/264.830	++	-	++	+
26		+++	-	++	+	+
27	weiteren Umgebung von Lepuix-Neuf	574.860/265.600	+	-	++	+
28		574.900/265.600	+	+	++	+
49		575.000/265.640	+	+	++	-
29		575.288/264.488	++	+	-	+
30		578.875/264.600	+	-	++	+
31	bei Sepois-le-Haut	578.740/264.740	-	+	++	+
32	bei Vendlincourt	579.270/255.680	+	+	+	+
33		579.550/255.600	+++	-	-	+
34	Feuerwehrteich in Moernach	Carte Michelin 1:200000 66 Dijon-Mulhouse 540.440/5270.180	-	+	++	-(+)
35-46 ehem. Pisciculture St. Louis la Chaussee (Petite Camargue Alsacienne)						
35	Kanal	607.300/273.880	++	-	+	+
36	runder Tümpel	607.400/274.120	+++	+	+	-
37	benachbart zu 36	607.400/274.165	+++	-	+	+
38	Tümpel	607.320/274.320	+++	+	-	+
39	Tümpel - grössere Wasserfläche	607.340/274.410	+++	+	+	-
40	Kanal	607.360/274.440	++	-	+	+
41	Kanal	607.270/274.470	+++	-	-	+
42	nahe beieinander, nur durch Mauer getrennt	607.240/274.540	++++	+	-	+
43		607.240/274.560	+++	+	-	-
44	Kanal, in der Nähe von 36 und 37	607.360/274.140	++(+)	-	-	+
45	grosser Tümpel	607.280/274.720	++	-	+	+
46	Tümpel	607.180/274.680	-	+	+	-

Tab. 9. Untersuchungsgebiet II (60-77), das nur einmal im Jahr (Juli) aufgesucht wurde.

Investigation area II (60-77) surveyed once a year (July)

Nr.	Ort	Karten Koordinaten	Beschaf- tung Schilf Bäume Sträucher	Ver- drif- tung	Bewirt- schaf- tung	Lemna
60	Magadinoebene beim Einfluss des Ticino in den Lago Maggiore	Karte 1:25000 1313 Bellinzona 710.250/112.110 710.250/112.030	+	+	-	-
61		Karte 1:50000	+	+	-	+
62	Lago di Comabbio 63-75 Bewässerungskanäle von Reisfeldern in der Gegend von Novara bis Pavia	296 Chiasso 697.310/69.530		++	-	-
63	Reisfeld	3 km SW von Novara Zentrum, an der Strasse nach Vercelli	++	-	++	+
64	Reisfeld	5 km do.	++	-	++	+
65	Reisfeld	1 km W Stroppiana an der Strasse nach Caresana	+++	-	++	+
66	Reisfeld	500 m SW Valle Lomellina Richtung Bre	+++	-	++	+
67.	Reisfelder	2 km S Valle Lomellina Richtung Sartirana	+++	-	++	+
68	Bach	1 km S Pieve del Cairo	+++	-	++	+
69	Reisfeld	3 km SW Pieve del Cairo Richtung S. Martino				
70	Kanäle zur Bewässerung von Reisfeldern	1,5 km S Marcignano	+++	-	++	+
71	do.	2 km S "	+++	-	++	+
72	do.	1,5 km E Trivòlзio	+++	-	++	+
73	do.	400 m E Battuda	+++	-	++	+
74	do.	zwischen Vellezzo Bellini und Giovenzano	+++	-	++	+
75	Kanal	Zeccone E Certosa di Pavia	+++	-	++	+
76	Altlauf d'Adda	3.2 km NE Cavenaga d'Adda	++	+	-	+
77	Lago di Pusiano beim Ausfluss des Lambro	Karte 1:50000, 297 Como 740.800/72.760	+	+	-	+

Tab. 10. Untersuchungsgebiet III (80-94), das zweimal im Jahr (Juli und Oktober) aufgesucht wurde.

Investigation area III (80-94) surveyed twice a year (July and October)

Nr.	Ort	Karten Koordinaten	Beschaf- tung Schilf Bäume Sträucher	Ver- drif- tung	Bewirt- schaf- tung	Lemna
80	Waghäusel, nasse Ebene, die z.T. überstaut wurde	Karte 1:50000, DL 6716 Speyer 3465.200/5458.550	++	-	(+)	+
81	Rheinaltläufe, voneinander getrennt	3459.275/5456.450	+	+	+	-
82		3459.080/5456.525	++	-	-	+
83		3458.475/5456.825	++	+	+	+
84		3459.600/5456.250	+	++	+	+
85	Pfinzkanal, Proben an 3 Stellen entnommen	3459.980/5454.575	+	+	+	+
86		3459.325/5452.625	+	++	+	+
87	Saalbachkanal beim Einfluss des Pfinzkanals	DL 6916 Karlsruhe-Nord 3459.450/5449.275	-	++	+	+
88	Bächlein, das in den Riedkanal fliest	DL 7114 Rastatt 3438.425/5417.180	+	+	+	+
89		3438.325/5417.300				
90	Riedkanal	3439.250/5419.125	(+)	+	-	+
91	Tümpel, + unabhängig vom Riedkanal	3439.825/5417.550	++	+	++	+
92	Mühlbach, fliest in den Riedkanal bei Rastatt	3439.125/5411.850	++	-	-	+
93	Sauer (Fluss)	3437.650/5420.425	-	++	+	+
94	Moder (Fluss)	3433.850/5409.125	-	++	-	+

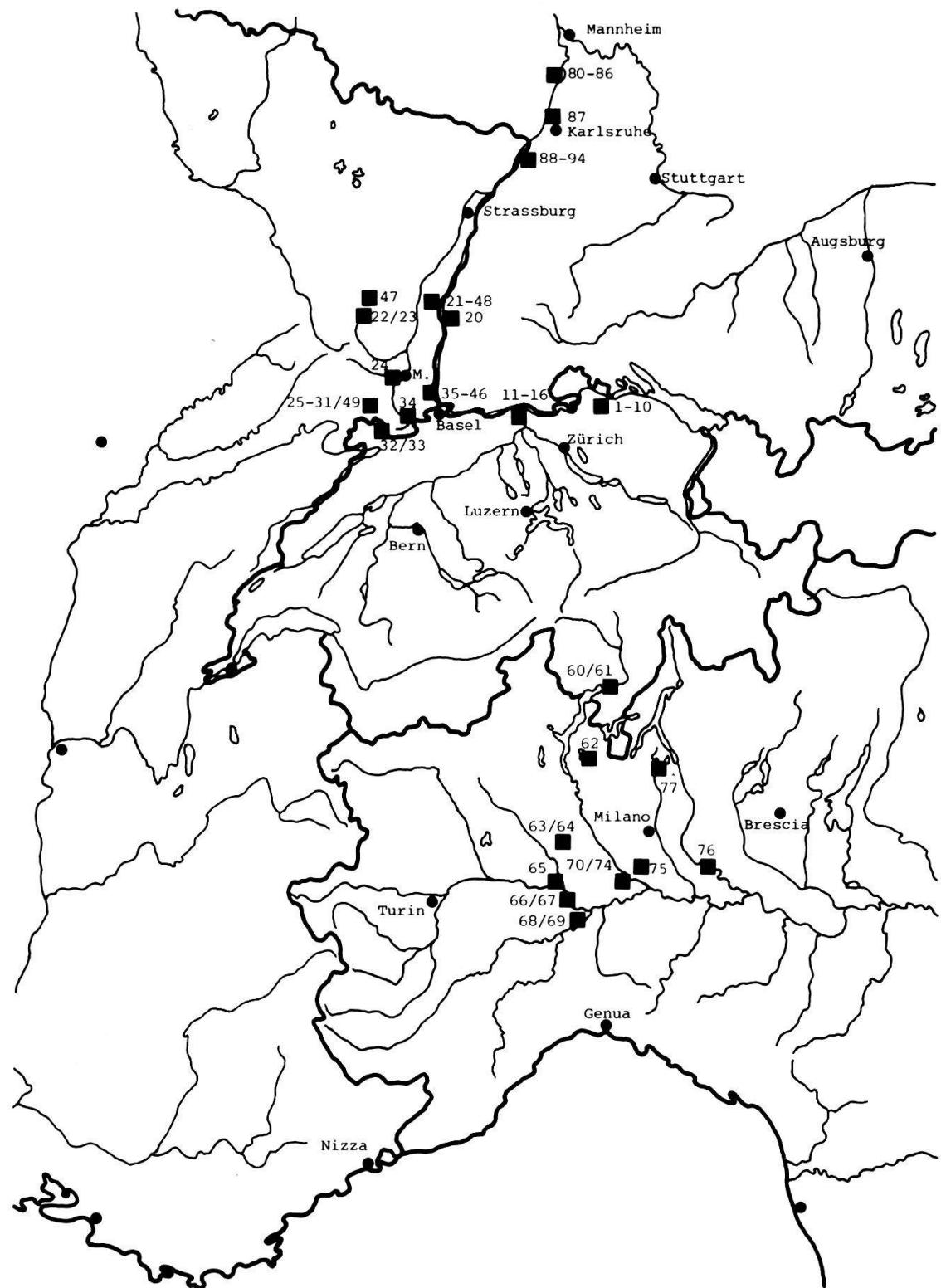


Abb. 3. Geographische Lage der Untersuchungsgebiete
Locations of the areas investigated

Im ersten Jahr wurden die Fundorte 1-16, 20-49 und 60-77 untersucht, wobei die Gewässer 1-16 und 20-49 (Tab. 8) während der Vegetationsperiode (März - Oktober) monatlich einmal aufgesucht wurden, die Gewässer 60-77 (Tab. 9) nur einmal im Jahr (Juli). Im zweiten und dritten Jahr kamen noch die Gewässer 80-94 (Tab. 10) dazu, die zweimal jährlich (Juli und Oktober) aufgesucht wurden. Die Fundstellen wurden zu Gebieten zusammengefasst (Tab. 7, S.21). Untersuchte Gewässer ohne Lemnaceen wurden so ausgewählt, dass sie nahe bei einem Gewässer lagen, das einen relativ hohen Deckungsgrad aufwies und somit die Möglichkeit bestand, dass von dort her jederzeit Lemnaceen in das lemnaceenfreie Gewässer verschleppt werden konnten.

Bei den Gewässern handelt es sich vor allem um folgende Typen: Tümpel, Toteislöcher, kleine Seen, Altläufe, langsam bis teilweise schnellfließende Kanäle, Bewässerungskanäle in Reisfeldern und künstliche Fischteiche. Die Einstrahlung der Sonne resp. die Beschattung der Fundstellen waren recht unterschiedlich, wobei Gewässer mit immerwährender Beschattung eher selten waren. Genauere Angaben der einzelnen Gewässertypen und der Beschattung sind in Tab. 8-10 eingetragen.

2.3.1. Geologie

Innerhalb der Gebiete sind keine wesentlichen geologischen Unterschiede festzustellen. Alle untersuchten Stellen befinden sich auf alluvialen und diluvialen Aufschüttungen aus dem Quartär. Einige Differenzierungen seien nachfolgend erwähnt:

Die Seen 1-7 sind unverlandete Söllseen aus der Würmvergletscherung. Der Husemerseenkomplex (8-10) liegt eingebettet in Flachmoortorf über nachgewiesener Seekreide. Die Fundorte 11-16 sind junge Anschwemmungen aus dem Alluvium in der tiefsten Talsohle. 20, 23 und 24 sind rezente und subaktuelle Alluvionen. Das Material stammt vorwiegend aus dem Rhein. Die Gewässer 25, 26, 27, 28, 49, 30 und 31 liegen in Alluvialböden umgeben von Plateaulehm des Sundgau (entkalkte Lösslehme glazialer Herkunft). 32 und 33 sind Alluvialböden der tiefsten Talsohle, umgeben von Plateaulehm

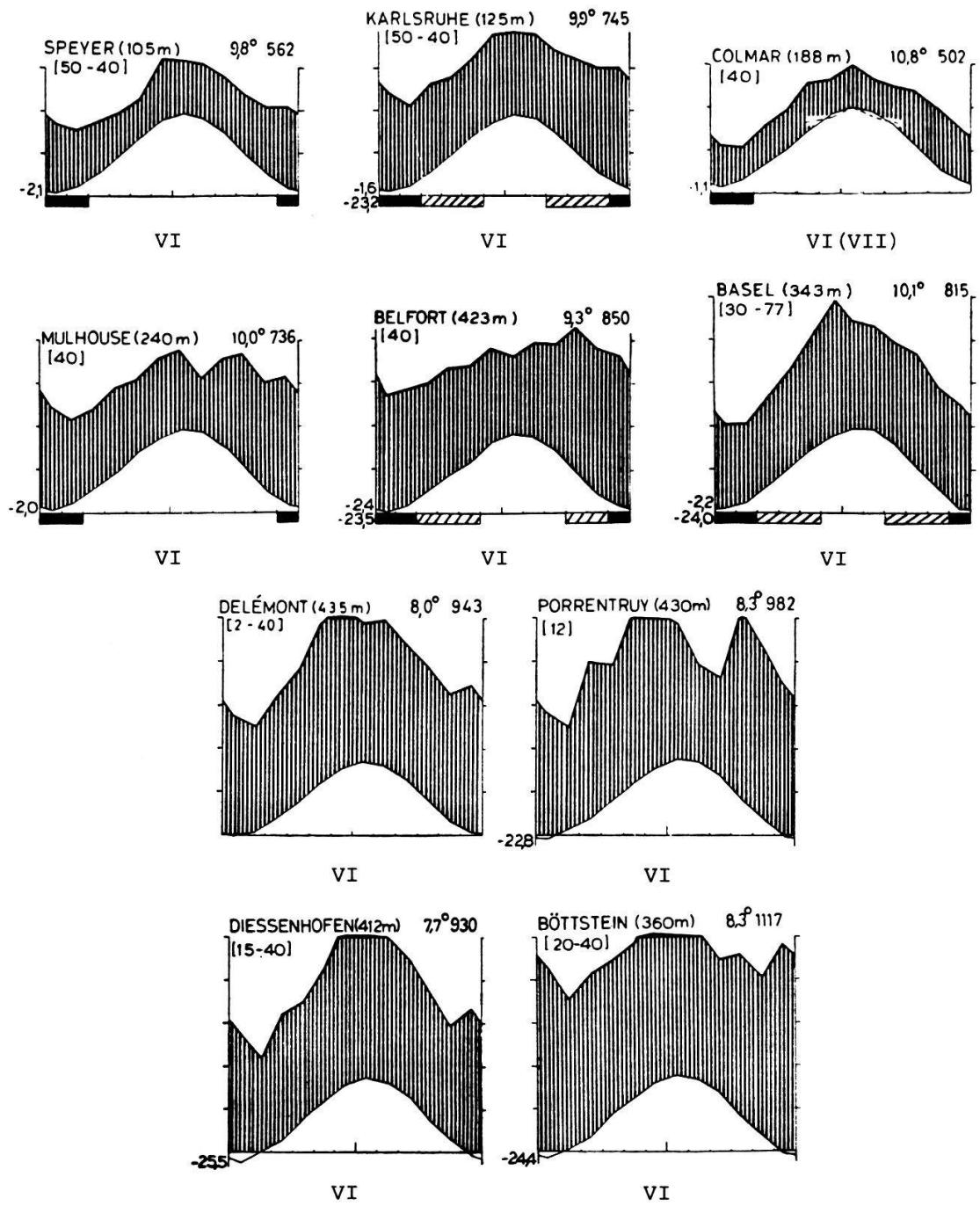


Abb. 4. Klimadiagramme der Untersuchungsgebiete I (a+b) und III (nach WALTER und LIETH 1960-1967).

Climatic diagrams of the investigated areas I (a+b) and III

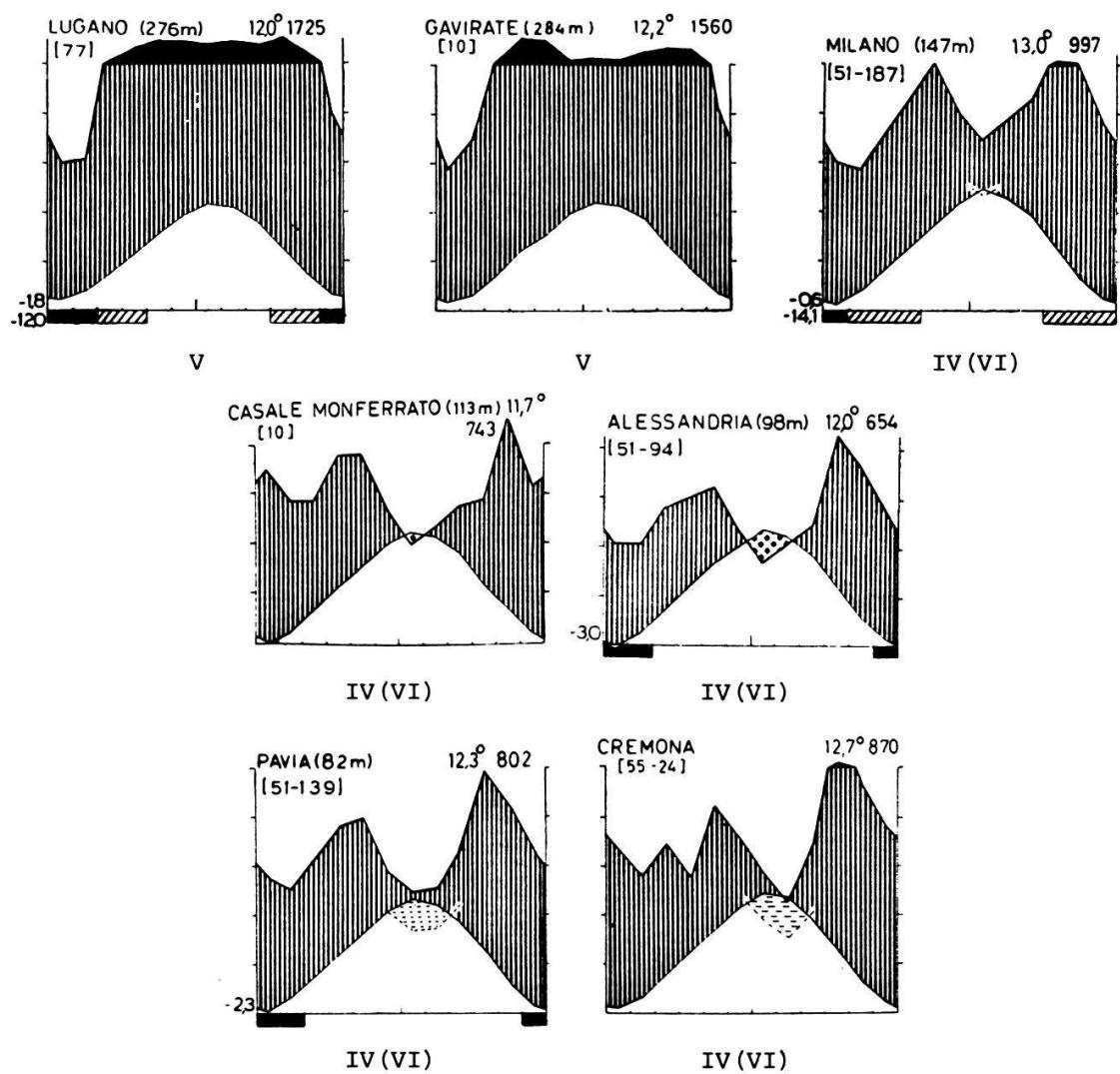


Abb. 5. Klimadiagramme des Untersuchungsgebietes II (nach WALTER und LIETH 1960-1967).

Climatic diagrams of the investigated area II

der Ajoie (heterogene Entstehung). Die Fundstellen 35-46 sind auf Alluvialböden in holozänen Talauen, die aus Umlagerungen von Niederterrassen-schotter entstanden sind. 60-77 sind Alluvionen fluvioglazialer Herkunft. Die Gewässer 80-94 stammen vom Alluvium (ungegliedert) und von Schottern der Würmeiszeit (Niederterrassen). (Siehe Literaturverzeichnis S. 116).

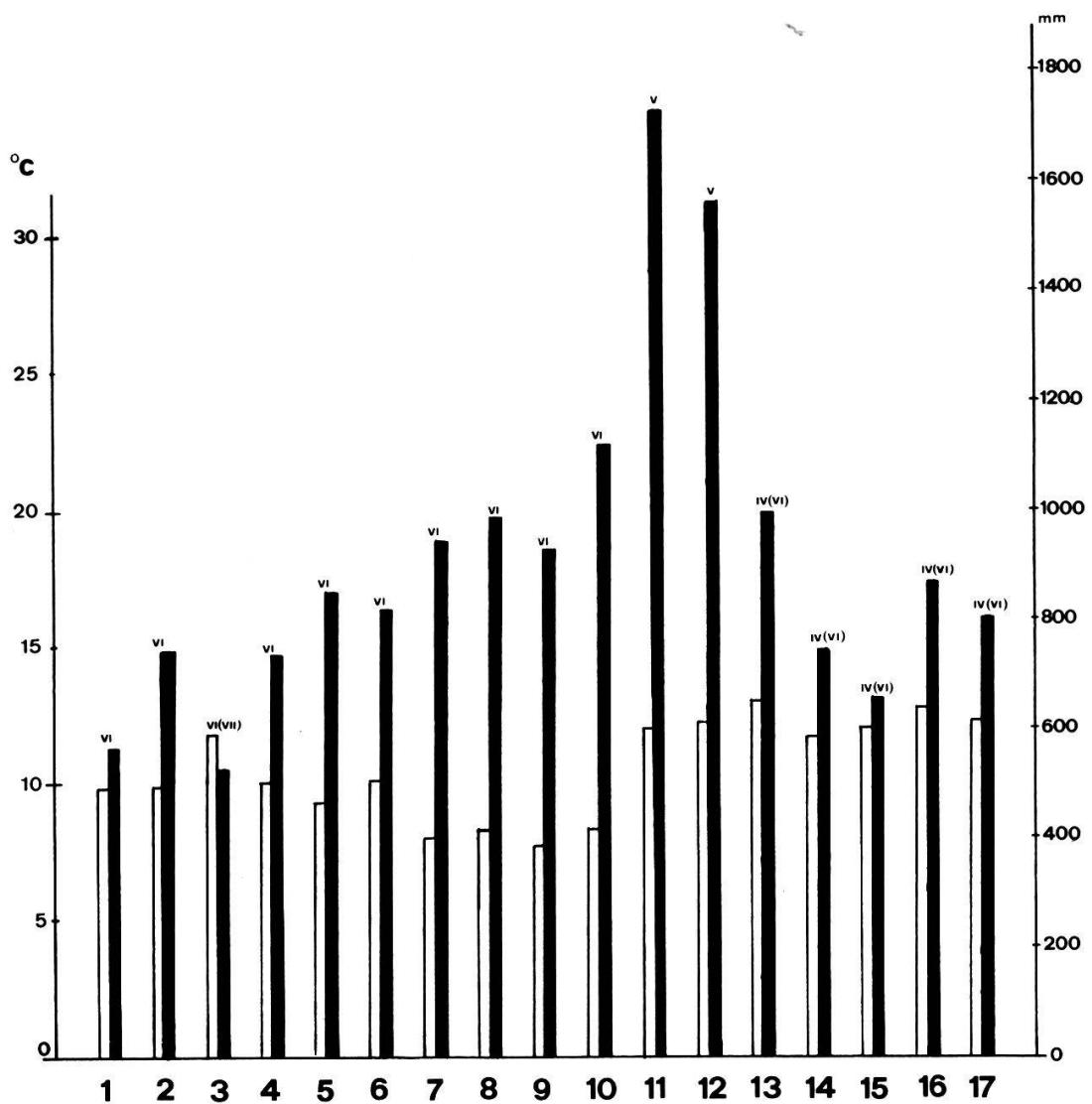


Abb. 6. Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (■), mittlere Jahrestemperatur (□), aus den entsprechenden Klimadiagrammen entnommen, geordnet von Norden nach Süden und von Osten nach Westen.
Bedeutung der Zahlen 1-17 s. Abb. 11, Seite 56.

*Average annual precipitation (■) and average annual temperature (□); graph drawn after climatic diagrams, arranged from north to south and from east to west.
Meaning of the numbers 1-17 see Fig. 11, page 56.*

2.3.2. Klima

Die den erwähnten Gegenden entsprechenden Klimadiagramme wurden aus WALTER und LIETH (1960-1967) entnommen (Abb. 4, 5).

Die Klimadiagramme von Diessenhofen, Böttstein, der Oberrheinischen Tiefebene und des Sundgaus gehören zum gleichen Typ VI, temperierte humide Zone mit ausgeprägter aber nicht sehr langer kalter Jahreszeit. Vergleicht man aber die Klimadiagramme innerhalb dieses Typs miteinander, kann man feststellen, dass bei den Niederschlägen und den mittleren Jahrestemperaturen (Abb. 6) einige Unterschiede bestehen. So sieht man bei den Klimadiagrammen dass, je weiter man nach Norden vorrückt, die Niederschläge geringer und die mittleren Jahrestemperaturen etwas höher werden.

Die Gebiete im Süden (Tessin und Po-Ebene, Abb. 6, 11-17), gehören zu den Klimatypen V, warm temperierte immerfeuchte Zone, mit deutlichem jahreszeitlichen Temperaturgang, aber nur gelegentlichen Frösten, oder zu Übergängen zwischen VI (s. oben) und IV, Winterregengebiet, nicht ganz frostfrei, aber keine ausgesprochen kalte Jahreszeit. Ausser Gavirate, Lugano und Milano (V) weisen die Gebiete eine mehr oder weniger langandauernde Trockenzeit auf (Abb. 5); auch Milano hat eine kurze Trockenzeit, aber bedeutend mehr Regen. Die mittleren Jahrestemperaturen sind mit 11.7-13.0°C wesentlich höher als im Norden (Abb. 4).

3. Ergebnisse

3.1. Laboruntersuchungen

3.1.1. Wachstumsraten

Erläuterung der Begriffe optimales, minimales und Nullwachstum: Optimales Wachstum (Tab. 11) ist dort zu verzeichnen, wo die Wachstumsraten etwa die gleiche Höhe erreichen, wobei in diesem Bereich auch die maximale Wachstumsrate vorliegt. Das Optimum ist für die Arten sehr ähnlich. Von einer gewissen N- und P-Konzentration an nehmen die Wachstumsraten fast sprunghaft ab (Tab. 12). Bei der jeweils direkt darunterliegenden Konzentration kann man von einem minimalen Wachstum sprechen (Tab. 14), was noch weiter unten liegt, kann man annähernd als Nullwachstum bezeichnen. In den höchsten Konzentrationen geht der Sprung vom optimalen direkt zum

Tab. 11. Optimaler Wachstumsbereich (bestimmt), abhängig von der N- und P-Konzentration bei *Lemna minor* und *Spirodela polyrrhiza*.

Optimal growth range (evaluated) of L. minor and S. polyrrhiza, depending on concentrations of N and P.

Arten	optimaler Wachstumsbereich	Wachstumsraten (Max.)
<i>Lemna minor</i>	N: 5-7 ≈ 2.80 - 70.0 mg/l P: 5-8 ≈ 0.43 - 10.9 mg/l	0.26 - 0.28 (0.28) 0.22 - 0.29 (0.29)
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	N: 5-8 ≈ 14.00 - 70.0 mg/l P: 5-8 ≈ 0.43 - 10.9 mg/l	0.36 - 0.37 (0.37) 0.33 - 0.39 (0.39)

Nullwachstum ($P=10 \approx 1356.5 \text{ mg/l}$ und $N=9 \approx 1750.0 \text{ mg/l}$), dies ist aus der Abb. 7 nicht ersichtlich, da die berechnete Wachstumsrate nie Null ist (Tab. 12).

3.1.1.1. *Lemna minor* und *Spirodela polyrrhiza*

Die Wachstumsraten steigen sowohl mit zunehmender Stickstoff- als auch mit zunehmender Phosphorkonzentration an (Versuchsreihen a-a, b-b, c-c), erreichen ein gewisses Maximum und sinken dann relativ stark ab. Der Anstieg bei zunehmendem Phosphor (Versuchsreihe b-b) ist kontinuierlich, beim Stickstoff (Versuchsreihe a-a) verläuft die Fläche zuerst etwas flacher, steigt dann regelmäßig, fällt aber in der höchsten Konzentration stärker ab. Das kann auch gut bei der Versuchsreihe d-d beobachtet werden, wo bei zunehmendem Phosphor die Fläche steiler ansteigt als bei zunehmendem Stickstoff. *S. polyrrhiza* wächst allgemein schneller als *L. minor*.

Tab. 12. Abkürzungen: N = Stickstoffkonzentrationen, P = Phosphorkonzentrationen, WR-Z = Wachstumsrate (bestimmt), Zber = Wachstumsrate (berechnet, Polynom 3. Grades), Z-Zber = Differenz zwischen bestimmter und berechneter Wachstumsrate, a-a, b-b, c-c, d-d = Versuchsreihen, S.W.D. = Summe der Quadrate der Differenzen, V = Varianz, Str. = Streuung.

Abbreviations: N = nitrogen concentrations; P = phosphorus concentrations; WR-Z = multiplication rate (evaluated), Zber = multiplication rate (calculated); Zber = difference between evaluated and calculated multiplication rate; a-a, b-b, c-c, d-d = test series; S.Q.D. = sum of the square differences; V = variance; Str. = deviation.

Tab. 12. Wachstumsraten (WR) der untersuchten Arten
 (Bedeutung der Abkürzungen s. S. 30)

*Multiplication rates (WR) of the species studied
 (Meaning of the abbreviations see page 30)*

N	P	Versuch	Lemna minor			Spirodela polyrrhiza			Lemna minuscula			Lemna gibba		
			WR-Z	Zber	Z-Zber	WR-Z	Zber	Z-Zber	WR-Z	Zber	Z-Zber	WR-Z	Zber	Z-Zber
1	7	a-a	0.07	0.12	-0.05	0.04	0.10	-0.06	0.18	0.22	-0.04	0.10	0.13	-0.03
2	7		0.10	0.14	-0.04	0.08	0.10	-0.02	0.18	0.25	-0.07	0.09	0.14	-0.05
3	7		0.17	0.18	-0.01	0.10	0.15	-0.05	0.30	0.32	-0.02	0.10	0.19	-0.09
4	7		0.21	0.22	-0.01	0.10	0.23	-0.13	0.39	0.38	0.01	0.18	0.24	-0.06
5	7		0.25	0.26	-0.01	0.20	0.31	-0.11	0.43	0.44	-0.01	0.22	0.29	-0.07
6	7		0.27	0.28	-0.01	0.26	0.36	-0.10	0.42	0.46	-0.04	0.24	0.32	-0.08
7	7		0.26	0.26	0.00	0.26	0.35	-0.09	0.43	0.43	0.00	0.23	0.30	-0.07
8	7		0.29	0.20	0.09	0.26	0.26	0.00	0.43	0.32	0.11	0.24	0.22	0.02
9	7		0.00	0.08	-0.08	0.00	0.05	-0.05	0.00	0.11	-0.11	0.00	0.06	-0.06
1	7		0.09	0.12	-0.03	0.07	0.10	-0.03	0.13	0.22	-0.09	0.08	0.13	-0.05
2	7		0.11	0.14	-0.03	0.09	0.10	-0.01	0.22	0.25	-0.03	0.08	0.14	-0.06
3	7		0.19	0.18	0.01	0.16	0.15	0.01	0.33	0.32	0.01	0.21	0.19	0.02
4	7		0.24	0.22	0.02	0.27	0.23	0.04	0.41	0.38	0.03	0.30	0.24	0.06
5	7		0.28	0.26	0.02	0.37	0.31	0.06	0.43	0.44	-0.01	0.31	0.29	0.02
6	7		0.27	0.28	-0.01	0.37	0.36	0.01	0.41	0.46	-0.05	0.29	0.32	-0.03
7	7		0.26	0.26	0.00	0.36	0.35	0.01	0.38	0.43	-0.05	0.29	0.30	-0.01
8	7		0.24	0.20	0.04	0.36	0.26	0.10	0.36	0.32	0.04	0.26	0.22	0.04
9	7		0.00	0.08	-0.08	0.00	0.05	-0.05	0.00	0.11	-0.11	0.00	0.06	-0.06
6	3	b-b	0.18	0.20	-0.02	0.16	0.21	-0.05	0.30	0.33	-0.03	0.17	0.19	-0.02
6	4		0.21	0.24	-0.03	0.28	0.29	-0.01	0.43	0.41	0.02	0.21	0.26	-0.05
6	5		0.22	0.27	-0.05	0.34	0.35	-0.01	0.37	0.46	-0.09	0.29	0.30	-0.01
6	6		0.25	0.28	-0.03	0.36	0.37	-0.01	0.42	0.48	-0.06	0.30	0.32	-0.02
6	7		0.23	0.28	-0.05	0.33	0.36	-0.03	0.41	0.46	-0.05	0.31	0.32	-0.01
6	8		0.24	0.25	-0.01	0.30	0.31	-0.01	0.40	0.41	-0.01	0.27	0.29	-0.02
6	9		0.25	0.20	0.05	0.16	0.20	-0.04	0.35	0.32	0.03	0.27	0.22	0.05
6	10		0.00	0.13	-0.13	0.00	0.05	-0.05	0.00	0.19	-0.19	0.00	0.13	-0.13
6	1		0.03	0.07	-0.04	0.01	-0.01	0.02	0.06	0.06	0.00	0.02	0.01	0.01
6	2		0.13	0.14	-0.01	0.02	0.11	-0.09	0.15	0.21	-0.06	0.07	0.11	-0.04
6	3		0.24	0.20	0.04	0.19	0.21	-0.02	0.34	0.33	0.01	0.17	0.19	-0.02
6	4		0.26	0.24	0.02	0.31	0.29	0.02	0.46	0.41	0.05	0.26	0.26	0.00
6	5		0.26	0.27	-0.01	0.39	0.35	0.04	0.48	0.46	0.02	0.33	0.30	0.03
6	6		0.27	0.28	-0.01	0.37	0.37	0.00	0.46	0.48	-0.02	0.31	0.32	-0.01
6	7		0.25	0.28	-0.03	0.39	0.36	0.03	0.47	0.46	0.01	0.33	0.32	0.01
6	8		0.27	0.25	0.02	0.38	0.31	0.07	0.46	0.41	0.05	0.32	0.29	0.03
6	1		0.06	0.07	-0.01	0.05	-0.01	0.06	0.02	0.06	-0.04	0.02	0.01	0.01
6	2		0.10	0.14	-0.04	0.00	0.11	-0.11	0.16	0.21	-0.05	0.04	0.11	-0.07
6	3		0.22	0.20	0.02	0.18	0.21	-0.03	0.31	0.33	-0.02	0.15	0.19	-0.04
6	4		0.25	0.24	0.01	0.30	0.29	0.01	0.42	0.41	0.01	0.29	0.26	0.03
6	5		0.23	0.27	-0.04	0.38	0.35	0.03	0.46	0.46	0.00	0.35	0.30	0.05
6	6		0.26	0.28	-0.02	0.37	0.37	0.00	0.48	0.48	0.00	0.31	0.32	-0.01
6	7		0.27	0.28	-0.01	0.38	0.36	0.02	0.47	0.46	0.01	0.35	0.32	0.03
6	8		0.29	0.25	0.04	0.34	0.31	0.03	0.44	0.41	0.03	0.30	0.29	0.01
1	2	c-c	0.08	0.07	0.01	0.03	0.06	-0.03	0.12	0.10	0.02	0.05	0.04	0.01
2	3		0.12	0.11	0.01	0.10	0.04	0.06	0.19	0.19	0.00	0.11	0.09	0.02
3	4		0.21	0.17	0.04	0.15	0.11	0.04	0.37	0.30	0.07	0.22	0.17	0.05
4	5		0.26	0.22	0.04	0.26	0.22	0.04	0.45	0.40	0.05	0.29	0.24	0.05
5	6		0.28	0.27	0.01	0.35	0.32	0.03	0.48	0.46	0.02	0.37	0.30	0.07
6	7		0.28	0.28	0.00	0.37	0.36	0.01	0.45	0.46	-0.01	0.35	0.32	0.03
7	8		0.26	0.23	0.03	0.35	0.29	0.06	0.46	0.38	0.08	0.31	0.27	0.04
8	9		0.23	0.12	0.11	0.12	0.06	0.06	0.37	0.19	0.18	0.26	0.14	0.12
1	9	d-d	0.09	0.04	0.05	0.00	-0.05	0.05	0.16	0.07	0.09	0.11	0.04	0.07
2	8		0.16	0.11	0.05	0.09	0.04	0.05	0.24	0.19	0.05	0.16	0.11	0.05
3	7		0.22	0.18	0.04	0.16	0.15	0.01	0.39	0.32	0.07	0.24	0.19	0.05
4	6		0.24	0.23	0.01	0.26	0.24	0.02	0.45	0.41	0.04	0.30	0.26	0.04
5	5		0.28	0.26	0.02	0.36	0.29	0.07	0.46	0.45	0.01	0.34	0.29	0.05
6	4		0.26	0.24	0.02	0.31	0.29	0.02	0.42	0.41	0.01	0.28	0.26	0.02
7	3		0.22	0.18	0.04	0.20	0.21	-0.01	0.30	0.27	0.03	0.14	0.15	-0.01
8	2		0.10	0.05	0.05	0.09	0.02	0.07	0.09	-0.01	0.10	0.02	-0.07	0.09
S.Q.D. = 0.10			S.Q.D. = 0.15			S.Q.D. = 0.21			S.Q.D. = 0.14			V = 0.002		
Str. = 0.04			V = 0.003			V = 0.004			V = 0.003			Str. = 0.05		
Str. = 0.05			Str. = 0.06			Str. = 0.06			Str. = 0.05					

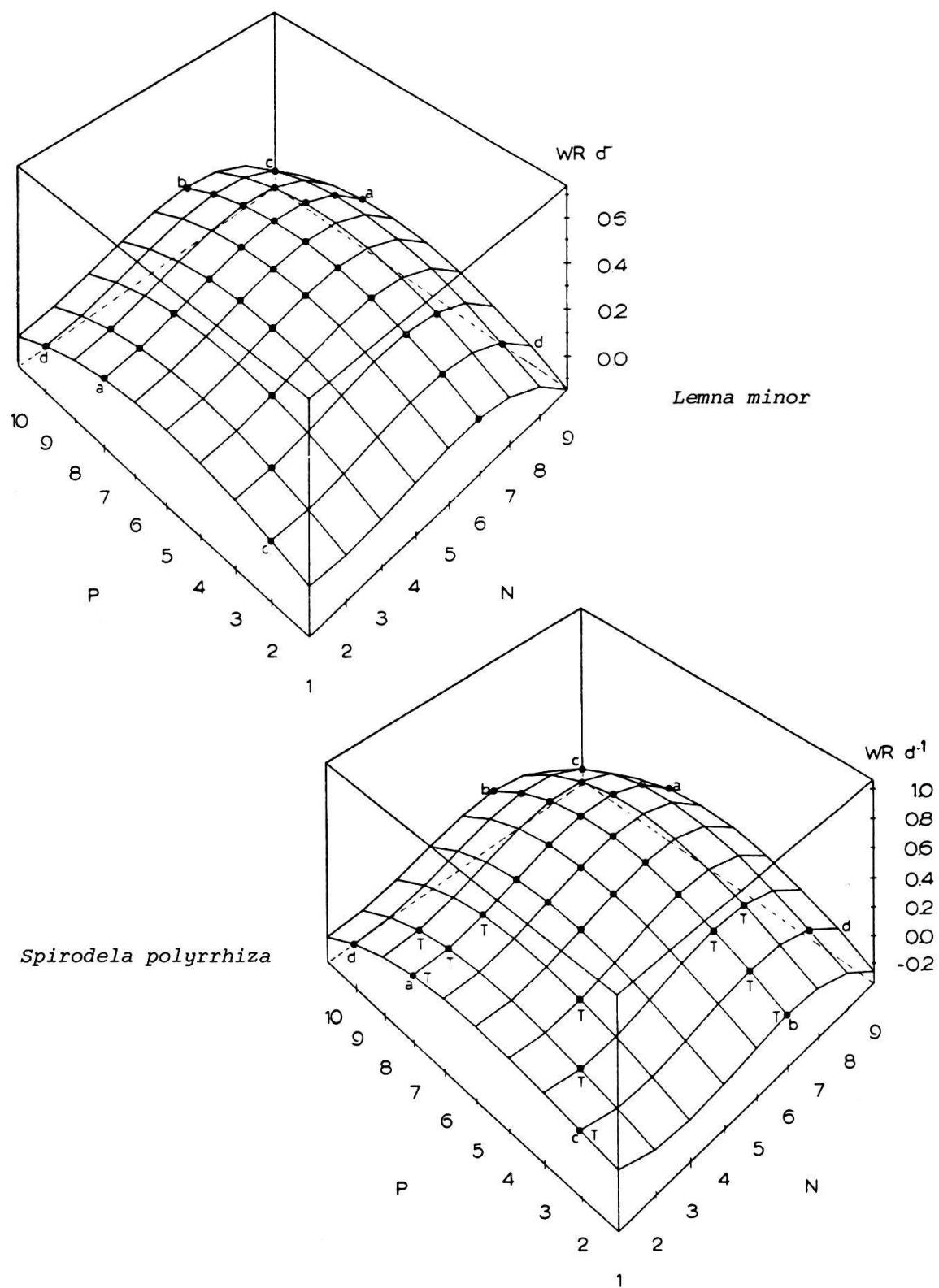
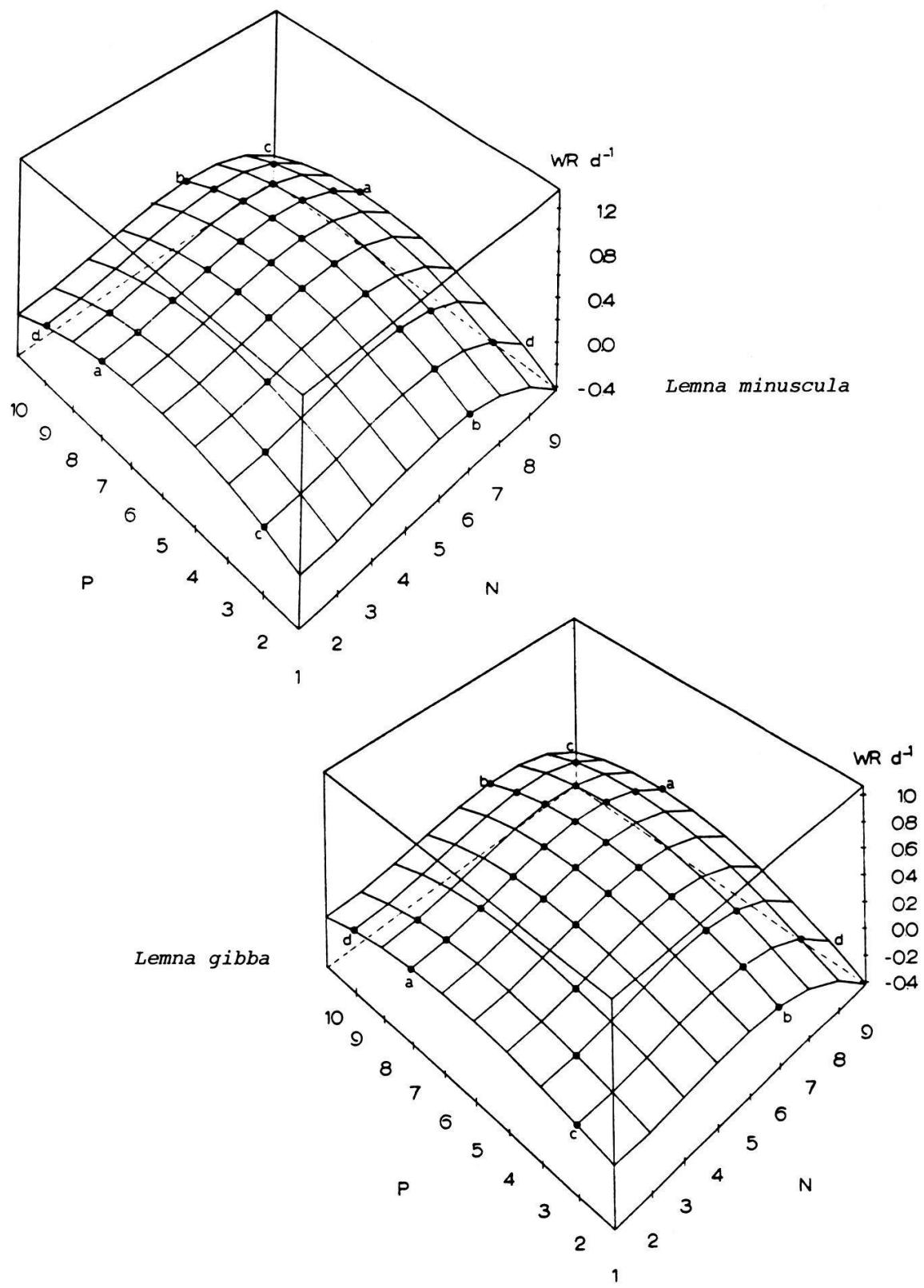


Abb. 7. Wachstumsraten (WR), berechnet, abhängig von Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Konzentrationen

Growth rates (WR), calculated, depending on concentrations of N and P



a-a, b-b, c-c, d-d = Versuchsreihen (s. Kap. 2.1.3.)
 = test series (see Chapter 2.1.3.)
 T = Turionen, turions

Tab. 13. Optimaler Wachstumsbereich (bestimmt), abhängig von der N- und P-Konzentration bei *Lemna minuscula* und *L. gibba*.

Optimal growth range (evaluated) of Lemna minuscula and L. gibba depending on concentrations of N and P.

Arten	optimaler Wachstumsbereich	Wachstumsraten (Max.)
<i>Lemna minuscula</i>	N: 4-8 ≈ 0.56 - 70.0 mg/l P: 4-8 ≈ 0.08 - 10.9 mg/l	0.36 - 0.46 (0.46) 0.40 - 0.48 (0.48)
<i>Lemna gibba</i>	N: 4-8 ≈ 0.56 - 70.0 mg/l P: 4-8 ≈ 0.08 - 54.3 mg/l	0.24 - 0.32 (0.32) 0.26 - 0.32 (0.32)

Tab. 14. Minimale Wachstumsrate (bestimmt) der vier untersuchten Arten

Minimal growth rate (evaluated) of the four species investigated

	Wachstums-rate	Stickstoff-konzentration	Phosphor-Konzentration
<i>Lemna minor</i>	0.09	1	9
	0.10	2/6	7/2
	0.11	2	7
	0.12	2	3
	0.13	6	2
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	0.10	4	7
	0.15	3	4
	0.16	3/6/3	7/3/7
	0.19	6	3
<i>Lemna minuscula</i>	0.12	1	2
	0.15	6	2
	0.16	1	9
	0.18	2	7
	0.19	2	3
	0.22	2	7
	0.24	2	8
<i>Lemna gibba</i>	0.08	2	7
	0.10	3	7
	0.11	2	3
	0.16	2	8
	0.17	6	3

Betrachtet man die Tabelle 14 mit dem minimalen Wachstum, so sieht man, dass das Verhalten der beiden bisher besprochenen Arten nicht mehr ähnlich ist. *Lemna minor* wächst in wesentlich tieferen Konzentrationen minimal. Das minimale Wachstum von *Spirodela polyrrhiza* ist in höheren Konzentrationen zu beobachten.

S. polyrrhiza macht im Unterschied zu *L. minor*, wie auch zu den übrigen untersuchten Arten, unter schlechten Bedingungen Turionen (Abb. 7, T), d.h. in tiefen Konzentrationen ist die Wachstumsrate sehr niedrig, da die Turionen in einen Ruhestand übergehen und auf den Boden des Untersuchungsgefäßes sinken und somit keine neuen Glieder mehr bilden. *L. minor* hat ebenfalls in den tiefen Konzentrationen eine tiefe Wachstumsrate, da auch hier infolge Nährstoffmangel die Vermehrung der Pflanzen stark reduziert ist.

3.1.1.2. *Lemna minuscula* und *Lemna gibba*

Der Gesamtaspekt der Wachstumsraten ist sehr ähnlich. Mit zunehmenden Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen nehmen die Wachstumsraten zu. Bei steigendem Phosphorangebot steigt die Fläche stetig an und fällt zur höchsten Konzentrationsstufe leicht ab. In den tieferen Stickstoffkonzentrationen verläuft die Fläche etwas flacher, steigt dann etwas an und fällt gegen die höchste N-Konzentration etwas stärker ab.

Der einzige Unterschied zwischen *L. minuscula* und *L. gibba* liegt darin, dass die Wachstumsrate von *L. minuscula* ein höheres Maximum aufweist, als die von *L. gibba*.

Die Bereiche des minimalen Wachstums sind bei *L. minuscula* und *L. gibba* recht verschieden. *L. minuscula* hat in tiefen Konzentrationen (Stufe 2) eine Wachstumsrate, die annähernd so hoch ist wie die von *L. minor* bei optimalem Wachstum. Dies bedeutet, dass *L. minuscula* noch in relativ tiefen Konzentrationen gut wächst. Das minimale Wachstum von *L. gibba* ist im höheren Konzentrationsbereich als das von *L. minor* (Stufe 3 gegenüber 2).

3.1.2. Gliedgrösse und Farbveränderungen

Während den Versuchen konnten morphologische Unterschiede wie Gliedgrösse,

Tab. 15. Gliedflächen (GF) der untersuchten Arten

*Frond size of the studied species*GF-Z = Gliedfläche, gemessen - *frond size, measured*Zber = Gliedfläche, berechnet - *frond size, calculated*Z-Zber = Differenz zwischen gemessener und berechneter Gliedfläche
difference between measured and calculated frond size

(Weitere Abkürzungen s.S. 30, further abbreviations see p. 30).

N	P	Versuch	Lemna minor			Spirodela polyrrhiza			Lemna minuscula			Lemna gibba		
			GF-Z	Zber	Z-Zber	GF-Z	Zber	Z-Zber	GF-Z	Zber	Z-Zber	GF-Z	Zber	Z-Zber
1	7	a-a	4.21	6.15	-1.94	21.65	25.25	-3.60	2.01	3.37	-1.36	10.33	12.08	-1.75
2	7		4.64	6.77	-2.14	27.58	22.98	4.60	2.24	3.51	-1.27	9.24	15.95	-6.71
3	7		4.56	7.11	-2.55	21.25	30.00	-8.75	2.26	3.71	-1.45	13.16	20.54	-7.38
4	7		5.01	7.24	-2.23	35.13	41.30	-6.17	2.73	3.90	-1.17	18.39	24.79	-6.40
5	7		5.04	7.34	-2.27	36.33	51.86	-15.53	2.76	4.01	-1.25	28.18	27.62	0.56
6	7		6.01	7.17	-1.16	37.78	56.65	-18.87	2.18	3.98	-1.80	26.65	27.96	-1.31
7	7		5.10	7.12	-2.02	31.06	50.65	-19.59	2.76	3.73	-0.96	20.54	24.75	-4.21
8	7		6.65	7.17	-0.52	28.11	28.85	-0.74	2.21	3.19	-0.98	13.99	16.91	-2.92
1	7		8.80	6.16	2.64	28.58	25.25	3.33	4.66	3.37	1.29	15.51	12.08	3.44
2	7		7.31	6.77	0.54	24.45	22.98	1.47	4.66	3.51	1.15	15.63	15.95	-0.32
3	7		7.86	7.11	0.75	34.65	30.00	4.65	4.29	3.71	0.58	22.90	20.54	2.36
4	7		8.45	7.24	1.21	49.80	41.30	8.50	4.48	3.90	0.58	29.03	24.79	4.24
5	7		8.66	7.24	1.42	53.29	51.86	1.43	4.43	4.00	0.41	26.91	27.62	-0.71
6	7		7.65	7.17	0.48	50.91	56.65	-5.74	4.39	3.98	0.41	27.41	27.96	-0.55
7	7		7.85	7.12	0.73	49.63	50.65	-1.02	4.73	3.73	1.00	28.73	24.75	3.98
8	7		8.73	7.17	1.56	38.88	28.85	10.03	4.13	3.19	0.94	18.90	16.91	1.99
6	1	b-b	6.40	7.15	-0.75	48.53	32.53	16.00	4.21	4.91	-0.70	15.10	9.72	5.38
6	2		7.79	7.50	0.29	42.74	43.28	-0.54	4.71	4.85	-0.14	16.84	15.26	1.58
6	3		9.11	7.64	1.47	51.78	51.28	0.50	4.44	4.70	-0.26	16.89	20.16	-3.27
6	4		7.93	7.62	0.31	67.58	56.56	11.02	3.76	4.50	-0.74	26.53	24.15	2.38
6	5		6.74	7.49	-0.75	59.43	59.19	0.24	3.90	4.29	-0.39	30.45	26.96	3.49
6	6		7.98	7.33	0.65	57.73	59.20	-1.47	3.84	4.11	-0.27	26.71	28.32	-1.61
6	7		8.45	7.17	1.28	57.35	56.65	0.70	4.16	3.98	0.18	32.96	27.96	5.00
6	8		7.70	7.08	0.62	59.64	51.57	8.07	3.75	3.95	-0.20	31.05	25.61	5.44
6	1		7.78	7.15	0.63	23.88	32.53	-8.65	5.76	4.91	0.85	7.88	9.72	-1.84
6	2		6.88	7.50	-0.62	33.40	43.28	-9.88	4.58	4.85	-0.27	9.38	15.23	-5.88
6	3		8.09	7.64	0.45	37.19	51.28	-14.09	5.25	4.70	0.55	14.81	20.16	-5.35
6	4		6.56	7.62	-1.06	69.53	56.56	12.97	4.28	4.50	-0.22	24.49	24.15	0.34
6	5		7.28	7.49	-0.21	57.54	59.19	-1.65	4.43	4.29	0.14	28.88	26.96	1.92
6	6		6.08	7.33	-1.25	55.93	59.20	-3.27	4.44	4.11	0.33	29.95	28.32	1.63
6	7		7.54	7.17	0.37	58.90	56.65	2.25	4.80	3.98	0.82	27.66	27.96	-0.30
6	8		7.60	7.08	0.52	60.88	51.57	9.31	4.46	3.95	0.51	22.11	25.61	-3.50
1	2	c-c	5.44	5.24	0.20	22.80	19.71	3.09	4.70	4.85	-0.15	11.83	12.49	-0.66
2	3		5.40	6.21	-0.81	15.18	20.46	-5.28	4.80	4.54	0.26	14.78	13.09	1.69
3	4		7.23	6.85	0.38	24.19	30.31	-6.12	4.39	4.37	0.02	17.41	17.58	-0.17
4	5		9.21	7.19	2.02	48.60	43.48	5.12	4.54	4.25	0.29	26.29	23.30	2.99
5	6		8.70	7.28	1.42	66.15	54.19	11.96	4.65	4.14	0.51	29.20	27.64	1.56
6	7		7.20	7.17	0.03	60.88	56.65	4.23	4.70	3.98	0.72	23.83	27.96	-4.13
7	8		6.94	6.89	0.05	52.73	45.08	7.65	3.99	3.69	0.30	18.19	21.63	-3.44
8	9		6.03	6.50	-0.47	10.91	13.70	-2.79	3.00	3.22	-0.22	7.49	6.01	1.48
1	9	d-d	8.51	8.83	-0.32	2.40	2.90	-0.50	4.20	4.25	-0.05	10.84	8.31	2.53
2	8		8.86	7.58	1.28	15.09	15.31	-0.22	4.23	3.70	0.53	14.06	14.77	-0.71
3	7		8.63	7.11	1.51	26.11	30.00	-3.89	4.08	3.71	0.37	22.43	20.54	1.89
4	6		5.94	7.15	-1.21	47.79	43.86	3.93	4.53	4.02	0.51	30.63	24.67	5.96
5	5		8.30	7.40	0.90	59.11	53.76	5.35	4.56	4.37	0.19	27.93	26.19	1.74
6	4		6.40	7.62	-1.22	61.71	56.56	5.15	4.53	4.50	0.03	24.20	24.15	0.05
7	3		6.98	7.51	-0.53	45.56	49.15	-3.59	4.61	4.17	0.44	13.90	17.60	-3.70
8	2		7.06	6.80	0.26	28.90	28.40	0.50	3.08	3.11	-0.03	8.83	5.57	3.26
S.Q.D. = 70.21			S.Q.D. = 2890.90			S.Q.D. = 25.14			S.Q.D. = 549.26			V = 1.60		
Str. = 1.26			V = 65.70			V = 0.57			V = 12.48			Str. = 8.11		
Str. = 0.76			Str. = 0.76			Str. = 3.53			Str. = 3.53			Str. = 3.53		

Gliedform und die Farbe der Glieder zwischen den einzelnen Konzentrationsstufen festgestellt werden. Um diese Beobachtungen zu verifizieren, wurden die Gliedlängen und -breiten gemessen und daraus die Gliedflächen bestimmt (Abb. 8). Zusätzlich zu den unterschiedlichen Gliedgrössen in Abhängigkeit der Nährstoffkonzentrationen konnten unterschiedliche Farbausbildungen beobachtet werden.

3.1.2.1. *Lemna minor*

Da die Standardabweichungen bei dieser Art relativ gross sind und bei wiederholten Versuchen mit gleichen P- und N-Konzentrationen recht unterschiedliche Werte resultierten (s. Tab. 15), werden nur die Trends, die aus der Figur ersichtlich sind, besprochen.

Die Grösse nimmt sowohl bei zunehmendem Stickstoff als auch bei steigendem Phosphor etwas zu und gegen die höheren bis höchsten Konzentrationen wieder leicht ab. Im oberen Drittel der Figur sieht man, dass bei diesen Konzentrationen (6-8: $N = 14.0 - 350 \text{ mg/l}$, $P = 2.17 - 54.3 \text{ mg/l}$) die Gliedgrösse nicht stark variiert, dies bedeutet, dass bei normalen bis guten Bedingungen die Pflanzen ungefähr gleich grosse Glieder ausbilden. Die grössten Glieder waren bei den Konzentrationen 4-6 ($N = 5.6 \cdot 10^{-1} - 14.0 \text{ mg/l}$, $P = 8.68 \cdot 10^{-2} - 2.17 \text{ mg/l}$) zu beobachten.

In der vorderen Hälfte der Fläche, also bei niedrigen Stickstoffkonzentrationen, kombiniert mit zunehmendem Phosphor und umgekehrt, sieht das Bild etwas anders aus. Hier nimmt die Gliedgrösse bei konstantem Stickstoff, kombiniert mit steigendem Phosphor, fortlaufend zu, bei zunehmendem Stickstoff und tiefem Phosphor nehmen die Glieder zuerst zu und dann ab. Da in diesem Bereich sehr wenige Punkte liegen, die untersucht wurden, kann keine genaue Aussage gemacht werden.

Die Glieder wiesen in den tiefen Konzentrationen (1-3: $N = 4.48 \cdot 10^{-3} - 1.12 \cdot 10^{-1} \text{ mg/l}$, $P = 0.69 \cdot 10^{-3} - 1.74 \cdot 10^{-2} \text{ mg/l}$) einen hellgrünen bis fast gelben Farnton auf. In den mittleren Konzentrationen waren die Glieder normal grün, in den höchsten Konzentrationen dunkelgrün. Der hier untersuchte Klon von *Lemna minor* bildete unter den angewandten Bedingungen keine sichtbaren Anthocyane.

In den Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen $N = 350.0 \text{ mg/l}$ und $P =$

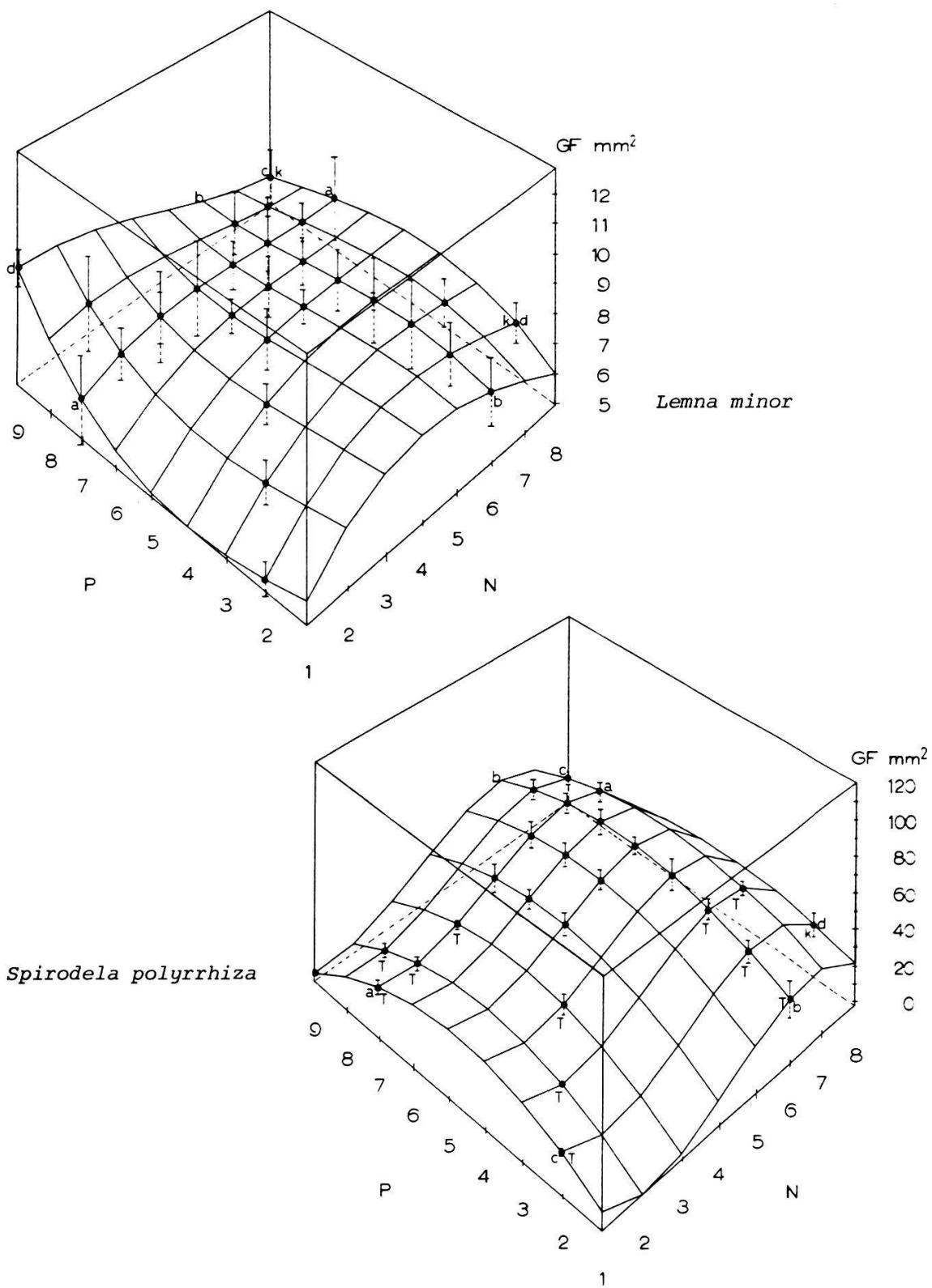
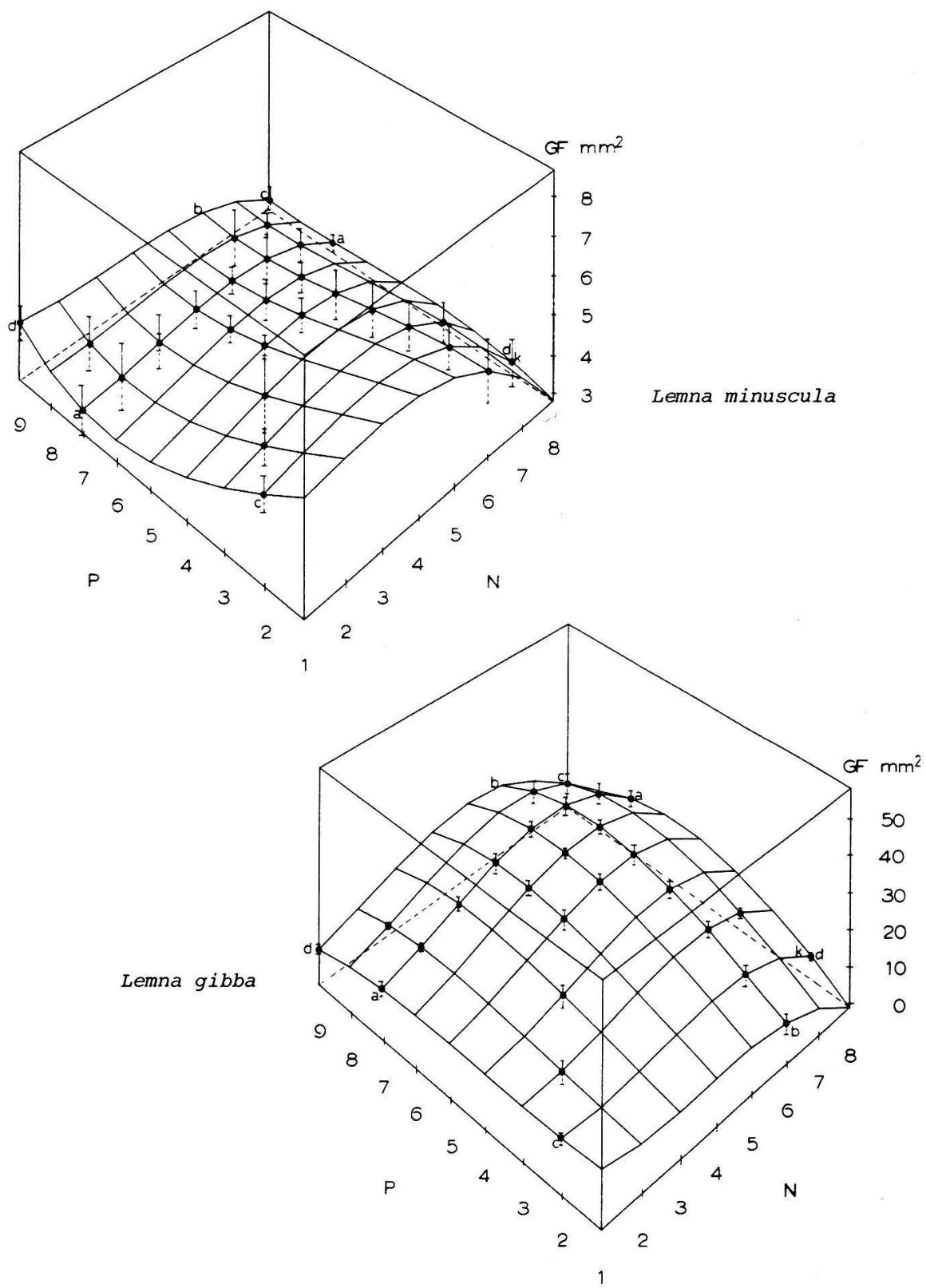


Abb. 8. Gliedflächen (GF), berechnet, abhängig von Stickstoff- (N) - und Phosphor- (P) -Konzentrationen

Frond sizes (GF), calculated, depending on concentrations of N and P



a-a, b-b, c-c, d-d = Versuchsreihen (s.Kap. 2.1.3)
 = test series (see Chapter 2.1.3.)
 T = Turionen, turions, K = Knäuel, clusters

$3.47 \cdot 10^{-3}$ mg/l, sowie N = 350.0 mg/l und P = 271.3 mg/l bildeten die Pflanzen Knäuel (Abb. 8, K).

3.1.2.2. *Spirodela polyrrhiza*

Die Fläche in der Abbildung zeigt eine starke Aufwölbung gegen zunehmenden Stickstoff hin und sinkt in der höchsten Stickstoffkonzentration relativ stark ab, vor allem bei denjenigen Konzentrationen, die mit hohem Phosphorgehalt kombiniert sind; diese Punkte sind in der Abbildung nicht mehr sichtbar, da sie hinter dem Buckel liegen. Dies bedeutet, dass bei steigendem Stickstoff die Glieder zu Beginn sehr stark an Grösse zunehmen und nach Erreichen eines Maximums bei den Konzentrationen 6 und 7 (14.0 mg/l resp. 70.0 mg/l) die Gliedergrösse relativ schnell abnimmt.

Bei zunehmendem Phosphor ist keine so steile Zunahme der Gliedergrösse zu beobachten; die Glieder werden in den steigenden Konzentrationen kontinuierlich grösser, sind aber in den höchsten zwei Konzentrationen beträchtlich kleiner. Die grössten Glieder sind in den mittleren bis höheren N- und P-Konzentrationen zu beobachten. Die kleinsten Glieder wurden in der Versuchsreihe d-d mit Phosphor = 271.3 mg/l (P9) und Stickstoff = $4.48 \cdot 10^{-3}$ mg/l (N1) beobachtet. Diese Glieder waren kleiner als Turionen und unterschieden sich von diesen durch das Vorhandensein von Wurzeln und durch die Farbe. In diesen und in den folgenden Konzentrationen N = 350.0 mg/l (N8) und P = $3.47 \cdot 10^{-3}$ mg/l (P2) konnten keine Turionen beobachtet werden, obwohl bei den Versuchsreihen a-a und b-b mit den gleich tiefen Konzentrationen (N1 mit P7, N6 mit P2) Turionen beobachtet wurden (Abb. 8, T).

Wahrscheinlich ist vor allem die toxische Auswirkung der zu hohen Stickstoff- resp. Phosphorgaben der Grund, dass die Pflanzen nicht genügend Stärke, die für die Turionenbildung nötig ist, aufbauen konnten.

Die Glieder waren in den untersten drei Konzentrationen auf der Oberseite olivgrün; den Nerven entlang, an den Rändern und auf der Unterseite waren sie rot pigmentiert (Anthocyane), wobei die Intensität der Rotfärbung mit steigendem Nährstoffgehalt abnahm und in den höheren Konzentrationen ganz verschwand. Die rot pigmentierten Glieder schienen relativ dick, im Gegensatz zu jenen, die normal grün und beinahe durchsichtig waren.

Bei der Versuchsreihe d-d mit $P = 3.47 \cdot 10^{-3}$ mg/l und $N = 350.0$ mg/l bildeten die Glieder Knäuel (Abb. 8, K).

3.1.2.3. *Lemna minuscula*

Bei steigendem Phosphorgehalt, kombiniert mit konstant gehaltenem Stickstoff werden die Glieder nach der 3. Stufe kleiner, bis sie wieder in der zweithöchsten Konzentration grösser werden. Bei steigendem Stickstoffgehalt, kombiniert mit konstantem Phosphor ist es umgekehrt: die Glieder werden zuerst etwas grösser, nur in der höchsten Stickstoffkonzentration sind sie kleiner.

Auffallend bei *L. minuscula* ist, dass in den tiefsten Konzentrationen die Glieder extrem lang, schmal und hellgrün bis fast gelb waren, in den mittleren bis höheren Konzentrationen waren sie beinahe rund (Abb. 10) und normal grün.

In den Konzentrationen $P = 3.47 \cdot 10^{-3}$ mg/l und $N = 350.0$ mg/l trennten sich die Glieder nicht voneinander ab und bildeten so dichte Knäuel (Abb. 8, K und Abb. 10, N = 8, P = 9).

3.1.2.4. *Lemna gibba*

Die Glieder werden mit zunehmenden Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen stetig grösser, sind aber in den höchsten Konzentrationen wieder extrem kleiner. Bei zunehmendem P (resp. N) und tiefem, konstant gehaltenen N (resp. P) nehmen die Gliedgrössen zuerst etwas ab, dann leicht zu und bis zu den höchsten Konzentrationen wieder ab. Die grösste Gliedgrösse erscheint bei dieser Art unter optimalen Nährstoffbedingungen.

Lemna gibba hat in den tiefen Konzentrationen gelbe Glieder mit roten Pigmenten (Anthocyane, s. Tab. 14), vor allem an der Unterseite und den Nerven entlang. Unter normalen Bedingungen waren die Pflanzen grün, in der höchsten Stickstoff- und tiefsten Phosphorkonzentration ($N = 350.0$ mg/l, $P = 3.47 \cdot 10^{-3}$ mg/l) dunkelgrün und eng zusammengeknäult (Abb. 8, K). Wie man anhand der rekonstruierten Angaben in Tab. 16 sieht, zeigen die Pflanzen in den vorliegenden Untersuchungen keine Tendenz, unter entsprechenden Bedingungen speziell bauchige Glieder zu bilden, mit Ausnahme bei gleichzeitig höheren Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen.

Tab. 16. Morphologie von *L. gibba* bei den verschiedenen Konzentrationsreihen (rekonstruiert aus Photos, Notizen und Dauerpräparaten).

Morphology of L. gibba within the different concentrations, as constructed from photos, notes and preparations

Konzentration	Dicke	Papillen	Lufträume	Farbe
Versuchsreihe a-a				
NH ₄ NO ₃ (P)				
1 7	-	wenig ausgeprägt	klein	gelb-hellgrün/Anthocyan
2 7	(+)-	ausgeprägt	klein	hellgrün Wurzelansatzstelle rot
3 7	+-	ausgeprägt	gross	randlich rot/hellgrün
4. 7	+-	ausgeprägt	gross	randlich rot/hellgrün
5 7	+	ausgeprägt, spitz	gross	grün
6 7	++	ausgeprägt, spitz	gross	grün
7 7	+-	ausgeprägt	klein	grün
8 7	(+)-	stark ausgeprägt	mittel	dunkelgrün
Versuchsreihe b-b				
K ₂ HPO ₄ (N)				
1 6	(+)-	stark ausgeprägter Mittelnerv	mittel	gelb-hellgrün/stark rot, schmallängliche Gliedform
2 6	(+)-	stark ausgeprägt	mittel	hellgrün, nur vereinzelt rot, schmallängliche Gliedform
3 6	+-	stark ausgeprägt	mittel	hellgrün/schwachrot, normale Gliedform
4 6	+	stark ausgeprägt	gross	grün/kein Anthocyan sichtbar
5 6	+	stark ausgeprägt	gross	do.
6 6	++	stark ausgeprägt	gross	do.
7 6	+	stark ausgeprägt	gross	do.
8 6	+	stark ausgeprägt	gross	do.
Versuchsreihe d-d				
N P				
1 9	nicht beobachtet	nicht ausgeprägt	klein	gelb-hellgrün/leicht rot/ klein
2 8		nicht ausgeprägt	klein	gelb-hellgrün/klein
3 7		schwach ausgeprägt	mittel	gelb-hellgrün/normal
4 6		ausgeprägt	mittel	grün/normal
5 5		ausgeprägt	mittel	grün/normal
6 4		schwach ausgeprägt	klein	grün-hellgrün/normal
7 3		schwach ausgeprägt	klein	grün/klein
8 2		schwach ausgeprägt	klein-sehr klein	dunkelgrün/klein/nach oben gebuckelt

Tab. 16. (Fortsetzung - continued)

Konzentration	Dicke	Farbe
Versuchsreihe c-c		
N P		
1 2	nicht beobachtet	gelb-olivgrün/oberhalb: punkt-streifenweise rot unterhalb: den Nerv entlang rot
2 3		gelb-olivgrün/oberhalb: punkt-streifenweise rot unterhalb: den Nerv entlang rot
3 4		nur noch unten den Nerv entlang rot
4 5		grün
5 6		grün
6 7		hellgrün, teilweise den Nerven entlang rot
7 8		grün bis dunkelgrün
8 9		grün bis dunkelgrün

3.1.3. Wurzellängen

Bereits WHITE (1937b) hat in seiner Arbeit "Nitrogen and light intensity in relation to root length" beobachtet, dass Lemnaceen bei niedrigem Nährstoffangebot, bezogen auf Stickstoff, längere Wurzeln bilden als bei normaler Ernährung. In der vorliegenden Arbeit wurden die Wurzellängen bezüglich des Stickstoff- und Phosphorangebots gemessen (Tab. 17). Die entsprechenden Standardabweichungen wurden in die Abbildungen eingezeichnet (Abb. 9).

3.1.3.1. *Lemna minor*

Die Wurzeln werden bei den Versuchsreihen a-a bis c-c mit zunehmenden Nährstoffkonzentrationen kürzer, wobei sie in den höheren Konzentrationen ($N = 5-7$, $P = 5-8$) ungefähr gleich lang sind. Bei der Versuchsreihe d-d mit gegenläufigen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen sind die Wurzeln mit dem höchsten Stickstoff- ($N = 350.0 \text{ mg/l}$) und dem tiefsten untersuchten Phosphorangebot ($P = 3.47 \cdot 10^{-3} \text{ mg/l}$) am kürzesten. Bei diesem Versuch nehmen die Wurzeln zuerst zu und wieder ab. Der wellenförmige Verlauf kommt daher, dass bei hohen Stickstoffkonzentrationen die Phosphorkonzentrationen entsprechend tief sind und umgekehrt.

Tab. 17. Wurzellängen (WL) der untersuchten Arten

Root length (WL) of the studied species

WL-Z = Wurzellänge, gemessen - root length, measured

Zber = Wurzelkänge, berechnet - root length, calculated

Z-Zber = Differenz zwischen gemessener und berechneter Wurzel-
länge

= difference between measured and calculated root lenght

(Weitere Abkürzungen s.S. 30, further abbreviations see p. 30).

			Lemma minor			Spirodela polyrrhiza			Lemma minuscula			Lemma gibba		
N	P	Versuch	WL-Z	Zber	Z-Zber	WL-Z	Zber	Z-Zber	WL-Z	Zber	Z-Zber	WL-Z	Zber	Z-Zber
1	7	a-a	23.43	39.65	-16.22	14.70	9.86	4.84	6.06	5.88	0.18	18.73	32.00	-13.27
2	7		19.80	35.86	-16.06	14.36	14.08	0.28	7.99	8.15	-0.16	20.54	48.41	-27.47
3	7		28.38	32.06	-3.68	25.51	16.08	9.43	8.75	8.64	0.11	19.73	54.17	-34.44
4	7		25.93	28.25	-2.32	20.10	16.23	3.87	8.80	7.89	0.91	36.80	51.73	-14.93
5	7		16.05	24.42	-8.37	16.68	14.90	1.78	6.48	6.42	0.06	50.78	43.52	7.26
6	7		20.25	20.59	-0.34	8.05	12.47	-4.42	2.36	4.76	-2.40	35.11	31.98	3.13
7	7		17.18	16.74	0.44	7.28	9.31	-2.03	4.74	3.43	1.31	19.63	19.56	0.07
8	7		14.54	12.87	1.67	7.15	5.79	1.36	2.84	2.96	-0.12	6.13	8.68	-2.55
1	7		58.44	39.65	18.79	8.75	9.86	-1.11	6.56	5.88	0.68	35.13	32.00	3.13
2	7		47.69	35.86	11.83	10.88	14.08	-3.20	7.00	8.15	-1.15	102.20	48.41	53.79
3	7		44.50	32.06	12.44	18.81	16.08	2.73	10.30	8.64	1.66	67.06	54.17	12.89
4	7		25.00	28.25	-3.25	22.56	16.23	6.33	8.19	7.89	0.30	63.88	51.73	12.15
5	7		22.69	24.42	-1.73	15.13	14.90	0.23	5.38	6.42	-1.04	35.56	43.52	-7.96
6	7		20.75	20.59	0.16	10.44	12.47	-2.03	4.75	4.76	-0.01	35.38	31.98	3.40
7	7		21.94	16.74	5.20	10.38	9.31	1.07	4.88	3.43	1.45	15.63	19.56	-3.93
8	7		15.25	12.87	2.38	9.38	5.79	3.59	3.50	2.96	0.54	8.31	8.68	-0.37
6	1	b-b	55.13	65.96	-10.83	15.56	10.67	4.89	4.63	6.76	-2.13	44.25	29.33	14.92
6	2		52.69	50.96	1.73	13.88	15.86	1.98	11.31	8.66	2.65	35.00	33.92	1.08
6	3		54.81	40.01	14.80	34.31	18.18	16.13	11.44	8.98	2.46	31.19	36.25	-5.06
6	4		23.69	32.32	-8.63	22.63	18.32	4.31	5.38	8.25	-2.87	45.75	36.79	8.96
6	5		20.94	27.06	-6.12	13.81	16.96	-3.15	4.19	6.96	-2.77	31.81	35.97	-4.16
6	6		24.06	23.42	0.64	12.69	14.78	-2.09	4.81	5.62	-0.81	28.44	34.22	-5.78
6	7		24.00	20.59	3.41	12.13	12.47	-0.34	5.19	4.76	0.43	35.31	31.98	3.33
6	8		21.75	17.75	4.00	10.81	10.72	0.09	4.31	4.86	-0.55	30.63	29.71	0.92
6	1		65.88	65.96	-0.08	6.06	10.67	-4.61	6.25	6.76	-0.51	19.75	29.33	-9.58
6	2		64.00	50.96	13.04	9.13	15.86	-6.73	9.31	8.66	0.65	25.00	33.92	-8.92
6	3		50.69	40.02	10.67	24.63	18.18	6.45	12.38	8.98	3.40	24.75	36.26	-11.51
6	4		26.31	32.32	-6.01	18.38	18.32	0.06	6.69	8.25	-1.56	47.13	36.79	10.34
6	5		20.56	27.06	-6.50	11.13	16.96	-5.83	4.75	6.96	-2.21	32.06	35.97	-3.91
6	6		20.56	23.42	-2.86	10.00	14.78	-4.78	5.00	5.62	-0.62	28.19	34.22	-6.03
6	7		20.19	20.59	-0.40	10.44	12.47	-2.03	5.19	4.76	0.43	29.06	31.98	-2.92
6	8		18.88	17.75	1.13	12.31	10.72	1.59	4.50	4.86	-0.36	22.56	29.71	-7.15
1	2	c-c	42.38	42.32	0.06	7.75	4.23	2.52	12.81	13.53	-0.72	66.88	62.25	4.63
2	3		41.00	45.48	-4.48	9.00	15.50	-6.50	14.69	13.79	0.90	51.69	67.19	-15.50
3	4		49.00	42.73	6.27	15.75	20.34	-4.59	12.88	12.37	0.51	80.44	65.11	15.33
4	5		33.25	36.23	-2.98	20.31	20.38	-0.07	9.19	9.95	-0.76	65.69	57.53	8.16
5	6		23.81	28.13	-4.32	12.75	17.22	-4.47	5.38	7.20	-1.82	40.06	45.98	5.92
6	7		22.13	20.59	1.54	10.69	12.47	-1.78	9.50	4.76	4.74	49.75	31.98	17.77
7	8		24.94	15.76	9.18	10.88	7.75	3.13	5.13	3.31	1.82	21.31	17.06	4.25
8	9		7.50	15.80	-8.30	3.31	4.66	-1.35	1.75	3.53	-1.78	2.75	2.73	0.02
1	9	d-d	34.54	39.19	-4.65	1.00	3.50	-2.50	8.13	8.65	-0.52	28.13	20.83	7.30
2	8		34.31	34.03	0.28	7.00	11.20	-4.20	7.19	8.64	-1.45	30.00	43.74	-13.74
3	7		49.50	32.06	17.44	16.19	16.08	0.11	12.50	8.64	3.86	55.25	54.17	1.08
4	6		24.81	31.98	-7.17	18.00	18.59	-0.59	6.50	8.61	-2.11	64.31	54.75	9.56
5	5		24.50	32.50	-8.00	12.63	19.19	-6.56	6.81	8.50	-1.69	42.06	48.08	-6.02
6	4		28.81	32.32	-3.51	22.19	18.32	3.87	8.06	8.25	-0.19	43.69	36.79	6.90
7	3		36.25	30.16	6.09	18.19	16.46	1.73	10.88	7.80	3.08	20.44	23.50	-3.06
8	2		18.38	24.71	-6.33	9.69	14.05	-4.36	5.31	7.11	-1.80	14.63	10.82	3.81
S.Q.D.			S.Q.D. = 2931.85			S.Q.D. = 940.57			S.Q.D. = 143.10			S.Q.D. = 8010.29		
V.			V. = 66.63			V. = 21.38			V. = 3.25			V. = 182.05		
Str.			Str. = 8.16			Str. = 4.62			Str. = 1.80			Str. = 13.49		

Betrachtet man die unteren beiden Ränder der Fläche, so sieht man, dass bei konstant niedrig gehaltenem Stickstoff, kombiniert mit steigendem Phosphor, die Fläche in diesem Bereich keine Veränderung aufweist; bei niedrigem Phosphor, kombiniert mit steigendem Stickstoff, zeigt die Fläche eine kleine Wölbung. Da in diesen Extrembereichen keine Versuche durchgeführt wurden, kann nur vermutet werden, dass die Stickstoffkonzentrationen das Wurzelwachstum etwas stärker beeinflussen als dies beim Phosphor der Fall ist.

Die Wurzeln dieses Stammes hatten die Tendenz sich vom unteren Drittel an nach oben zu krümmen.

3.1.3.2. *Spirodela polyrrhiza*

Die Wurzellängen nehmen von einem gewissen Punkt an mit steigender Stickstoff- und Phosphorkonzentration ab (Versuchsreihen a-a bis c-c), aber erst etwa von der dritten und vierten Konzentrationsstufe an, wo die Wurzeln am längsten sind. Bei tieferen Konzentrationen sind die Wurzeln wesentlich kürzer. Bei der Versuchsreihe d-d mit gegenläufigen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen sind die Wurzeln zuerst kurz, werden dann um das Doppelte länger und nehmen wieder etwas an Länge ab.

Wahrscheinlich haben die Pflanzen in den extrem tiefen Konzentrationen nicht mehr genügend Energie um längere Wurzeln zu bilden. Hinzu kommt, dass die Messungen der Wurzeln bei dieser Art grosse Schwierigkeiten mit sich brachten. Infolge der Turionenbildung in den tiefen Konzentrationen waren nicht mehr genügend Glieder vorhanden, die noch Wurzeln besassen, denn die Wurzeln der alten Glieder fielen unter diesen schlechten Bedingungen ab, und es war nicht mehr möglich, diese Wurzeln genau zu messen.

3.1.3.3. *Lemna minuscula*

Die Wurzeln sind in den Versuchsreihen a-a und b-b in den untersten Konzentrationen relativ kurz, werden dann etwas länger (in den Konzentrationsstufen N und P = 2,3), in den höheren Konzentrationen werden sie wieder kürzer. Im Gegensatz zu den bereits besprochenen Arten sind die Wurzeln bei der Versuchsreihe d-d mit zunehmendem Stickstoff und abnehmendem Phosphor zu Beginn, bis zu den Konzentrationsstufen N = 5 (2.8 mg/l) und

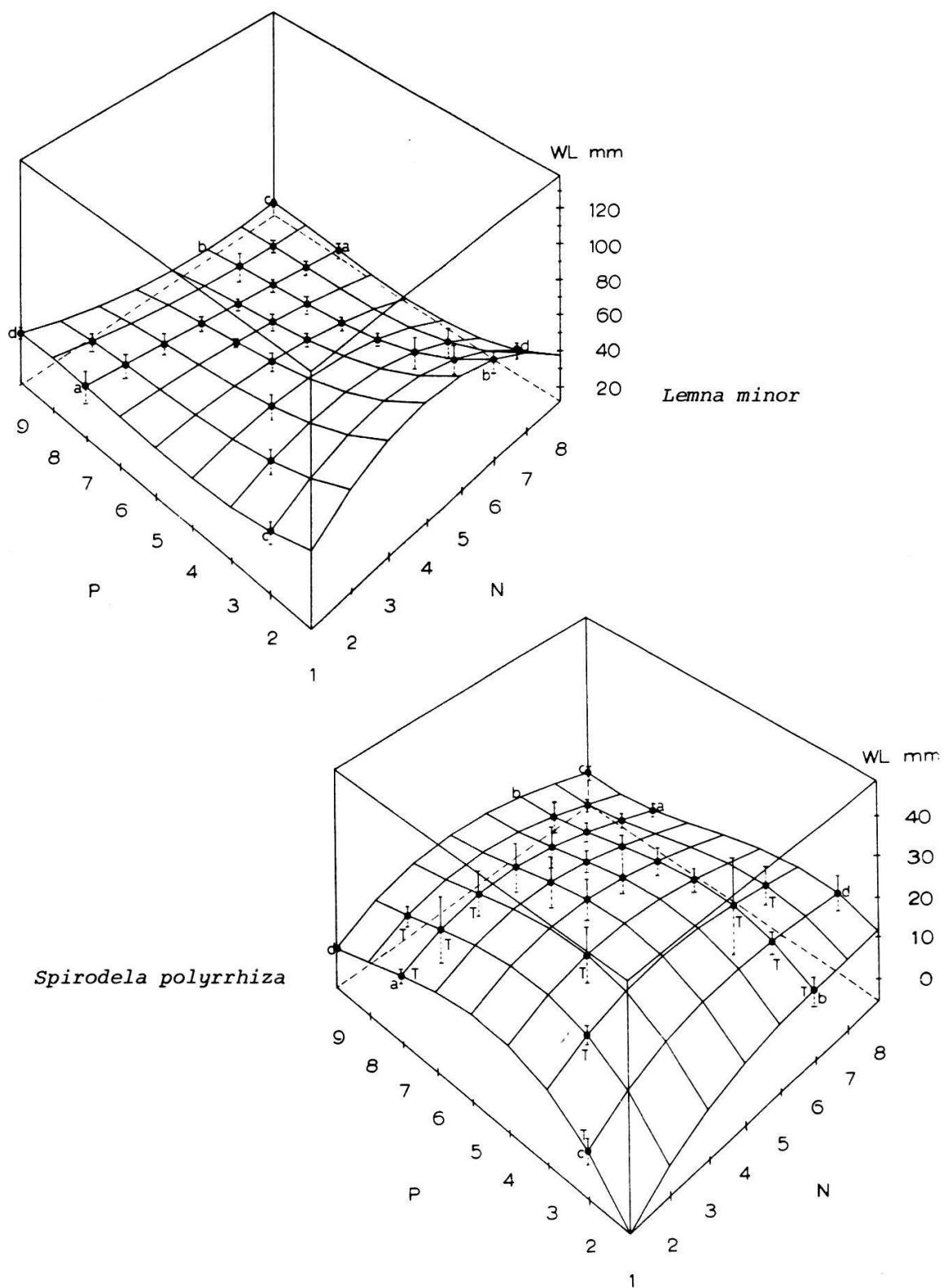
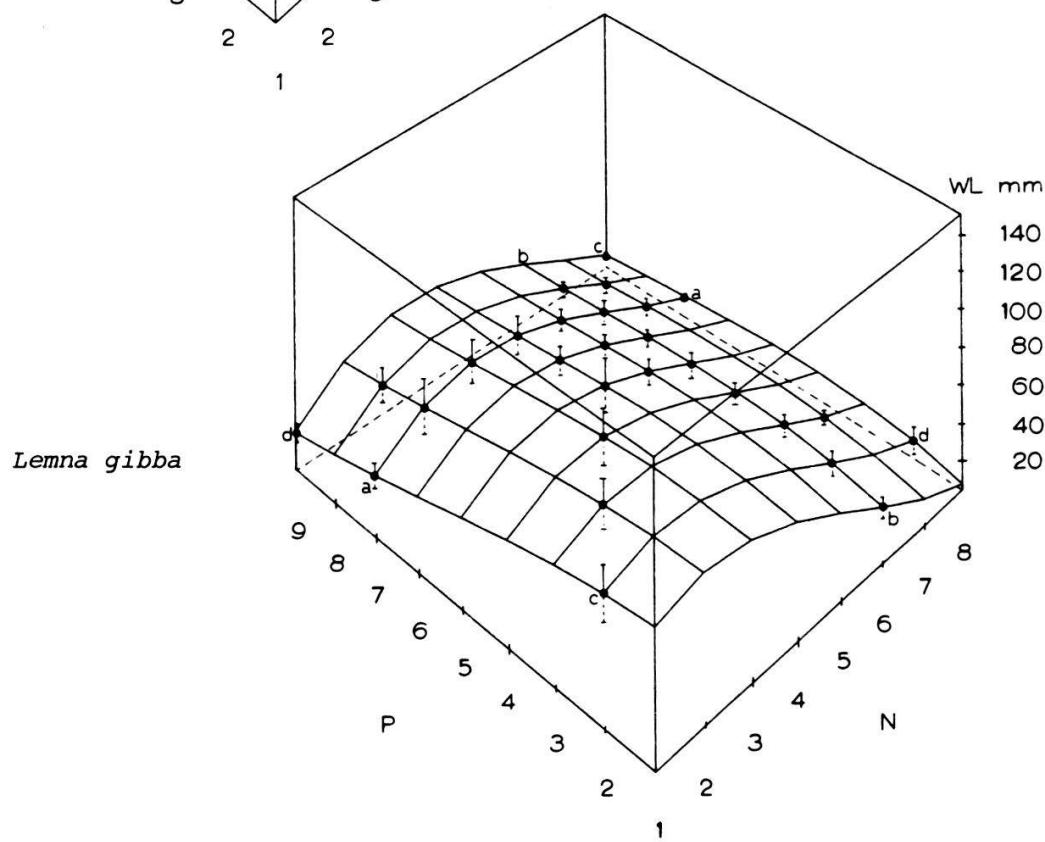
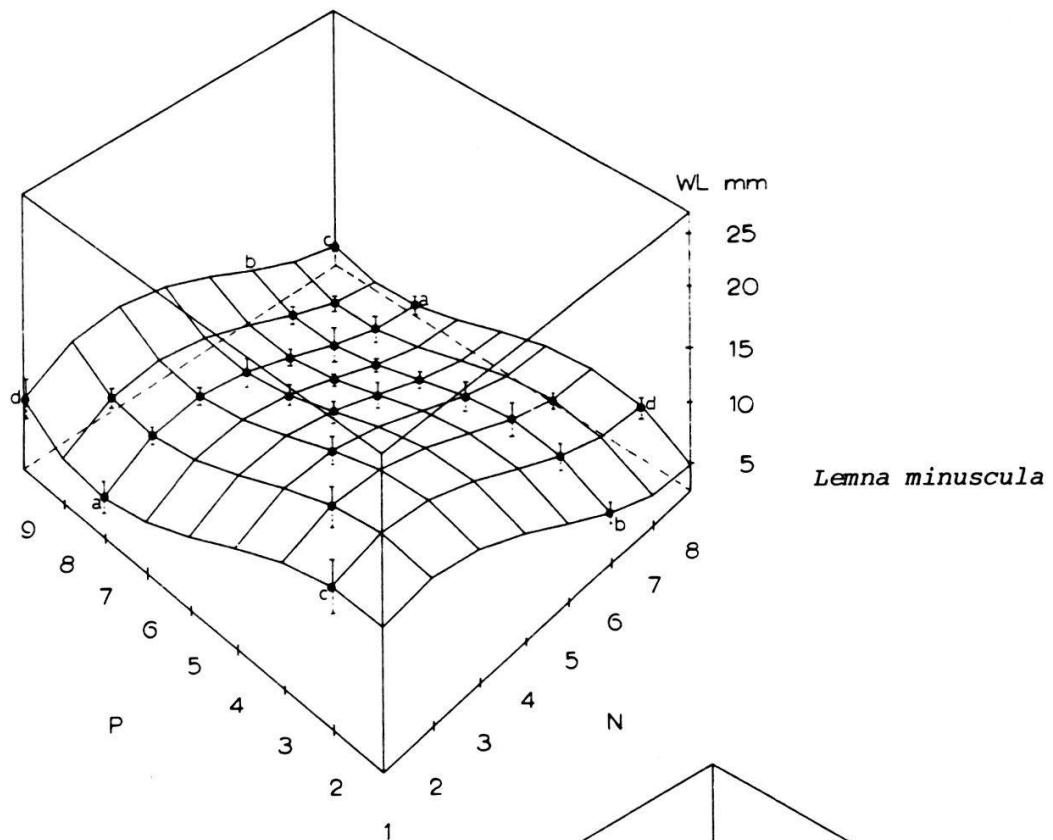


Abb. 9. Wurzellängen (WL), berechnet, abhängig von Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Konzentrationen

Root length (WL), calculated, depending on concentrations of N and P



a-a, b-b, c-c, d-d = Versuchsreihen (s. Kap. 2.1.3.)

= test series (see Chapter 2.1.3.)

T = Turionen, turions

$P = 5$ (0.43 mg/l), ungefähr gleich lang und nehmen dann leicht ab. Bei der Versuchsreihe c-c, wo sowohl die Stickstoff- als auch die Phosphorkonzentration zunimmt, nehmen die Wurzellängen stetig ab.

3.1.3.4. *Lemna gibba*

Die Wurzeln dieser Art sind bei allen durchgeführten Versuchsreihen (a-a bis d-d) in den tiefsten und höchsten Konzentrationen am kürzesten, wie dies auch bei *Spirodela polyrrhiza* zu beobachten war.

Ein wesentlicher Unterschied zu *S. polyrrhiza* liegt darin, dass *L. gibba* bei den Versuchsreihen a-a und b-b recht unterschiedliche Wurzellängen aufweist. In der Versuchsreihe a-a sind die Wurzeln vorerst kurz, werden dann etwas länger und sind in den optimalen bis extremen Stickstoffkonzentrationen kurz. In der Versuchsreihe b-b scheint das Wurzelwachstum mehr oder weniger ausgeglichen zu sein. Dies kann bedeuten, dass das Wurzelwachstum bei *Lemna gibba* auf unterschiedliches Stickstoffangebot anders reagiert als auf unterschiedliches Phosphorangebot.

3.1.4. Bemerkungen zu den Ergebnissen der Laboruntersuchungen

Anhand physiologischer (Wachstumsrate) und morphologischer (Wurzellänge, Gliedgrösse, Farbe) Merkmale, die bereits von verschiedenen Autoren untersucht wurden, soll gezeigt werden, wie sich die Stickstoff- und Phosphernährung auf das Wachstum der Pflanzen auswirkt. Die beiden Elemente werden nicht gesondert betrachtet, da die Symptome des Phosphormangels, was die Wachstumsrate und die Wurzellänge anbelangt, jenen des Stickstoffmangels ähneln (MENGEL 1979). Arbeiten von BIELESKI (1968, 1972, 1974), BIELESKI und JOHNSON (1972), FEKETE und RIEMER (1973), JUNGNICKEL (1978) sowie REID und BIELESKI (1970) haben gezeigt, dass bei Phosphormangel das Wachstum abnimmt resp. dass bei steigendem Phosphorangebot das Wachstum zunimmt. WHITE (1937a) hat ähnliche Untersuchungen mit Stickstoffmangel gemacht und die gleichen Resultate erhalten. Er zeigt, dass bei hohen Lichtintensitäten hohe Stickstoffwerte ein erhöhtes Wachstum bewirken, bei tiefen Lichtintensitäten ist das Wachstum mit tiefen Stickstoffwerten etwa gleich wie bei hohen Stickstoffwerten. In der vorliegenden Arbeit

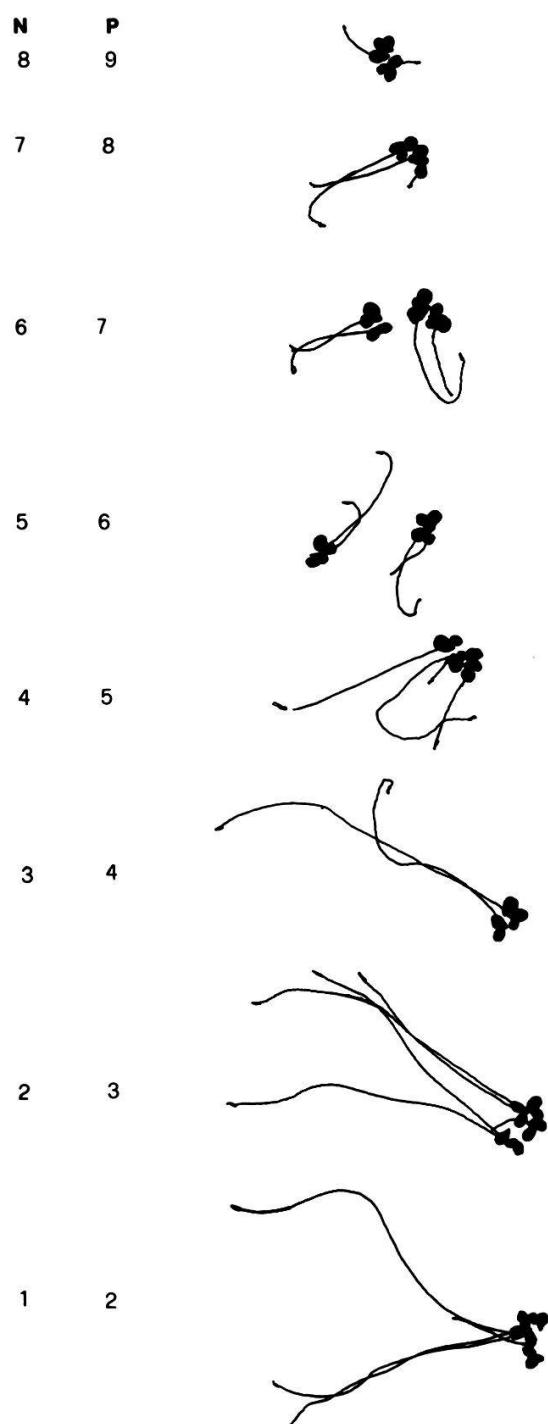
wurde mit hohen Lichtintensitäten (bis zu 18500 Lux) gearbeitet. Das Licht war somit nicht mehr limitierend. BÖSZEREMENYI und BÖSZEREMENYI (1957) konnten zeigen, dass Stickstoff- und Phosphormangel die Lebenslänge der Glieder reduziert, Phosphormangel allein erhöht die Alterungsrate. REID und BIELESKI (1970) zeigten ebenfalls, dass Phosphormangelsymptome ähnlich denjenigen sind, die bei Alterung auftreten.

Obige Aussagen stimmen im allgemeinen mit den vorliegenden Untersuchungen überein. Im speziellen konnte gezeigt werden, dass die vier Arten auf einem definierbaren Nährstoffniveau ein Wachstumsoptimum erreichen, das aber von Art zu Art nicht sehr unterschiedlich ist. Dieses Optimum kann gleichermaßen als Wachstumsgrenze betrachtet werden, da unter- und oberhalb dieser Grenzen das Wachstum relativ stark reduziert ist. Aber gerade in den Bereichen des minimalen Wachstums sind die Unterschiede zwischen den Arten recht gross (Tab. 14, S. 34). *Lemna minuscula* weist z.B. in tiefen Konzentrationen noch recht hohe Wachstumsraten auf im Vergleich zu *L. minor* und *L. gibba*. Das minimale Wachstum von *Spirodela polyrrhiza* ist schon im mittleren Bereich der Konzentrationen zu beobachten, wobei die Wachstumsraten ähnlich denjenigen von *L. gibba* in etwas tieferen Konzentrationen sind. In noch tieferen Konzentrationen wächst *S. polyrrhiza* wegen der Turionenbildung fast nicht mehr (Nullwachstum). JUNGNICKEL (1978) hat beim Phosphor ebenfalls untere Grenzen für *L. minor*, *L. gibba* und *S. polyrrhiza* bestimmt: *Lemna minor* 115 µg P, *L. gibba* 184 µg P, *S. polyrrhiza* 338 µg P.

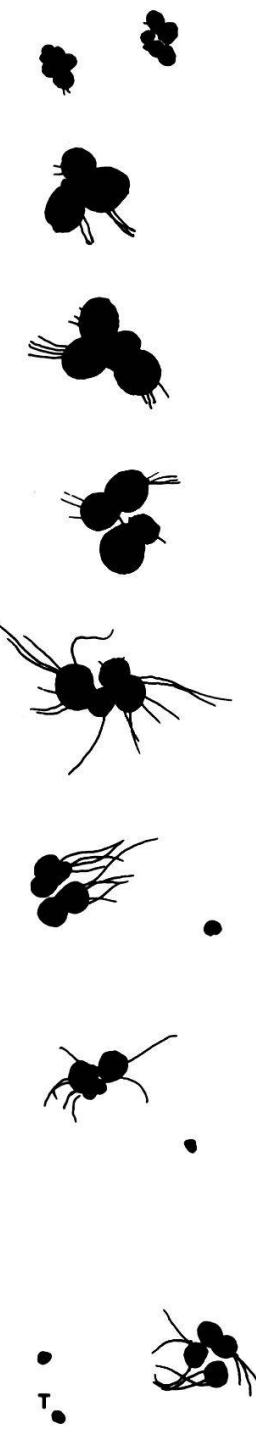
Alle vier Arten neigen unter optimalen Stickstoff- und Phosphorbedingungen dazu, grösstmögliche Assimilationsflächen (Glieder) zu bilden, wobei auch hier kleinere Unterschiede bezüglich Stickstoff- und Phosphorernährung und zwischen den Arten zu beobachten sind. *L. gibba* z.B. hat sowohl bei hohen Stickstoff- als auch Phosphorkonzentrationen die grössten Glieder, ebenso *L. minor*, die aber nur geringe Größenunterschiede bei den verschiedenen Nährstoffkonzentrationen aufweist. *L. minuscula* und *S. polyrrhiza* bilden bei höheren Stickstoffkonzentrationen viel grössere Glieder als in tiefen Stickstoffkonzentrationen, im Gegensatz zu den Phosphorkonzentrationen, wo die Unterschiede nicht so gross sind. *L. minuscula* hat zudem in den niederen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen ovale, in die Länge gezogene Glieder (Abb. 10), in höheren Konzentrationen sind die Glieder fast kreisrund.

N: 1-8
P: 2-9

Lemna minor



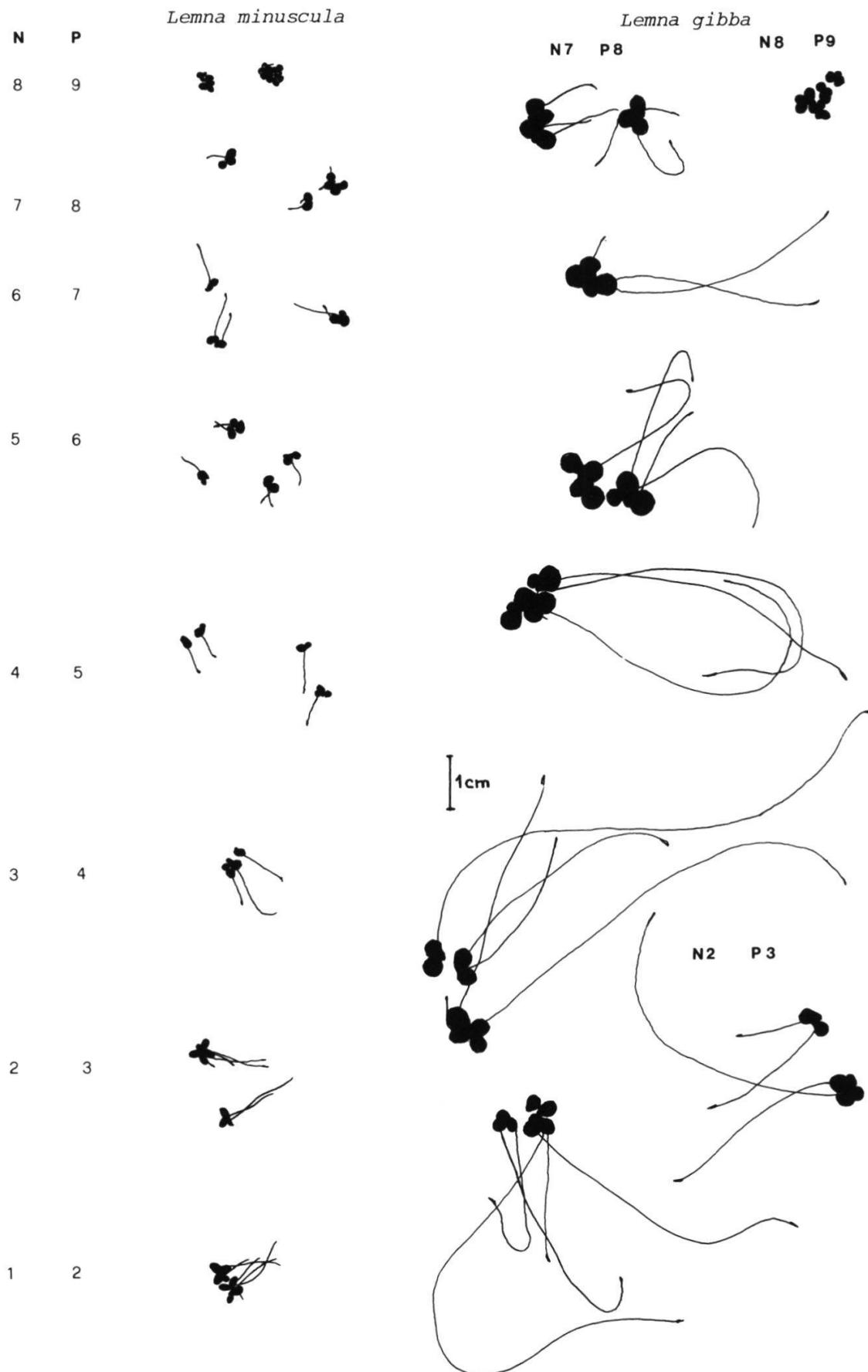
Spirodela polyrrhiza



1 cm

Abb. 10. Darstellung der Gliedgrösse und der Wurzellänge der untersuchten Stämme in Abhängigkeit der unterschiedlichen Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Konzentrationen ($N = 1-8$, $P = 2-9$).

Graphs of frond sizes and root lengths of the species studied, depending on concentrations of N and P



FEKETE und RIEMER (1973), WHITE (1937a) und PIRSON und GÖLLNER (1953) sagen allgemein über *L. minor*, dass bei zunehmendem Phosphor- und Stickstoffangebot der Glieddurchmesser zunimmt und dass bei Stickstoff- und Phosphorentzug eine Wachstumshemmung der Glieder eintritt. JUNGNICKEL (1978), der teilweise mit gleichen Arten (*S. polyrrhiza*, *L. minor* und *L. gibba*) wie wir gearbeitet hat, machte leider keine diesbezüglichen Messungen. Er hat vor allem die Pflanzen auf die Ausbildung von Anthocyamen und Turionen bei unterschiedlichem Phosphorangebot untersucht. Seine Resultate stimmen weitgehend mit den vorliegenden überein. Nur *S. polyrrhiza* und *Lemna gibba* bilden Anthocyane während schlechter Stickstoff- und Phosphorernährung. Das stimmt mit den Aussagen von LANDOLT (1975) überein. Beim hier untersuchten *L. minor*-Stamm traten ebenfalls keine Anthocyane in Erscheinung. In unseren Untersuchungen konnte zusätzlich beobachtet werden, dass in den tiefen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen die Pflanzen durchwegs heller grün waren als unter normalen Bedingungen, wobei bei Stickstoffmangel die hellgrüne blasse Farbe der Pflanzen auf ungenügende Ausbildung von Chloroplasten zurückzuführen ist (MENGEL 1979). Dies haben auch Untersuchungen von ERICSON et al. (1982) bestätigt. In den extrem hohen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen waren die Pflanzen dunkelgrün, wesentlich kleiner und teilweise eng zusammengeknäult. Von den untersuchten Arten bildete einzig *Spirodela polyrrhiza* unter schlechten Bedingungen Turionen. Dies konnte aber nur bei tiefen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen beobachtet werden und bestätigt die Untersuchungen von EYSTER (1981). Bei den hohen Stickstoff- bzw. Phosphorgaben, kombiniert mit tiefen Phosphor- resp. Stickstoffkonzentrationen, ist die Turionenbildung auf die jeweils entsprechende Mangelkonzentration zurückzuführen, da bei gleichzeitig hohen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen nie Turionen beobachtet werden konnten, im Gegensatz zu den Aussagen von HENSSSEN (1954), der bei Konzentrationen von $N = 3.0 \cdot 10^{-3}$ Mol/l und $P = 1.0 \cdot 10^{-3}$ Mol/l im Winterhalbjahr, nicht aber im Sommer, Turionen beobachtete. Ebenfalls konnte bei normal ernährten Pflanzen im Herbst/Winter keine Turionenbildung verzeichnet werden, wie das HENSSSEN (1954) beobachtete und auf einen endogenen Rhythmus zurückführte. Ein Ueberschuss an Kohlehydraten (JACOBS 1947) und tiefe Temperaturen (LANDOLT 1957) führen ebenfalls zu Turionenbildung bei *S. polyrrhiza*. Untersuchungen von LANDOLT (1975) haben gezeigt, dass *L. gibba* und die

meisten Stämmen von *L. minor* unter schlechten Bedingungen (besonders unter tiefen Temperaturen) und ausreichend hoher Lichtintensität kleinere, mit Stärke angereicherte Glieder bilden, die aber nur selten auf den Boden sinken. In unseren Untersuchungen konnten solche Glieder nie beobachtet werden. Auf die Ausbildung von bauchigen Gliedern bei *L. gibba* in den verschiedenen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen wurde nicht geachtet. Anhand der Tab. 16, S. 42, kann vermutet werden, dass bei den Versuchsreihen a-a und b-b in den höheren Konzentrationen relativ bauchige Glieder gebildet werden, was die Aussagen von DE LANGE und SEGAL (1968) und DANN (1982), der mit dem gleichen Stamm gearbeitet hat, bestätigt. ELZENGA et al. (1980) haben die Wirkung von Aethylen auf die Ausbildung von bauchigen Gliedern untersucht und festgestellt, dass Konzentrationen von 20 nl/l und 24 nl/l Luft genügen, um bauchige Glieder zu bilden; ähnliche Konzentrationen werden auch in der Natur dort angetroffen, wo bauchige Glieder vorkommen. Der Vorteil für *L. gibba*, bauchige Glieder zu bilden, besteht darin, dass sie sich dadurch etwas über die übrigen Arten hebt und so weiterhin in den vollen Genuss der Sonneneinstrahlung kommt (HARPER 1977). In den Versuchsreihen c-c und d-d bildeten die Pflanzen durchwegs flache Glieder. Bei den Versuchen der Reihe c-c ist der Grund dazu nicht klar, bei den Versuchen der Reihe d-d scheinen sich die Wirkungen der gegenläufigen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen gegenseitig aufzuheben.

WHITE (1937b) hat die Wurzellänge bei verschiedenen Stickstoffkonzentrationen gemessen und festgestellt, dass in höheren Konzentrationen die Wurzeln wesentlich kürzer waren. Die gleiche Feststellung haben FEKETE und RIEMER (1973) bei unterschiedlichen Phosphorzugaben gemacht. PIRSON und GöLLNER (1953) sind in ihren Untersuchungen weitergegangen. Sie haben nicht nur beobachtet, dass zunehmende Phosphor- und Stickstoffgaben eine Wachstumshemmung der Wurzeln bewirken, sondern dass Stickstoff- und Phosphormangel eine Förderung des Streckungswachstums bei fortschreitender Verminderung der meristematischen Tätigkeit hervorrufen.

Die hier untersuchte *L. minor* ist die einzige Art, die gemäss obigen Aussagen in den tiefsten Konzentrationen die längsten Wurzeln ausbildet. Die drei andern Arten haben vor allem in nahe der Wachstumsgrenzen liegenden Konzentrationen lange Wurzeln. In normalen, in sehr tiefen und in

extrem hohen Konzentrationen haben sie relativ kurze Wurzeln. Die Aussage von PIRSON und GÖLLNER (1953), dass bei den Wurzeln mit weiter zunehmendem Stickstoff- und Phosphordefizit die Wachstumsförderung durch eine Wachstumshemmung abgelöst wird, konnte somit bestätigt werden.

Abschliessend seien noch einige Arbeiten erwähnt, die speziell auf das physiologische Geschehen bei Phosphor- und Stickstoffmangel eingehen, und anhand derer die auftretenden Symptome etwas besser verstanden werden können.

Vor allem BIELESKI (1972, 1974) sowie BIELESKI und JOHNSON (1970) haben verschiedene Arbeiten über *S. punctata** bezüglich Phosphormangel publiziert. Phosphormangelpflanzen zeigen eine erhöhte Phosphataseaktivität ($\times 25$), die in den Wurzeln höher ist als in den Gliedern. Ebenso führt Phosphatmangel zu schnellerem Umsatz von Phosphatestern und von gespeichertem Phosphor. Die Chloroplasten enthalten bei Phosphormangel längliche Stärkekörner. Ausserdem ruft jeglicher Mangel eine Veränderung in der Ultrastruktur der Chloroplasten hervor (THOMSON und WEIER 1962). ULLRICH-EBERIUS et al. (1981) haben die Beziehung zwischen der energieabhängigen Phosphataufnahme und dem elektrischen Membranpotential untersucht.

Stickstoffmangel bewirkt auch einen stärkeren Photosyntheserückgang als Phosphormangel (REID und BIELESKI 1970). BORNKAMM (1965) zeigt bei *L. minor*, dass in Phosphatkonzentrationen unter $1 \cdot 10^{-4}$ Mol die Trockensubstanzproduktion und der Anteil des Proteins und Oxalats am Trockengewicht erniedrigt sind und der Kohlehydratgehalt erhöht ist, wobei aber die Proteinsynthese bei Phosphatmangel stärker betroffen ist als die Kohlehydratsynthese. Nitratmangel führt bei *Wolffia*, ähnlich wie bei anderen Lemnaceen, zu einer erheblichen Verminderung der Enzymaktivität (HUBALD und AUGSTEN 1979). Bei Stickstoffmangel werden das Wachstum und die Atmung reduziert, nimmt die Konzentration freier Aminosäuren ab, wird die Glykolyse bei *Lemna minor* ebenfalls verhindert (HUMPHREY et al. 1977) und die Phytinsäure in *L. gibba* akkumuliert (SCHEINER et al. 1978). Cytokinine (10^{-7} bis 10^{-5} M) hemmen bei *L. minor* das Wachstum der Wurzeln, gleichzeitig nehmen die Glieder an Grösse und Zahl zu (BEZEMER-SYBRANDY 1969). Ähnliches beobachteten auch KERN und NAEF-ROTH (1975) an *Spirodela punctata**

* Nomenklatur nach LANDOLT (1980)

LÖPPERT et al. (unveröff. aus KANDELER, im Druck) konnten zeigen, dass bei Weglassen von NO_3^- im Medium der Cytokininspiegel rasch sinkt. Deshalb wachsen die Wurzeln in Medien mit tiefen bis gar keinen Stickstoffgehalten, da sie nicht mehr durch Cytokinin gehemmt werden.

Die Pflanzen beginnen bei Stickstoffmangel Assimilate zu bilden, die während der Lichtperiode sehr schnell in alle Pflanzenteile transportiert werden (KANDELER und HELDWEIN 1979).

Im grossen und ganzen stimmen die erhaltenen Resultate sehr gut mit früheren Arbeiten überein. Viele Arbeiten, die nicht erwähnt wurden, beschäftigen sich mit anorganischem und organischem Stickstoff. Beim ersten wurden vor allem Ammonium und Nitrat auf die Wirkung des Stoffkreislaufs und des Wachstums untersucht (s. auch HILLMAN 1961, LANDOLT 1980 Bibliographie, LÜÖND 1980). Einige der neuesten Arbeiten seien zusätzlich noch erwähnt: ANDRES und SMITH 1976, FELLER und ERISMANN 1973, 1976, HILLMAN und LAMM 1981, HOLST und YOPP 1979, LEHMANN et al. 1981, LASSO-CINSKI 1982.

3.2. Feldversuche

Die an den ausgesuchten Fundstellen (Kap. 2.3.) gesammelten Wasserproben wurden auf die wichtigsten Nährstoffe o-P, $\text{NH}_4^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, K, Na, Ca, Mg und die Leitfähigkeit untersucht. Die Leitfähigkeit ist positiv korreliert mit dem Ionengehalt, in erster Linie mit dem Calcium und Magnesium, gefolgt von Natrium und Kalium. Beim Sammeln der Wasserproben wurde jeweils der Deckungsgrad der einzelnen Arten notiert. Bei den grossen Entferungen der Gebiete und wegen der hohen Anzahl zu untersuchender Gewässer reichte die Zeit nicht aus, um an den einzelnen Probestellen Vegetationsaufnahmen zu machen, da die Wasserproben möglichst schnell untersucht werden mussten.

Anhand der Daten wird im folgenden versucht, einige eng umgrenzte ökologische Aspekte zu diskutieren.

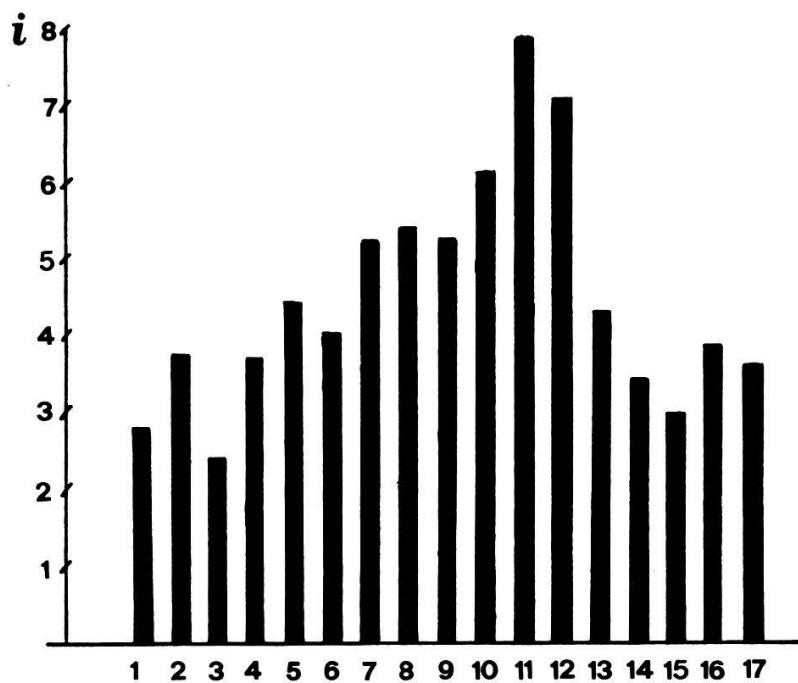


Abb. 11. Martonn'scher Ariditätsfaktor der Untersuchungsgebiete

$$i = \frac{\text{Jahresniederschläge in cm}}{\text{mittlere Jahrestemperatur in } ^\circ\text{C}+10}$$

Aridity factor of Martonne of the investigation areas

$$i = \frac{\text{annual precipitation in cm}}{\text{average temperature in } ^\circ\text{C}+10}$$

Bedeutung der Zahlen auf der Abszisse - *Meaning of the numbers of the apsis:* 1 = Speyer, 2 = Karlsruhe, 3 = Colmar, 4 = Mulhouse, 5 = Belfort, 6 = Basel, 7 = Délémont, 8 = Porrentruy, 9 = Diessendorf, 10 = Böttstein, 11 = Lugano, 12 = Gavirate, 13 = Milano, 14 = Casale Monferrato, 15 = Alessandria, 16 = Cremona, 17 = Pavia

Bereich des Vorkommens der verschiedenen Lemnaceen, begrenzt durch den Martonn'schen Ariditätsfaktor (nach LANDOLT 1982).

Occurrence of the different Lemnaceae species, limited by the aridity factor of Martonne (after LANDOLT 1982).

<i>Lemna minor</i>	3-8	<i>Lemna trisulca</i>	1-6
<i>Lemna minuscula</i>	1-5	<i>Lemna aequinoctialis</i>	1-8
<i>Lemna gibba</i>	1-4	<i>Spirodela polyrrhiza</i>	2-8

3.2.1. Vorkommende Arten

In den nördlichen Untersuchungsgebieten I und III (Abb. 3, S. 24) wurden die folgenden Arten gefunden: *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., *Lemna minor* L., *Lemna minuscula* Herter, *Lemna gibba* L. und *Lemna trisulca* L.

Im Tessin und in der Poebene waren die folgenden Arten vertreten: *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., *Lemna minor* L., *Lemna gibba* L. und *Lemna aequinoctialis* Welwitsch. Genauere Angaben, wie Verbreitung, Systematik und Morphologie sind in LANDOLT 1957, 1980 und 1982 zu finden.

L. minor war die häufigst vertretene Art, gefolgt von *S. polyrrhiza*, *L. minuscula* (Schweizerisches Mittelland und im Norden), *L. trisulca*, *L. aequinoctialis* (im Süden) und *L. gibba*, wobei letztere nur in den nördlichst und südlichst untersuchten Gewässern immer anzutreffen war. In den Gewässern 11 (Schweiz), 20 und 47 (Frankreich) trat *L. gibba* nur sporadisch auf.

In Abb. 11 wurde der Martonn'sche Ariditätsfaktor (LANDOLT 1982) für die einzelnen untersuchten Gebiete aufgezeichnet. Die dafür benötigten Daten: mittlere Jahresniederschläge in cm und mittlere Jahrestemperatur in °C plus 10, wurden aus den entsprechenden Klimadiagrammen (Kap. 2.3.) entnommen. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass *L. gibba* in den untersuchten Gewässern der Schweiz eigentlich nicht vorkommen kann, dass das sporadische Auftreten dieser Art auf zufälliges Einschleppen z.B. durch Vögel zurückzuführen ist. Sie kann sich je nach günstiger Witterung dort mehr oder weniger lang halten. Im Gegensatz dazu könnte von den Niederschlagsmengen her gesehen *L. aequinoctialis* in allen Gewässern vorkommen.

3.2.2. Die wichtigsten Nährlemente in den untersuchten Gewässern und ihre Bedeutung

3.2.2.1. Charakterisierung der Standorte mit Hilfe der Korrespondenzanalyse

Mit der Korrespondanzanalyse (BERCHTOLD 1979) wird versucht, die Zahl der

Standortsfaktoren auf ein überblickbares Mass zu reduzieren und damit zu einer indirekten Ordination zu kommen. Das Prinzip der Berechnung ist folgendes: Fasst man die sieben untersuchten Faktoren als je eine Dimension eines siebendimensionalen Raumes auf, so erscheint darin jede Fundstelle als ein Punkt, dessen Lage durch die Konfiguration der gemessenen Werte bestimmt wird. Mit der Korrespondenzanalyse sucht man anstelle der ursprünglichen, die gemessenen Faktoren repräsentierenden Achsen, neue Achsen derart, dass die Summe der Abstände der Punkte von diesen Achsen minimal wird, das bedeutet, dass Punkte längs diesen Achsen möglichst weit voneinander entfernt sind. Hat die "Punktwolke" eine ausgeprägte Struktur, so lässt sich diese mit ein oder zwei der neu gefundenen Achsen erfassen. Werden zwei Achsen verwendet, so spannen diese im siebendifmensionalen Raum eine Ebene auf, auf welche die Punkte projiziert und somit bildlich dargestellt werden können. Anstatt durch die sieben gemessenen Faktoren wird nun also jeder Punkt nur noch durch zwei "künstliche Faktoren", Projektionen genannt, charakterisiert (Abb. 12-17). Anstelle der gemessenen sieben Standortsfaktoren (Nährelemente) treten zwei neue Faktoren ("Projektionen"). Jede Fundstelle erscheint als ein Punkt in dem durch die zwei Projektionen ausgespannten Koordinatensystem (s.Abb. 12-17). Der Abstand der Fundstellen ist ein Mass dafür, wie sich die Fundstellen bezüglich der Faktorenkonfiguration unterscheiden. Die sieben Standortsfaktoren sind: 1 = $\text{NH}_4\text{-N}$, 2 = $\text{NO}_3\text{-N}$, 3 = o-P, 4 = K, 5 = Na, 6 = Ca, 7 = Mg.

Da in der Korrespondenzanalyse die Rollen der Faktoren und der Fundorte austauschbar sind, können auch für die Faktoren zwei Projektionen berechnet und in die Abbildung der Standorte eingetragen werden; Nachbarschaften zwischen Faktoren- und Standortspunkten geben dabei Hinweise auf mögliche engere Beziehungen zwischen den betreffenden Faktoren und Fundorten.

Zur Berechnung der Korrespondenzanalyse wurde auf zwei Arten vorgegangen. Vorerst wurden die Werte über eine Vegetationsperiode gemittelt, weitergerechnet und im Koordinatensystem (1. und 2. Projektion) aufgetragen. Des weiteren wurden nur die Juliwerte aller untersuchten Stellen gerechnet, um auch die Daten der Gewässer von der Poebene zu berücksichtigen. Anhand dieser beiden Auswertungsraten konnte zugleich untersucht werden, wie weit sich die Mittelwerte über eine ganze Vegetationsperiode von den Juliwerten (Einzelwerte) unterscheiden.

In der Abb. 12 sind die Gewässer vom Jahr 1980 mit und ohne Lemnaceen aufgezeichnet. Es ist relativ gut ersichtlich, dass diejenigen ohne Lemnaceen vorwiegend links aussen liegen, peripher zu den lemnaceenhaltigen Gewässern. Diese Beobachtung konnte während aller drei Untersuchungsjahre gemacht werden. Ebenso lagen auch relativ artenarme Gewässer mehr in den äusseren Bereichen.

Die Verteilung der einzelnen Lemnaceen-Arten innerhalb der Konfiguration ist in den Abb. 13 bis 17 zu sehen. Als Grundlage dazu dienten immer die gleichen Darstellungen vorwiegend aus dem Jahr 1980 und teils 1981, wobei sowohl die Daten der Mittelwerte als auch der Juliwerte teilweise berücksichtigt wurden. Die Werte des Jahres 1979 wurden in diesen Darstellungen weggelassen, da in diesem Jahr die Gewässer des Untersuchungsgebietes III nicht dabei waren.

Vergleicht man die Mittelwerte mit den Juliwerten, so sieht man, dass sich die Verteilung der Gewässer nicht wesentlich verändert, ausser dass durch die Gewässer der Poebene die Anzahl der Fundstellen um 18 erhöht wurde. Auch die einzelnen Faktoren zeigen mit Ausnahme des Ammoniumstickstoffes (1) keine wesentlichen Verschiebungen. Die Faktoren Phosphor (3), Kalium (4) und Natrium (5) rücken etwas näher zu den entsprechenden Achsen. Auch zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren treten geringe Unterschiede auf. Es sind dies wiederum die Faktoren Ammoniumstickstoff und Phosphor, die leicht verschoben sind.

L. minor. - Sie ist die am häufigsten vertretene Art und deshalb auch mehr oder weniger über das ganze Spektrum verteilt. Die meisten Fundorte gruppieren sich um das Calcium, Magnesium und den Nitratstickstoff, wobei wenige Gewässer auch um die übrigen Faktoren verteilt sind. Das gleiche kann auch im darauffolgenden Jahr beobachtet werden. Die Verteilung der Gewässer mit *L. minor* ist bei den Julidaten ähnlich.

Bei *Spirodela polyrrhiza* werden nur die Juliwerte 1980 mit denjenigen der Vegetationsperiode im gleichen Jahr verglichen (Abb. 14). Auch hier ist die Verteilung der Gewässer mit *S. polyrrhiza* recht ähnlich. Die Gewässer sind mehr oder weniger über das ganze Spektrum verteilt, wobei keine ausgesprochene Gruppierung um einzelne Faktoren zu beobachten ist.

L. gibba. - Die Juliwerte werden den Mittelwerten des gleichen Jahres

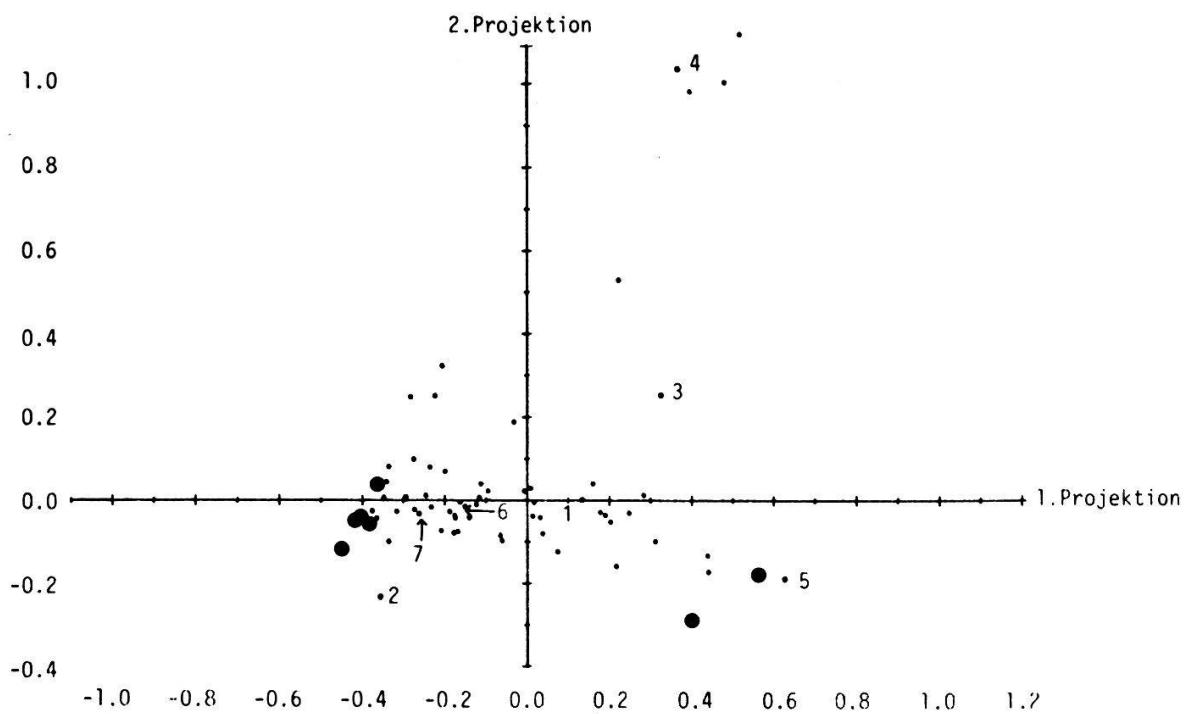
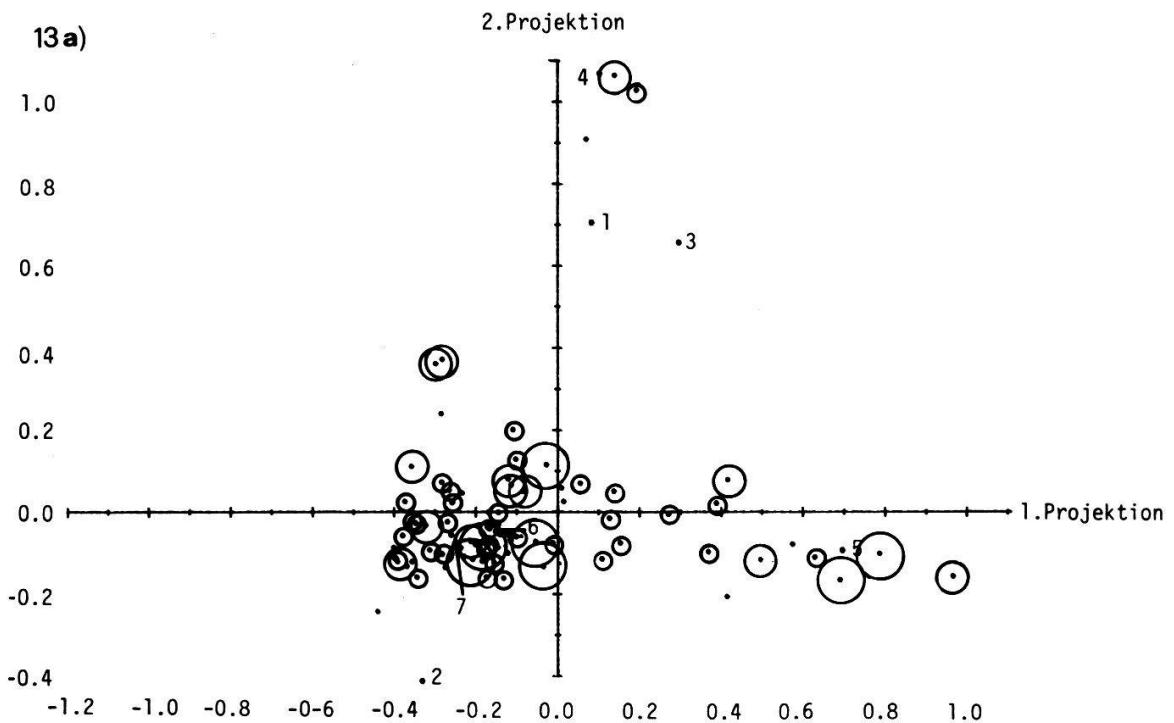


Abb. 12. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980, Gewässer ohne Lemnaceen (●).

Faktoren 1-7: 1 = $\text{NH}_4\text{-N}$, 2 = $\text{NO}_4\text{-N}$, 3 = o-P, 4 = K, 5 = Na,
6 = Ca, 7 = Mg

*Correspondence analysis of the annual average values (1980),
waters without Lemnaceae (●)*



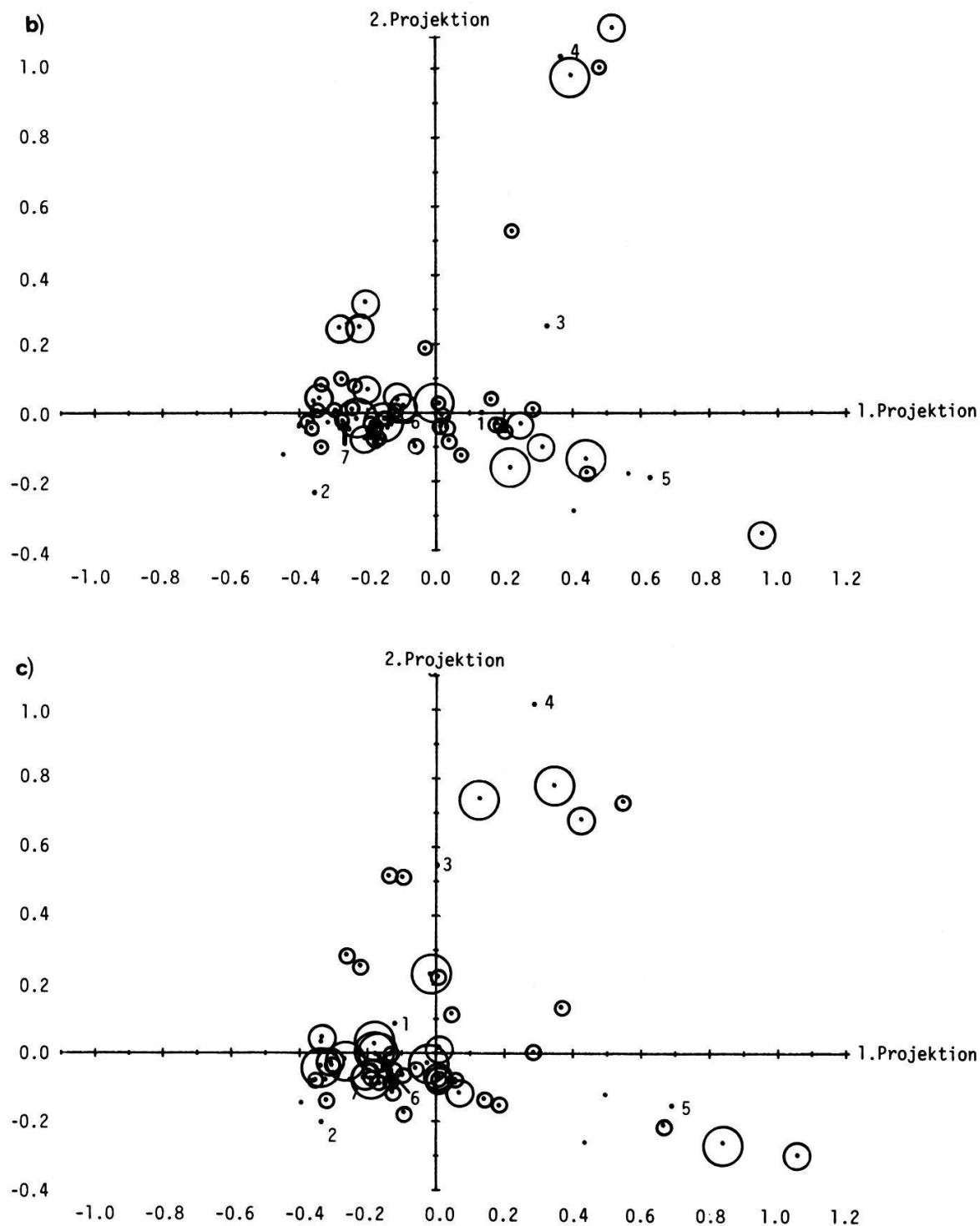


Abb. 13. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1980 (a), der Jahresmittelwerte 1980 (b) und der Jahresmittelwerte 1981 (c)

Correspondence analysis of the values of July 1980 (a), of the annual average values 1980 (b) and 1981 (c)

Vorkommen von *L. minor* wenig ○ few
Occurrence of L. minor mittel ○ medium
 viel ○○○ abundant

Bedeutung der Zahlen s. Abb. 12, *significance of the numbers see Fig. 12.*

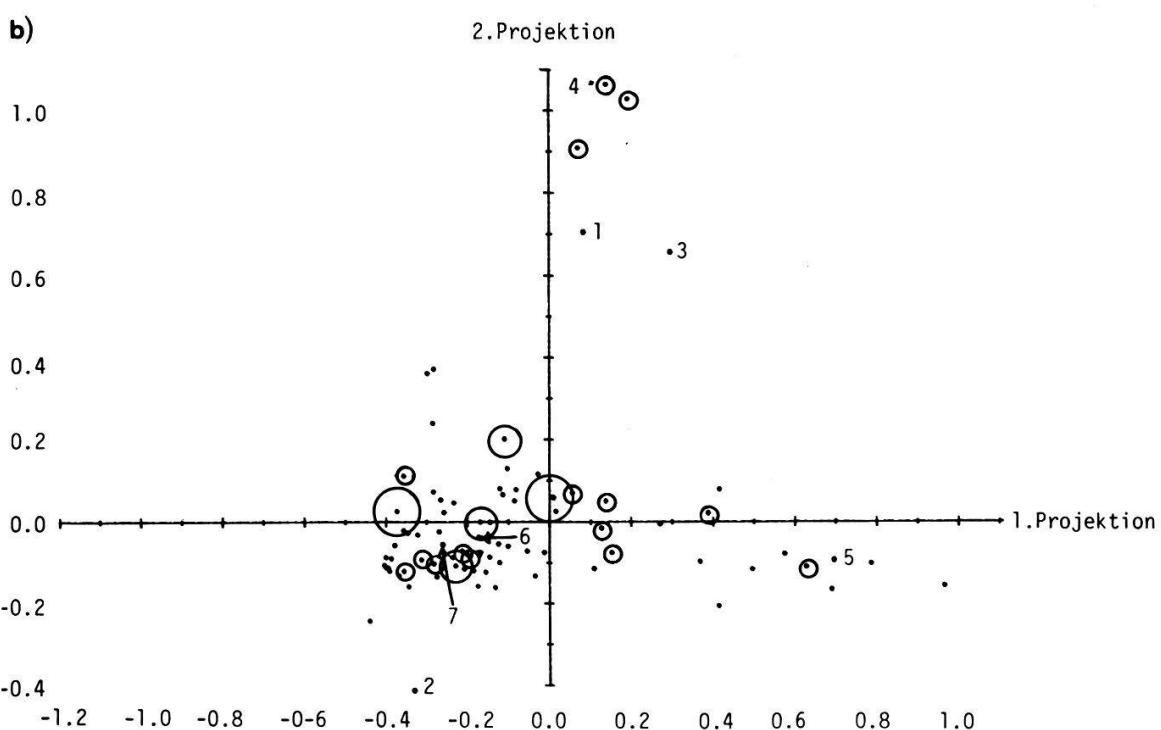
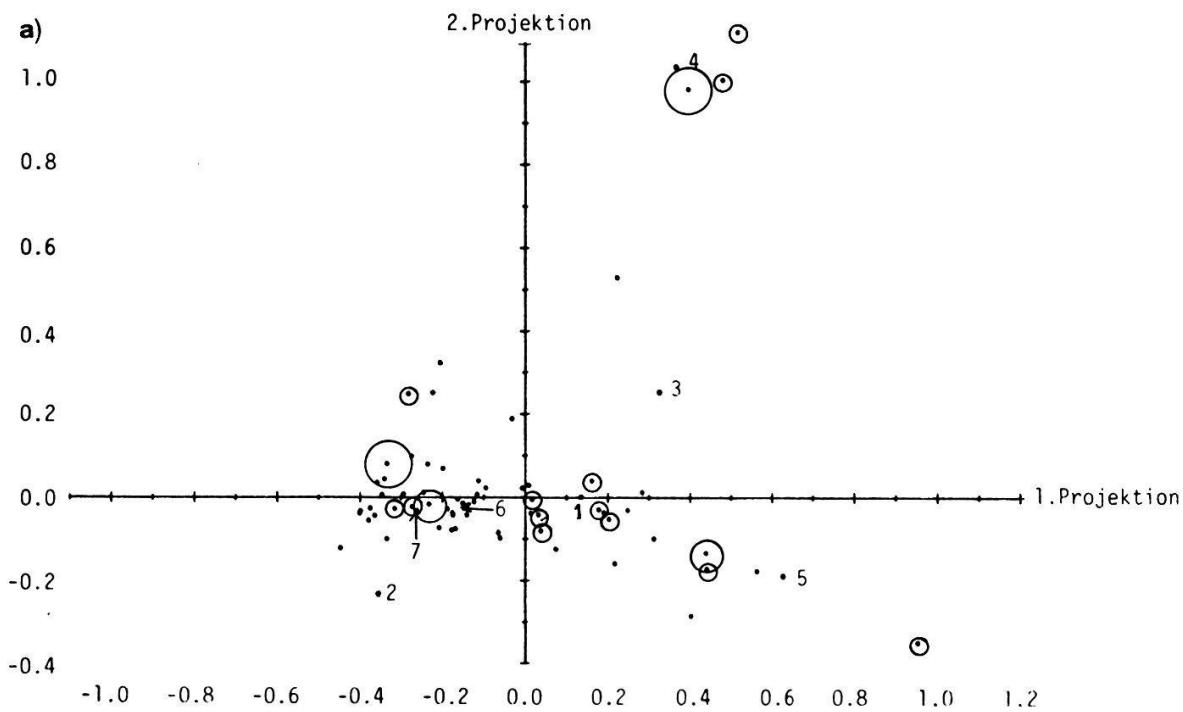


Abb. 14. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *S. polyrrhiza*.

Correspondence analysis of the annual average values 1980 (a) and of the July values 1980 (b). Occurrence of *S. polyrrhiza*.

(Bedeutung der Kreise und Zahlen s. Abb. 12, 13; significance of circles and numbers see Figs 11, 13)

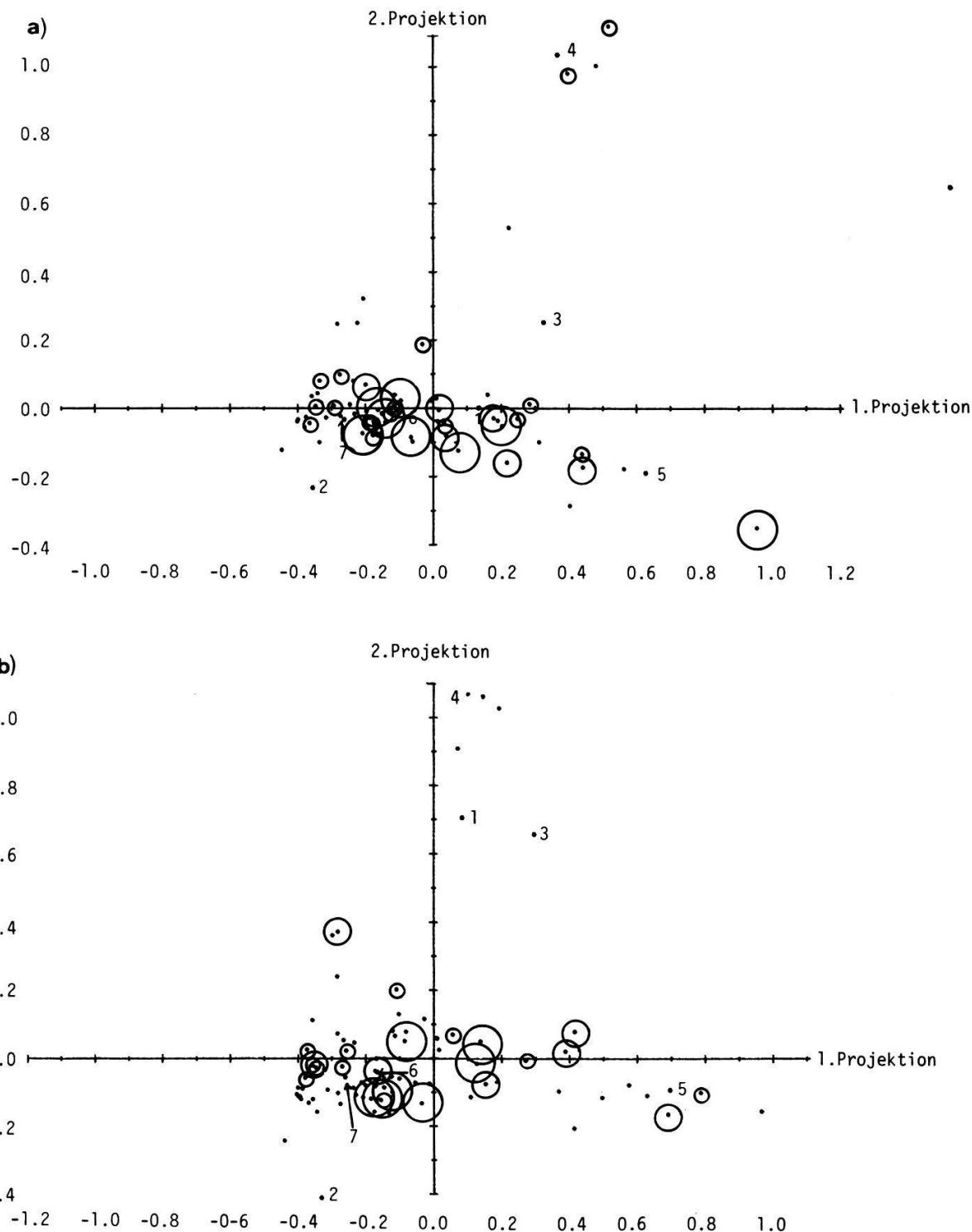


Abb. 15. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. minuscula*.

*Correspondence analysis of the annual average values 1980 (a) and the July values 1980 (b). Occurrence of *L. minuscula*.*

(Bedeutung der Kreise und Zahlen s. Abb. 12, 13; significance of circles and numbers see Figs 12, 13)

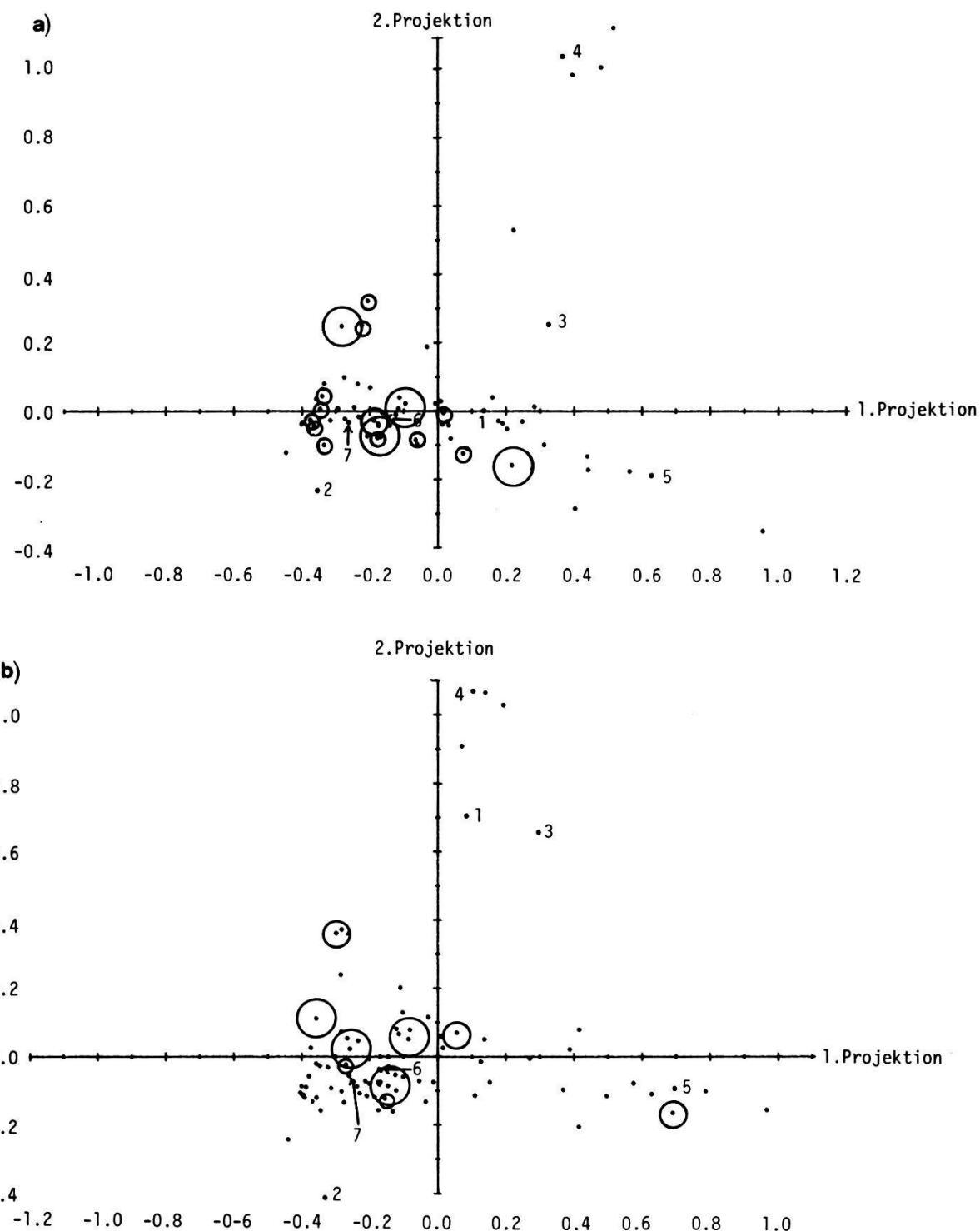


Abb. 16. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. trisulca*.

*Correspondence analysis of the annual average values 1980 (a) and the July values 1980 (b). Occurrence of *L. trisulca*.*

(Bedeutung der Kreise und Zahlen s. Abb. 12, 13; significance of circles and numbers see Figs 12, 13)

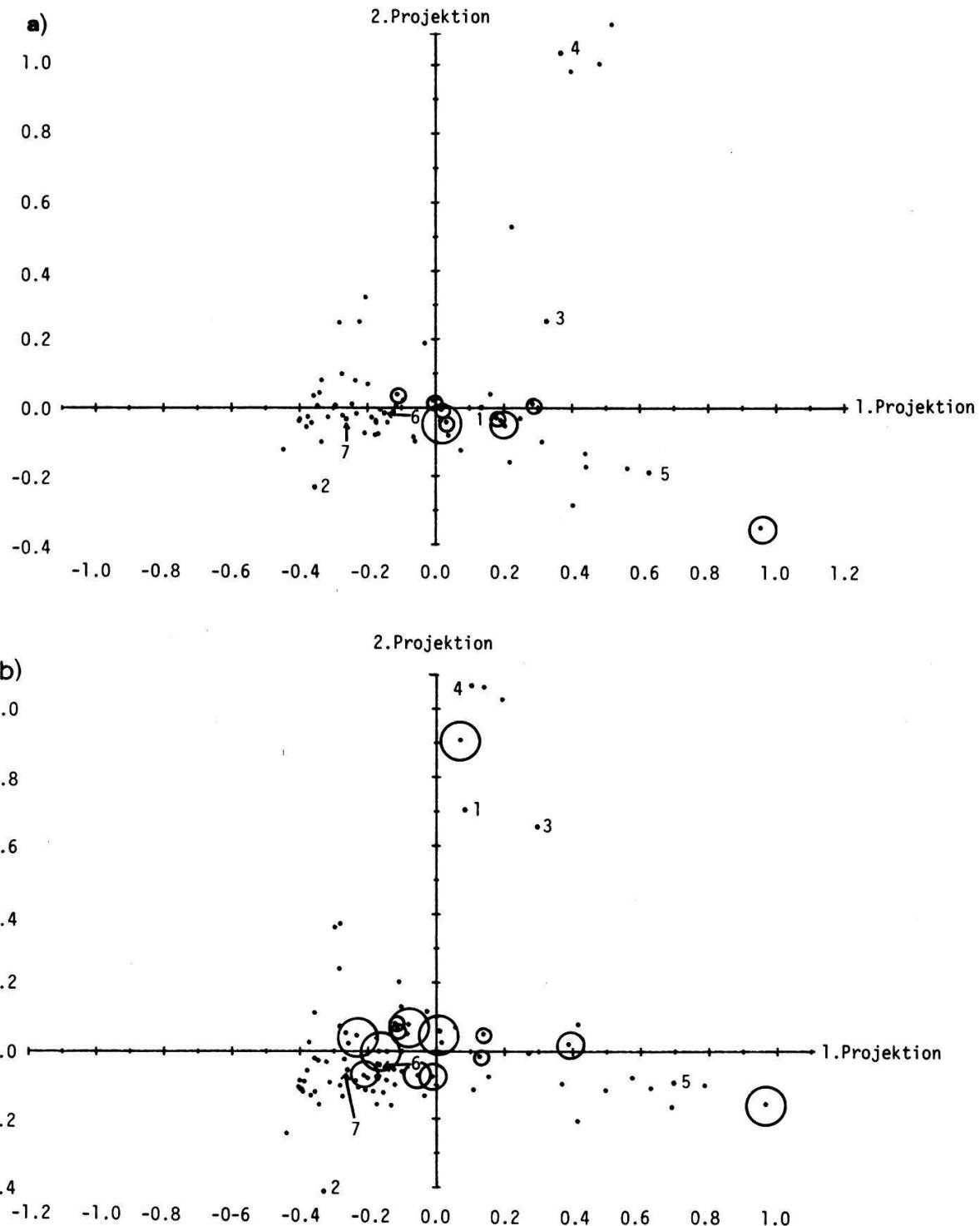


Abb. 17. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. gibba*.

*Correspondence analysis of the annual average values 1980 (a) and the July values 1980 (b). Occurrence of *L. gibba*.*

(Bedeutung der Kreise und Zahlen s. Abb. 12, 13; significance of circles and numbers see Figs 12, 13)

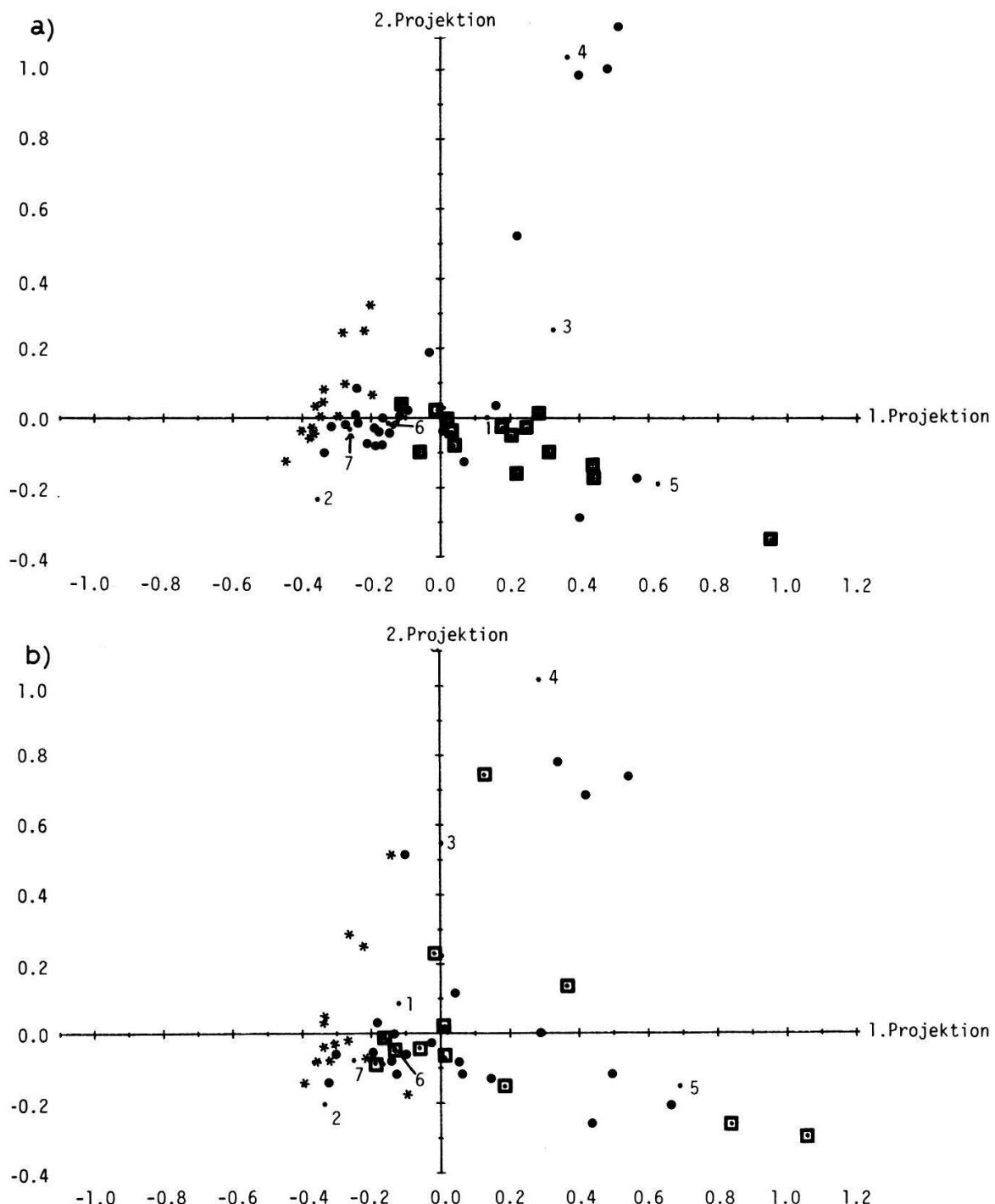


Abb. 18. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und 1981 (b). Aufteilung nach Gebieten.

Correspondence analysis of the annual average values 1980 (a) and 1981 (b). Distribution of the areas.

* Ia (CH), ● Ib (CH, F), ■ III (D, F).

(Bedeutung der Zahlen s. Abb. 12; significance of the numbers see Fig. 12)

(1980) gegenübergestellt (Abb. 16). Da diese Art nur in den nördlichst und südlichst untersuchten Gewässern immer anzutreffen war, sieht das Bild mit den Juliwerten, wo die Gewässer der Poebene dazukommen, etwas anders aus. Diese Fundorte sind vor allem um die erste Projektion, um das Calcium (6) und um das Magnesium (7), zum Teil auch um das Natrium (5) gruppiert. Bei den Jahresmittelwerten ist die Gruppierung nicht so extrem.

L. minuscula und *L. trisulca*. – Keine der beiden Arten konnte in der Poebene gefunden werden. Anhand dieser Darstellungen kann man deshalb sehr gut die Unterschiede zwischen den Juliwerten und den Jahresmittelwerten betrachten. Bei *L. minuscula* (Abb. 15) ist die Verteilung bei beiden Darstellungen ähnlich. Unterschiede sind vor allem bei der mittleren Häufigkeit zu beobachten. Ebenfalls sieht man auch, dass die Art übers Jahr in

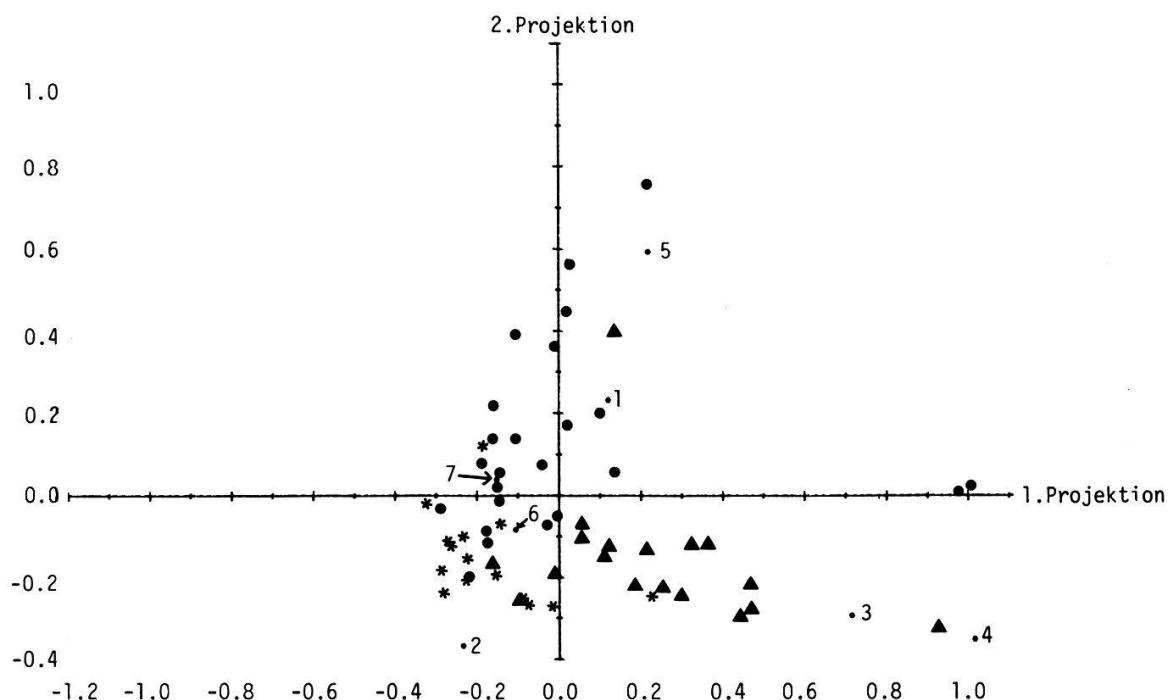


Abb. 19. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1979. Aufteilung nach Gebieten.

Correspondence analysis of the July values 1979. Distribution of the areas.

* Ia(CH), ● Ib (CH, F), ▲ II (I).

(Bedeutung der Zahlen s. Abb. 12; significance of the numbers see Fig. 12)

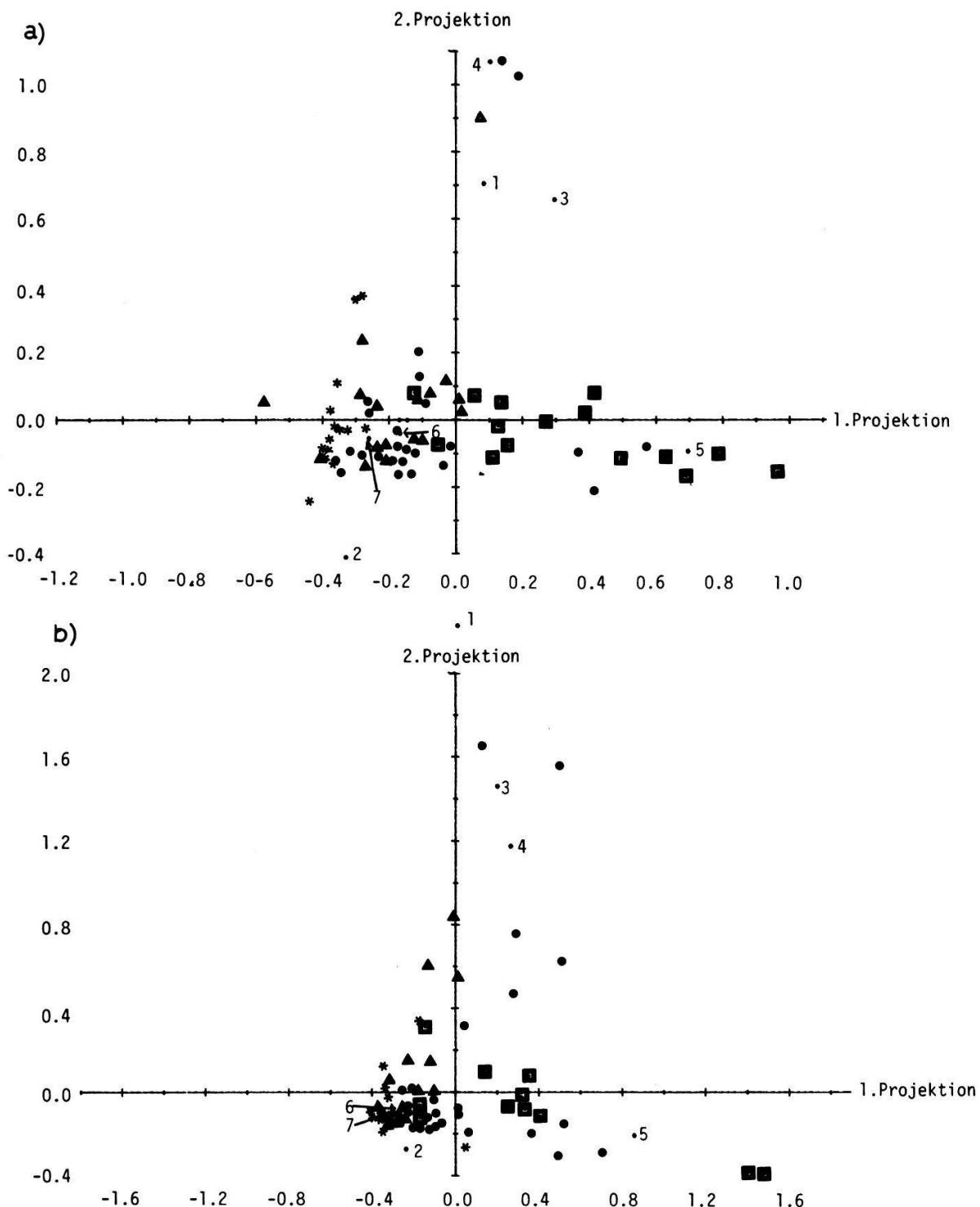


Abb. 20. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1980 (a) und 1981 (b).
Aufteilung nach Gebieten.

*Correspondence analysis of the July values 1980 (a) and 1981 (b).
Distribution of the areas.*

* Ia (CH), • Ib (CH, F), ▲ II (I), □ III (D, F).

(Bedeutung der Zahlen s. Abb. 12; significance of the numbers
see Fig. 12)

Gewässern zu finden ist, in denen sie im Juli fehlt (Abb. 15, bei Faktor 4). Eine ähnliche Verteilung ist auch bei *L. trisulca* (Abb. 16) zu beobachten. Beide Arten gruppieren sich hauptsächlich um die Faktoren Calcium und Magnesium, wobei *L. minuscula* eine recht ähnliche Verteilung wie *L. minor* aufweist.

L. aequinoctialis tritt, wie zu erwarten, nur dort in Erscheinung wo auch die Gewässer der Poebene verteilt sind.

In den Abbildungen 18-20, die identisch sind mit den vorangegangenen, sieht man, dass die Gewässer nach Gegenden getrennt aufgetragen sind.

Die Gewässer des schweizerischen Mittellandes (Ia) sind in allen Abbildungen links aussen verteilt, dort wo auch die meisten lemnaceenfreien Gewässer zu finden sind (Abb. 18). Betrachtet man die Artenvielfalt der Gewässer dieses Gebietes (Tab. 18), so sieht man, dass diese Gewässer im Vergleich zu den übrigen relativ artenarm sind und dass Gewässer im Mittelland meist eine mittlere Lemnaceenhäufigkeit aufwiesen. Die Gewässer vom Untersuchungsgebiet Ib (NWS Schweiz und Oberrheinische Tiefebene) liegen rechts vom erwähnten Gebiet (Ia), aber immer noch links der zweiten Projektion. Einige davon liegen auch rechts der zweiten Projektion, ober- und unterhalb der ersten Projektion. Die Fundorte des Untersuchungsgebietes III (nördlich Oberrheinische Tiefebene) sind vor allem in der Mitte und mehr rechts gruppiert, zum Teil vermischt mit denjenigen von Ib.

Etwas anders sieht die Verteilung im Juli der einzelnen Jahre aus, wo die Werte der Poebene hinzukommen. Im Juli 1979 (Abb. 19), wo die Fundorte des Untersuchungsgebietes III noch nicht dabei sind, ist die geographische Trennung eindeutig. In den Monaten Juli 1980 und 1981 (Abb. 20), wo die Werte aller Gewässer berücksichtigt werden, ist die Trennung nach Gebieten nicht mehr so klar. Zwar liegen die Gewässer des schweizerischen Mittellandes immer noch links aussen, ebenso sind diejenigen von der nördlichen Oberrheinischen Tiefebene (Untersuchungsgebiet III) und die artenarmen Gewässer vom Untersuchungsgebiet Ib mehrheitlich nach rechts verteilt. Aber die meisten übrigen Gewässer dieses Gebietes und aller der Poebene (II) liegen mehr oder weniger stark vermischt zwischen jenen des schweizerischen Mittellandes (Ia) und der nördlichen Oberrheinischen Tiefebene (III), wobei die Gewässer der Poebene näher bei den Achsen liegen als jene des

Untersuchungsgebietes Ib. Diese geographische Verteilung kann von verschiedenen Faktoren abhängen: Klima, Geologie (Einzugsgebiet), Trophiegrad der Gewässer.

3.2.2.2. Die Häufigkeit der einzelnen Arten in Abhängigkeit des Nährstoffangebots

Zur Beantwortung der Frage, ob und inwieweit die Nährstoffe einen direkten oder indirekten Einfluss auf das Vorkommen resp. Fehlen von Lemnaceen in einem Gewässer haben, wurden die Nährelemente in den gesammelten Proben entsprechend analysiert (s. Kap. 2.1.). Die daraus resultierenden Daten wurden in Tab. 19 nach Untersuchungsgebieten (Kolonne 1) und Jahren (Kolonne 2) geordnet. In der dritten Kolonne sind die Mittelwerte aller lemnaceenfreien Gewässer eingetragen. Die nachfolgenden Kolonnen zeigen die Mittelwerte mit dem höchsten Deckungsgrad der verschiedenen Arten, wobei *L. gibba* in der Schweiz (Untersuchungsgebiet Ia) im Jahr 1981, wo sie einziges Mal auftrat, und im Untersuchungsgebiet Ib im Jahr 1979 nur mit einem mittleren Deckungsgrad beobachtet werden konnte.

Die Pfeile in den Tabellen beziehen sich auf den Gehalt an Nährelementen bei Gewässern mit den einzelnen Arten im Vergleich zu lemnaceenfreien Gewässern. Zeigen die Pfeile nach oben, so heißt das, dass die Mittelwerte der lemnaceenhältigen Gewässer höher liegen als diejenigen in Gewässern ohne Lemnaceen, zeigen die Pfeile nach unten, so liegen die Werte tiefer, zeigen sie nach rechts, so ist kein Unterschied zwischen den lemnaceenfreien und lemnaceenhältigen Gewässern feststellbar.

Allgemeine, alle Arten betreffende Tendenzen sind beim Nitratstickstoff, Kalium, Phosphor und bei der Leitfähigkeit zu beobachten.

Beim Nitratstickstoff zeigen die meisten Pfeile nach unten, d.h. die entsprechenden Lemnaceen-Arten kommen mehrheitlich in Gewässern mit relativ tiefen Nitratstickstoffgehalten vor.

Bei allen Arten sind die Mittelwerte des Phosphors mit wenigen Ausnahmen, z.B. im Untersuchungsgebiet III 1981, höher als in lemnaceenfreien Gewässern. Das könnte bedeuten, dass die Lemnaceen in Gewässern mit geringem Phosphorgehalt schlecht bis gar nicht gedeihen.

Aehnliche Tendenzen können auch beim Kalium beobachtet werden. Hier könnte man den gleichen Schluss ziehen, wie oben, dass Lemnaceen Gewässer mit höherem Kaliumgehalt bevorzugen.

Bei der Leitfähigkeit, die positiv korreliert ist mit dem Gesamtionengehalt (GESSNER 1959), zeigen die meisten Pfeile nach unten.

Betrachtet man die Arten einzeln, so sieht man z.B., dass *Lemna minuscula* die Tendenz hat, in Gewässern mit niedrigen Ammoniumstickstoffgehalten zu leben. *L. gibba* und *L. aequinoctialis* scheinen eher Gewässer mit höherem NH₄-N-Gehalt zu bevorzugen. *L. minor* und *Spirodela polyrrhiza* sind sowohl in Gewässern mit höherem als auch tieferem Stickstoffgehalt zu finden.

Beim Natriumgehalt zeigen nur *L. trisulca* und *S. polyrrhiza* gewisse Tendenzen. Vor allem *L. trisulca* scheint Gewässer mit relativ hohem Na-Gehalt zu meiden. Bei *S. polyrrhiza* ist diese Tendenz nicht klar herauskristallisiert, vermag sie doch in Deutschland in Gewässern mit relativ hohen Natriumwerten zu überleben. Die übrigen Arten scheinen sowohl im Gewässer mit tiefem und hohem Natriumangebot leben zu können.

Beim Calcium zeigen ausser *L. minuscula* alle Arten vermehrt die Tendenz, in Gewässern mit niedrigen Ca-Gehalten vorzukommen. *L. minuscula* kann sowohl tiefere wie auch höhere Werte ertragen.

Vor allem *S. polyrrhiza* kommt, gefolgt von *L. gibba*, *L. minor* und *L. aequinoctialis* in Gewässern mit tiefen Magnesiumwerten vor. *L. minuscula* und *L. trisulca* leben sowohl in Gewässern mit höheren als auch tieferen Mg-Werten.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Lemnaceen mehr oder weniger Gewässer mit hohem Nitrat-Stickstoff-, Natrium-, Calcium- und Magnesiumgehalt ebenso meiden, wie sie solche mit hohem Phosphor- und Kaliumgehalt bevorzugen. Im übrigen verhalten sich nicht alle Arten genau gleich, Unterschiede kristallisieren sich bei den einzelnen Elementen nur geringfügig heraus.

Aufgrund der bisher gemachten Beobachtungen wurden einzelne Nährelemente gegeneinander aufgezeichnet und bezüglich der Artenverteilung in den Gewässern unterschieden.

Anhand der Tab. 19 (S. 74) konnte gezeigt werden, dass die Lemnaceen re-

a. Untersuchungsgebiete Ia und Ib - Investigation areas Ia and Ib

Gewässer Nr.	<i>Lemna minor</i> 1979/80/81	<i>Lemna minuscula</i> 1979/80/81	<i>Lemna gibba</i> 1979/80/81	<i>Lemna trisulca</i> 1979/80/81	<i>Spirodela polyrrhiza</i> 1979/80/81
1	2 2 1			1 1	
2	2 2 1			3 3	2 1 1
3	2 1 1			1 1 1	
4	1 2 2			1	
5	3 2 1			1 1 1	
6					
7					
8					
9					
10					
11	2 2 2	3 2 3		1	
12	1 1 1	1		1	1
13	1 1 1	1 1 2			1
14	3 1 2	2 1 1			3 3 4
15	3 1 3	4 2 3			
16	1 3	1 2		1	1
20	2 1 2		1 1		2 1 2
21					
48	1 1	3 2		1	
22					
23	1 1				
24	1 1 1			1	
25	2 1 1				
26	1 1 1				
27	4 4 4	1 1			4 3 2
28	1 2 2	1 1			1 1 3
49	1 1				1 1
29	1 1 1	1			3 2 1
30	1 1 1				
31	1 1 1				
32	1 1 1				1 1
33	4 4 4	1			3 2 3
34					1 1
35	1 2 1	1 3 3			1
36	1 1	1		1	
37	3 2 3	4 3 3		4 4 4	
38	3 3 4	4 4 3		1	
39	1 1 1	1 1 1		1	
40	3 3 3	3 3 4			
41	2 1 1	1 1 1			
42	1 1 1			4 3 1	
43	1 1 1	1		1 1	
44	3 1 1	1 1 1		3 2 1	
45	4 4	4 4			
46	1 1	1 1		1	
47	1 1		3 1		

Tab. 18. Geschätzte mittlere Häufigkeit der Lemnaceen-Arten während der drei Vegetationsperioden 1979-1981 in den Untersuchungsgebieten.

Estimated average frequency of Lemnaceae species during the three vegetation periods 1979-1981 in the investigated areas.

1 = wenig, few, 2 = mittel, medium, 3 = viel, much,
4 = sehr viel, very much

b. Untersuchungsgebiet II - Investigation area II

Gewässer Nr.	<i>Lemna minor</i> 1979/80/81	<i>Lemna gibba</i> 1979/80/81	<i>Spirodela polyrrhiza</i> 1979/80/81	<i>Lemna aequinoct.</i> 1979/80/81
60		1		
61	3 1 2			
62	3			1
63	1 4	4	1	3
64	1 1	3 3 1	1	4
65	4 1	3 4	3 2 3	2 2
66	1	4		2
67	2 2	3 4	1 1 1	2 4
68	4 2 1	4 2 2	3 1	
69	2 1	3	3	1
70			4 1	1
71	2 4	1	4 4	1 1
72	1	1		3 2
73	4 1	3 4	1	3
74	4 2	4	1	1
75	4	3 4	1 3	
76	1	2		
77	4 1 2	3	2	

c. Untersuchungsgebiet III - Investigation area III

Gewässer Nr.	<i>Lemna minor</i> 1980 1981	<i>Lemna minuscula</i> 1980 1981	<i>Lemna gibba</i> 1980 1981	<i>Lemna trisulca</i> 1980 1981	<i>Spirodela polyrrhiza</i> 1980 1981
80	2 3		3		
81	1	2	1	1	1
82	1 1	2	1		1
83	1 3	2 1			1 1
84	1 1	3 1	2		1 1
85	1 2	2 3			1 1
86	1 2	2 2	1 1		1 1
87	2 1	1	1 1		
88	3 3		1 4		
89	1 1	1	1 1		
90	2 1	1			
91	4 4	2 3	3	3 3	
92	1 4		1		
93	3 2	1 1	1	1	2 1
94	2 2	3 1	2 3		1 2

Tab. 19. Jährliche Mittelwerte der Hauptnährrelemente und der Leitfähigkeit lemnaceenhaltiger Gewässer gegenüber lemnaceenfreien Gewässern.

Comparisons between the annual averages of the principal nutrient elements and the conductivity in waters containing Lemnaceae and in waters without Lemnaceae.

↑ höhere ↓ niedrigere → gleiche Werte als in lemnaceenfreien Gewässern
 ↑ higher ↓ lower → equal values than in waters without Lemnaceae

$\text{NH}_4\text{-N}$								
Untersuchungsgebiet	Jahr	Ohne Lemnaceae	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minuscula</i>	<i>Lemna gibba</i>	<i>Lemna trisulca</i>	Spirod. polyrrhiza	<i>Lemna aequinoct.</i>
Ia 1-16	1979	0.065	↑0.010	↑0.014	-	↑0.006	↑0.018	-
	1980	0.048	↑0.021	↑0.019	-	↑0.0009	↑0.062	-
	1981	0.030	↑0.003	↑0.004	↑0.0001	↑0.0003	↑0.001	-
Ib 20-49	1979	0.070	↑0.046	↑0.059	↑0.168	↑0.121	↑0.016	-
	1980	0.009	↑0.016	↑0.012	↑0.223	↑0.020	↑0.034	-
	1981	0.047	↑0.016	↑0.008	↑0.006	↑0.023	↑0.006	-
II 60-77	1979	0.001	↑0.061	-	↑0.078	-	↑0.017	↑0.010
	1980	0.005	↑0.155	-	↑0.214	-	↑0.002	↑0.176
	1981	0.037	↑0.005	-	↑0.065	-	↑0.620	↑9.430
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-
	1980	-	0.395	0.030	0.109	3.292	0.299	-
	1981	0.308	↑0.003	↑0.008	↑0.022	↑0.088	↑0.0001	-
$\text{NO}_3\text{-N}$								
Ia 1-16	1979	1.450	↑0.022	↑0.031	-	↑0.009	↑0.006	-
	1980	1.720	↑0.035	↑0.109	-	↑0.002	↑0.007	-
	1981	1.480	↑0.134	↑0.139	↑0.117	↑0.063	↑0.069	-
Ib 20-49	1979	0.403	↑0.027	↑0.037	↑0.191	↑0.071	↑0.008	-
	1980	0.227	↑0.047	↑0.158	↑0.670	↑0.024	↑0.046	-
	1981	0.343	↑0.185	↑0.387	↑0.111	↑0.725	↑0.089	-
II 60-77	1979	0.0001	↑0.021	-	↑0.016	-	↑0.029	↑0.0009
	1980	0.225	↑0.060	-	↑0.081	-	↑0.200	↑0.084
	1981	0.509	↑0.270	-	↑0.113	-	↑0.375	↑0.086
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-
	1980	-	0.516	0.434	1.309	0.094	0.245	-
	1981	0.163	↑0.256	↑0.248	↑0.263	↑0.069	↑0.457	-

Tab. 19. (Forts. - continued)

o-P									
Untersu- chungs- gebiet	Jahr	Ohne <i>Lemna- ceae</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minus- cula</i>	<i>Lemna gibba</i>	<i>Lemna trisul- ca</i>	<i>Spirod. poly- rrhiza</i>	<i>Lemna aequi- noct.</i>	
Ia 1-16	1979	0.014	↑0.019	↑0.033	-	↓0.009	↑0.010	-	
	1980	0.007	↑0.075	↑0.043	-	↑0.009	↑0.009	-	
	1981	0.004	↑0.257	↑0.017	↑0.001	→0.004	→0.004	-	
Ib 20-49	1979	0.005	↑0.042	↑0.065	↑0.060	↑0.023	↑0.026	-	
	1980	0.006	↑0.033	↑0.013	↑0.708	↓0.005	↑0.180	-	
	1981	0.006	↑0.023	↑0.009	↑0.014	↓0.0006	↑0.092	-	
II 60-77	1979	0.0005	↑0.038	-	↑0.050	-	↑0.022	↑0.043	
	1980	0.027	↑0.222	-	↑0.271	-	↑0.573	↑0.097	
	1981	0.090	→0.091	-	↑0.403	-	↑0.185	↑4.550	
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	
	1980	-	0.166	0.606	0.323	0.193	0.128	-	
	1981	0.705	↓0.038	↓0.235	↓0.166	↓0.173	↓0.051	-	
K									
Ia 1-16	1979	2.257	↑4.865	↑3.560	-	↑4.590	↑5.200	-	
	1980	2.029	↑4.160	↑3.070	-	↑4.050	↑3.800	-	
	1981	2.181	↑2.130	↓2.110	↓1.550	↑4.100	↑3.380	-	
Ib 20-49	1979	2.917	↑6.940	↑6.600	↑7.100	↑4.430	↑8.600	-	
	1980	3.058	↑7.870	↑3.920	↑6.000	↑3.810	↑18.500	-	
	1981	3.360	↑6.620	↑3.590	↑3.400	↑4.000	↑10.910	-	
II 60-77	1979	3.650	↑7.440	-	↑8.790	-	↑7.320	↑6.530	
	1980	2.800	↑4.100	-	↑4.850	-	↑2.730	↑3.300	
	1981	2.530	↑3.350	-	↑10.980	-	↑9.250	↑22.000	
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	
	1980	-	9.130	5.500	5.500	3.700	5.600	-	
	1981	3.400	↑8.360	↑11.600	↑4.650	↓2.300	↑5.200	-	
Na									
Ia 1-16	1979	5.440	↓5.360	↓5.430	-	↓3.640	↓3.270	-	
	1980	4.950	↓4.730	↑6.010	-	↓2.100	↓4.000	-	
	1981	5.130	↑5.250	↑5.550	↑6.850	↓1.850	↓3.840	-	
Ib 20-49	1979	53.750	↓14.450	↓16.190	↓28.000	↓15.160	↓13.230	-	
	1980	54.880	↓23.300	↓18.100	↓26.250	↓15.710	↓12.690	-	
	1981	29.530	↓14.710	↓14.280	↓16.500	↓18.250	↓17.700	-	
II 60-77	1979	2.850	↑7.700	-	↑7.150	-	↑6.580	↓2.730	
	1980	7.175	↑10.400	-	↑9.020	-	↑9.830	↓6.400	
	1981	5.650	↓4.650	-	↑5.850	-	↑5.700	↑8.000	
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	
	1980	-	59.900	38.740	58.450	11.800	74.000	-	
	1981	24.000	↑27.450	↓17.000	↑44.030	↓12.000	↑130.000	-	

Tab. 19. (Forts. - continued)

Ca									
Untersu- chungs- gebiet	Jahr	Ohne <i>Lemna- ceae</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minus- cula</i>	<i>Lemna gibba</i>	<i>Lemna trisul- ca</i>	<i>Spirod. poly- rrhiza</i>	<i>Lemna aequi- noct.</i>	
Ia 1-16	1979	59.300	+56.130	↑68.850		-	+46.560	+52.860	-
	1980	82.010	+63.670	↑73.460		-	+41.170	+78.000	-
	1981	69.730	+66.650	↑67.640	+60.000	↑28.330	↑79.400		-
Ib 20-49	1979	82.170	+63.270	↑77.780	↑71.000	↑77.070	↑41.060		-
	1980	78.740	↑83.050	↑86.600	↑96.900	↑85.710	↑41.220		-
	1981	75.050	+65.310	↑83.680	+54.000	↑89.880	↑46.620		-
II 60-77	1979	39.500	↑41.900		-	↑44.500		↑44.600	↑16.000
	1980	53.500	+37.000		-	↑38.170		↑36.330	↑46.000
	1981	42.500	+37.500		-	↑34.500		↑39.000	↑32.000
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	-
	1980	-	83.130	95.840	78.450	123.000	59.000		-
	1981	+80.000	+36.500	↓37.500	+47.500	↓73.000	↓34.000		-
Mg									
Ia 1-16	1979	17.370	+9.220	↓7.180		-	+7.340	+5.770	-
	1980	15.330	+7.300	↓7.460		-	+4.380	+6.000	-
	1981	14.550	+6.370	↓6.490	+6.900	↓3.430	+5.740		-
Ib 20-49	1979	10.400	↑10.480	↑14.330	↓9.100	↑15.140	↓4.160		-
	1980	10.250	↑10.370	↑13.830	↑11.600	↑14.290	↓3.280		-
	1981	10.570	↓7.700	↑11.000	↓6.400	↑14.000	↓4.170		-
II 60-77	1979	5.550	↑7.970		-	↑7.350		↑7.900	↓3.470
	1980	10.450	↓7.900		-	↓8.330		↓8.030	↓8.700
	1981	6.450	↓5.200		-	↓6.100		↓6.450	↓6.700
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	-
	1980	-	8.640	10.210	9.100	8.800	8.400		-
	1981	11.400	↓4.150	↓5.300	↓4.450	↓5.100	↓3.800		-
Leitfähigkeit $\times 10 \mu \text{S/cm}$									
Ia 1-16	1979	430.13	↓319.60	↓396.40		-	↓252.70	↓317.60	-
	1980	491.90	↓373.40	↓437.10		-	↓229.40	↓460.50	-
	1981	439.80	↓360.50	↓370.10	↓348.50	↓169.60	↓363.60		-
Ib 20-49	1979	690.23	↓436.00	↓550.40	↓461.00	↓565.70	↓279.30		-
	1980	656.30	↓465.70	↓479.20	↓566.90	↓480.50	↓263.10		-
	1981	558.10	↓405.60	↓497.80	↓359.60	↓574.10	↓326.70		-
II 60-77	1979	217.50	↑266.50		-	↑250.60		↑256.00	↓113.30
	1980	221.80	↑235.70		-	↑192.50		↑167.20	↓138.40
	1981	259.40	↓222.00		-	↓241.80		↓259.40	↓294.40
III 80-94	1979	-	-	-	-	-	-	-	-
	1980		535.40	612.40	543.20	665.00	434.80		-
	1981	715.60	↓535.60	↓628.30	↓489.60	↓391.70	↓259.40		-

lativ hohe Phosphor- und Kaliumgaben benötigen. In Abb. 21 wurde o-P gegen K aufgetragen. Die Gewässer wurden in lemnaceenfreie, lemnaceenhältige und *L. gibba*-haltige eingeteilt. Man sieht, dass lemnaceenfreie Gewässer sowohl geringe Phosphor- als auch geringe Kaliumwerte aufweisen. Jene Gewässer, die sich in der Figur in der Nähe von lemnaceenfreien Gewässern befinden, sind relativ artenarm. Alle übrigen Gewässer haben nicht unbedingt höhere Kaliumwerte, aber mit Sicherheit höhere Phosphorwerte. *L. gibba* kommt nur in Gewässern mit höheren Phosphorwerten und mit sowohl höheren als auch tieferen Kaliumwerten vor, wobei sie in der Poebene im Jahr 1979 auch in Gewässern mit etwas tieferen Phosphorwerten vorkam. Da die Werte der Gewässer in der Poebene nur auf einmaligem Sammeln basieren, müssen sie mit Vorsicht betrachtet werden.

Die untere Grenze des mittleren Kaliumwertes für *L. gibba*-Vorkommen liegt bei ca. 2 mg/l, die des mittleren Phosphorwertes bei ungefähr 0.01 mg/l oder höher.

In Abb. 22 wurde das Calcium gegen das Magnesium aufgezeichnet. Auch hier liegen die lemnaceenfreien und artenarmen Gewässer grösstenteils ausserhalb aller übrigen. Sie liegen im Bereich hoher Magnesium- und Calciumwerte. Gewässer mit *L. gibba* sind bezüglich Magnesium im mittleren Bereich zu finden, beim Calcium sind die Gewässer fast über die ganze Spannweite verstreut, wobei sie mehrheitlich auch im mittleren Bereich liegen.

Des weiteren wurde auch die Verteilung der übrigen Lemnaceen-Arten in Abhängigkeit der einzelnen Nährstoffe untersucht.

L. minor ist in fast allen lemnaceenhältigen Gewässern anzutreffen, ihre Verteilung ist deshalb auch über das ganze Spektrum zu beobachten (Abb. 23).

L. trisulca (Abb. 24) befindet sich bei Phosphor gegen Kalium meistens in Gewässern mit niedrigen bis mittleren Phosphor- und Kaliumkonzentrationen. Beim Calcium gegen das Magnesium (Abb. 25) ist sie vorwiegend im mittleren bis höheren Bereich anzutreffen, wobei sie in relativ tiefen Magnesiumkonzentrationen kaum mehr lebensfähig zu sein scheint.

Bei *Spirodela polyrrhiza* (Abb. 24) ist bezüglich Phosphor und Kalium nichts Spezielles zu beobachten. Sie zeigt keine Tendenzen zu hohen resp. tiefen Phosphor- und Kaliumkonzentrationen. Sie meidet Gewässer mit hohen

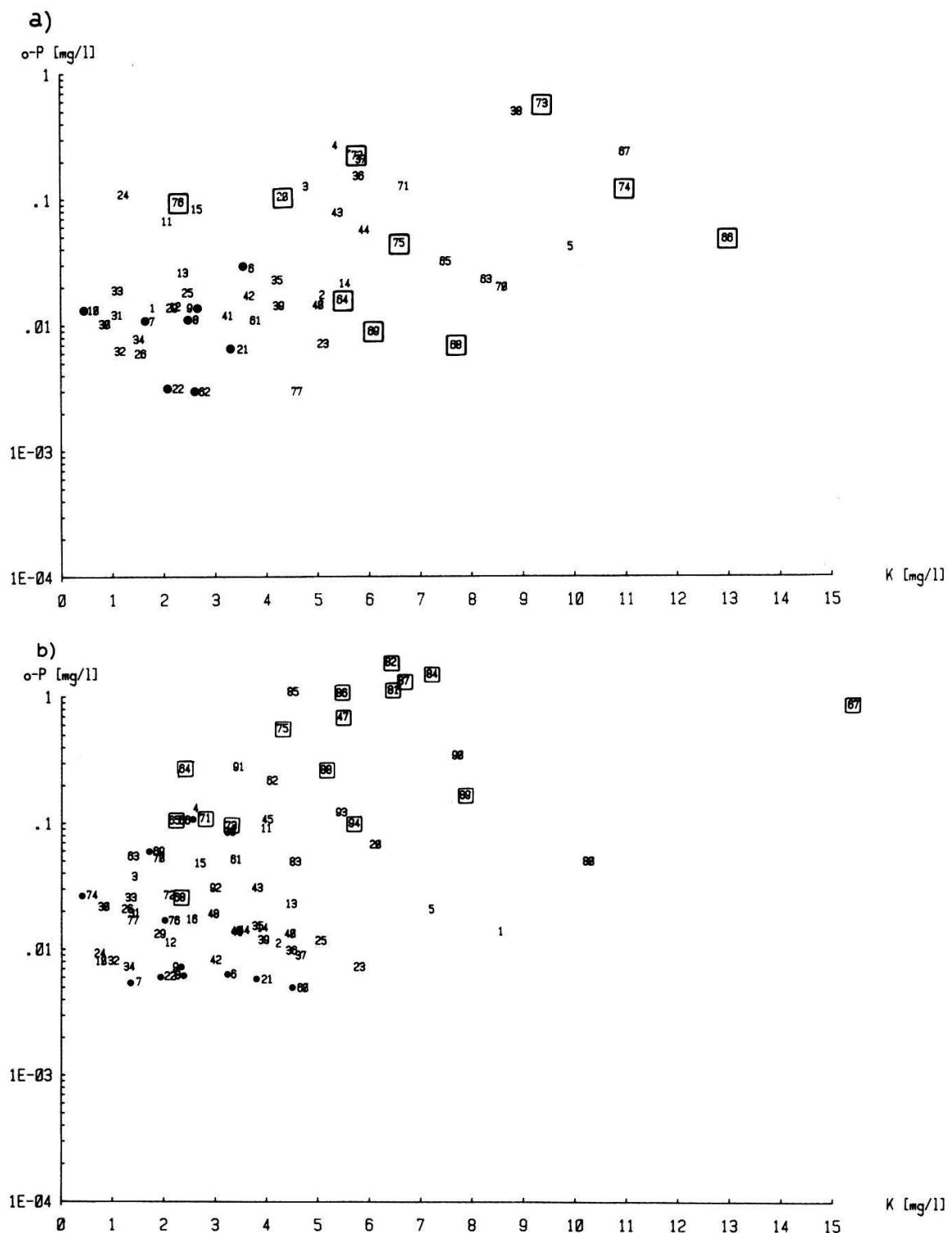
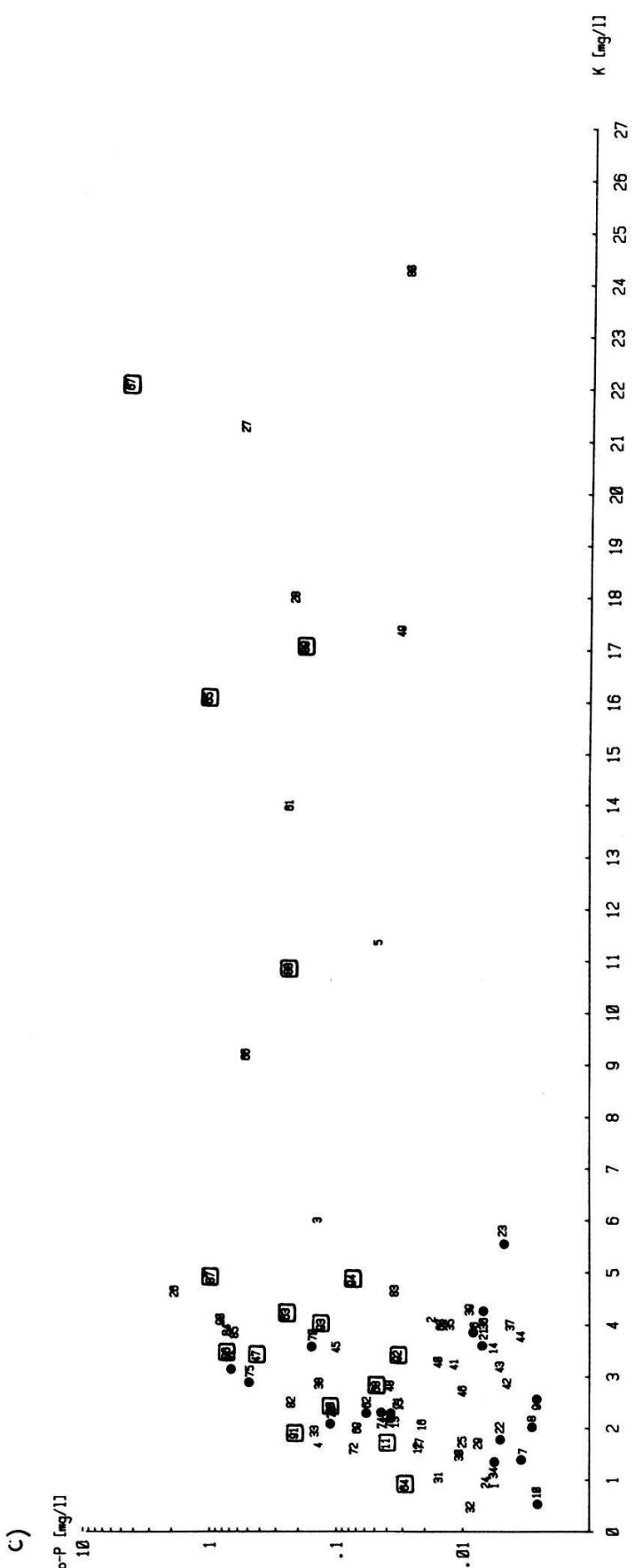


Abb. 21. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern, während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of L. gibba, depending on concentrations of P and K in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).

- lemnaceenfrei, without Lemnaceae



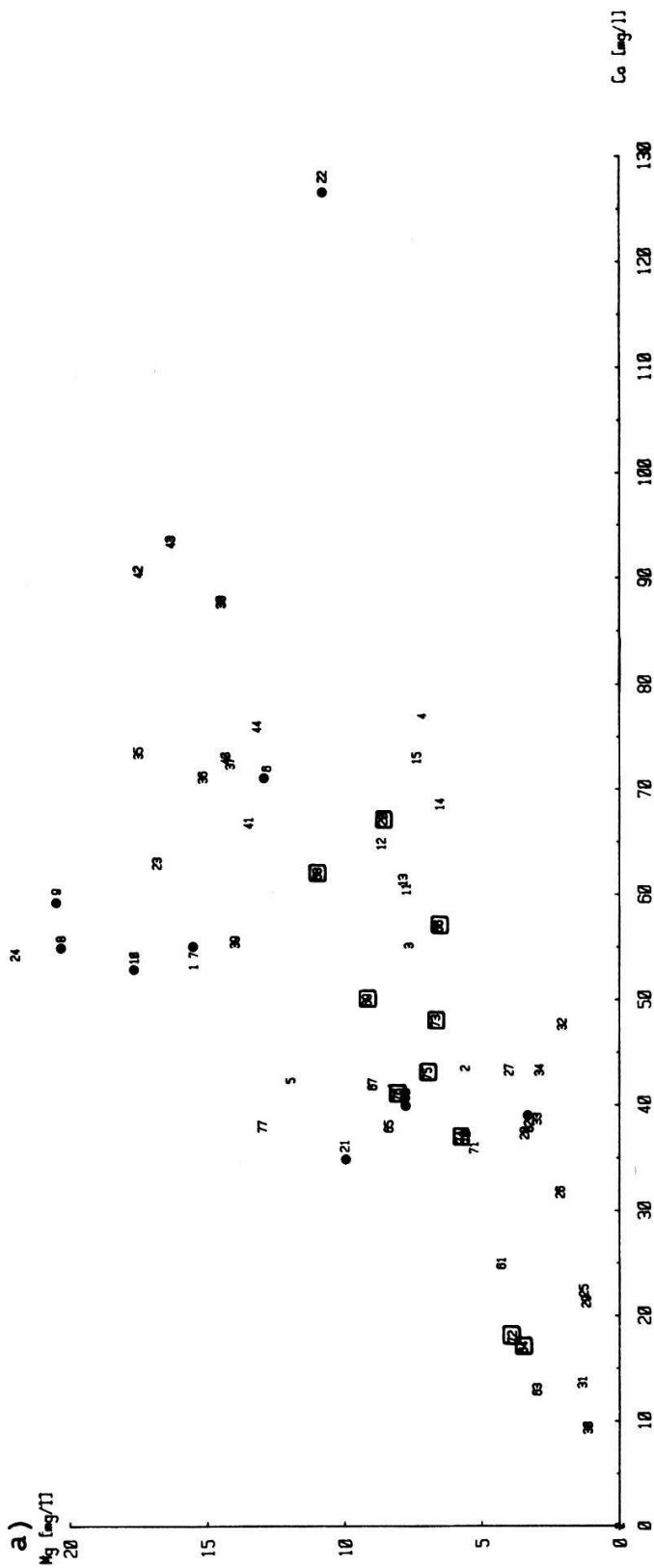
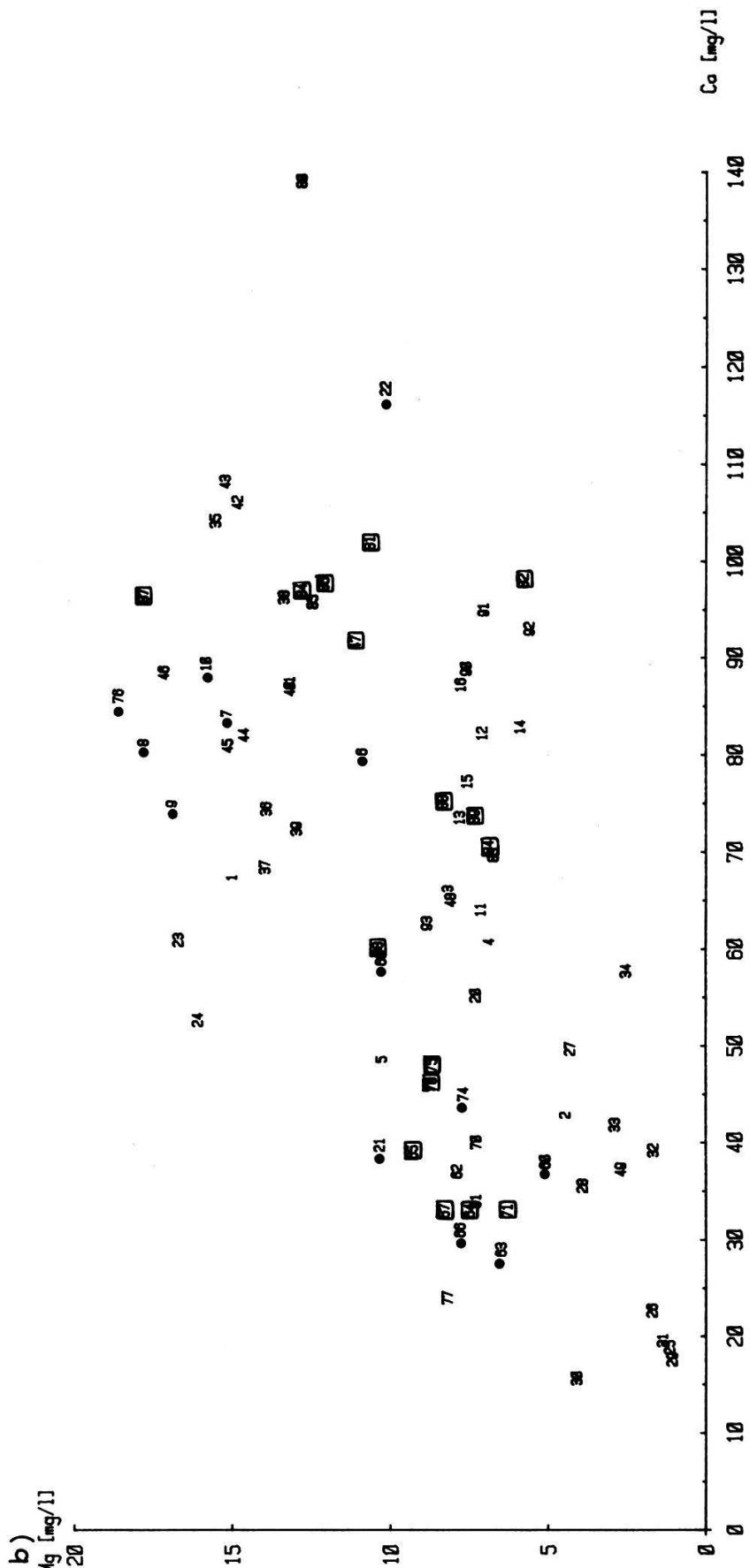
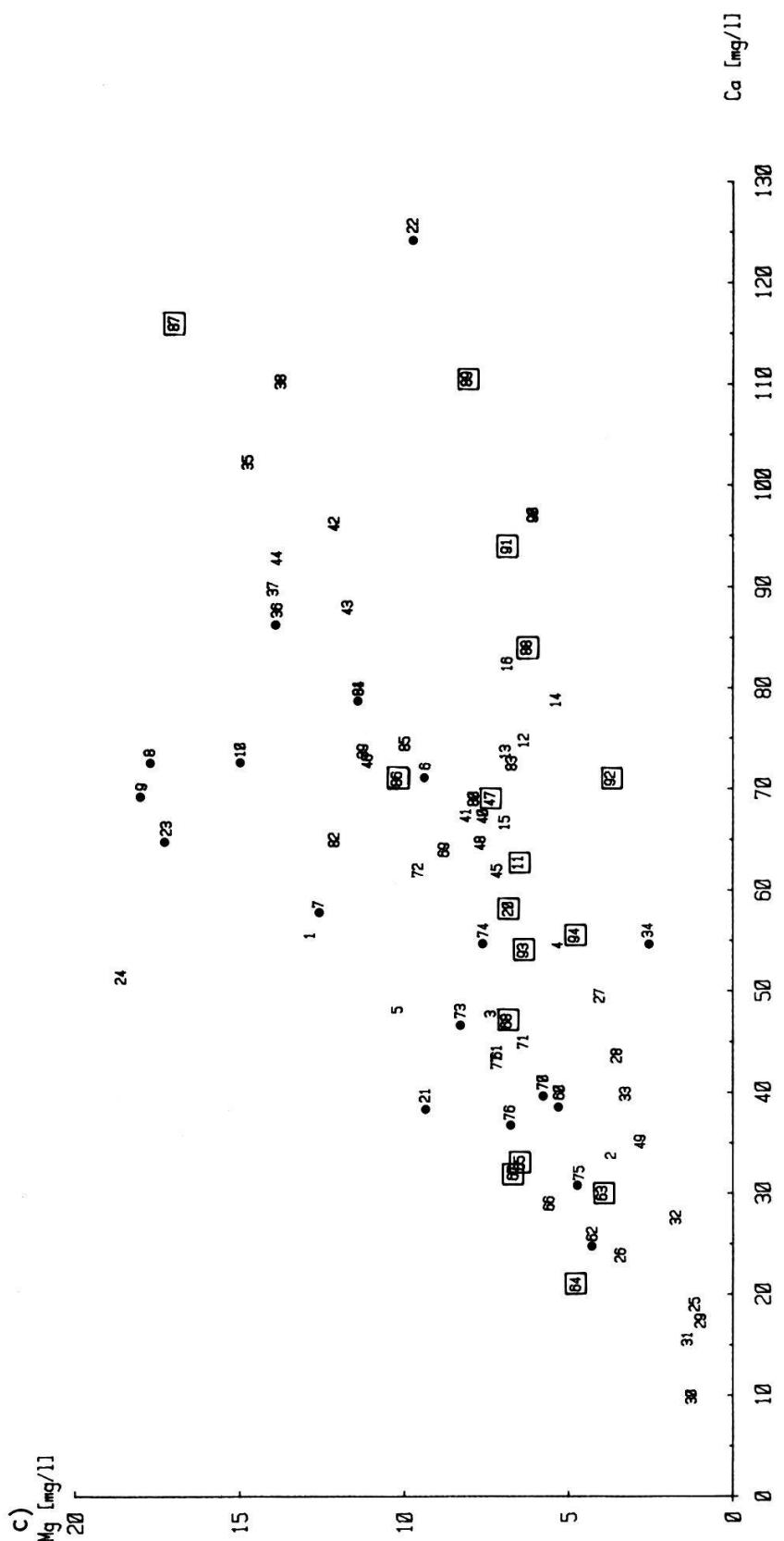


Abb. 22. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der Ca- und Mg-Konzentrationen in allen Gewässern, während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of *L. gibba*, depending on concentrations of Ca and Mg in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).

- lemnaeefrei, without Lemnaceae





Magnesiumwerten, kommt aber bezüglich des Calciums über das ganze gemeinsame Spektrum vor (Abb. 25).

Lemna minuscula (Abb. 23) ist bei Phosphor gegen Kalium bezüglich des Kaliums vor allem im mittleren bis tieferen Bereich anzutreffen. In Gewässern mit extrem hohen Kaliumkonzentrationen ist sie nicht gefunden worden. Bezuglich Phosphor zeigt diese Art keine spezielle Vorliebe.

Da wir in den Laboruntersuchungen nur mit Stickstoff und Phosphor gearbeitet haben, wurden diese beiden Werte gegeneinander aufgetragen, wobei für N'tot die beiden analysierten Stickstoffionen $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ und $\text{NO}_3^- - \text{N}$ summiert wurden.

Es wurde wiederum in lemnaceenfreie, lemnaceenhältige und solche Gewässer, die *Lemna gibba* enthielten, aufgeteilt. Betrachtet man nur jene Gewässer, die nie Lemnaceen aufwiesen, so sieht man, dass diese tatsächlich sehr wenig Phosphor aufweisen. Beim Stickstoff sind sie über das ganze Spektrum verteilt. Dieser scheint also in den hier untersuchten Gewässern keine entscheidende Rolle zu spielen.

Gewässer mit *L. gibba* (Abb. 26) liegen vor allem im Bereich sowohl hoher Stickstoff- als auch Phosphorkonzentrationen. *L. trisulca* (Abb. 27) kommt, wie schon festgestellt (Phosphor gegen Kalium) in Gewässern mit niedrigen bis mittleren Phosphorkonzentrationen vor, bezüglich des Stickstoffs zeigt sie keine speziellen Tendenzen. *Spirodela polyrrhiza* (Abb. 27) kommt mehr oder weniger über das ganze Spektrum verteilt vor. *L. minor* und *L. minuscula* können anhand bisheriger Aussagen überall in den untersuchten Gewässern vorkommen, bis auf diejenigen, die sowieso lemnaceenfrei sind, wie aus Abb. 28 hervorgeht.

Ebenfalls wurden die Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre bestimmt, wobei die Werte der Gewässer der nördlichen Oberrheinischen Tiefebene (80-94) wie auch jene der Gewässer 16 und 45-49 nur über zwei Jahre gemittelt wurden. Die Werte wurden wiederum graphisch dargestellt und im folgenden kurz diskutiert.

Wie aus Abb. 29 hervorgeht, sind die lemnaceenfreien und zum Teil auch artenarmen Gewässer im Bereich niedriger Phosphorwerte zu finden; weitere artenarme Gewässer, die im phosphorreicherem Bereich sind, enthalten sehr wenig Stickstoff. Es hat aber auch artenarme Gewässer im mittleren Bereich

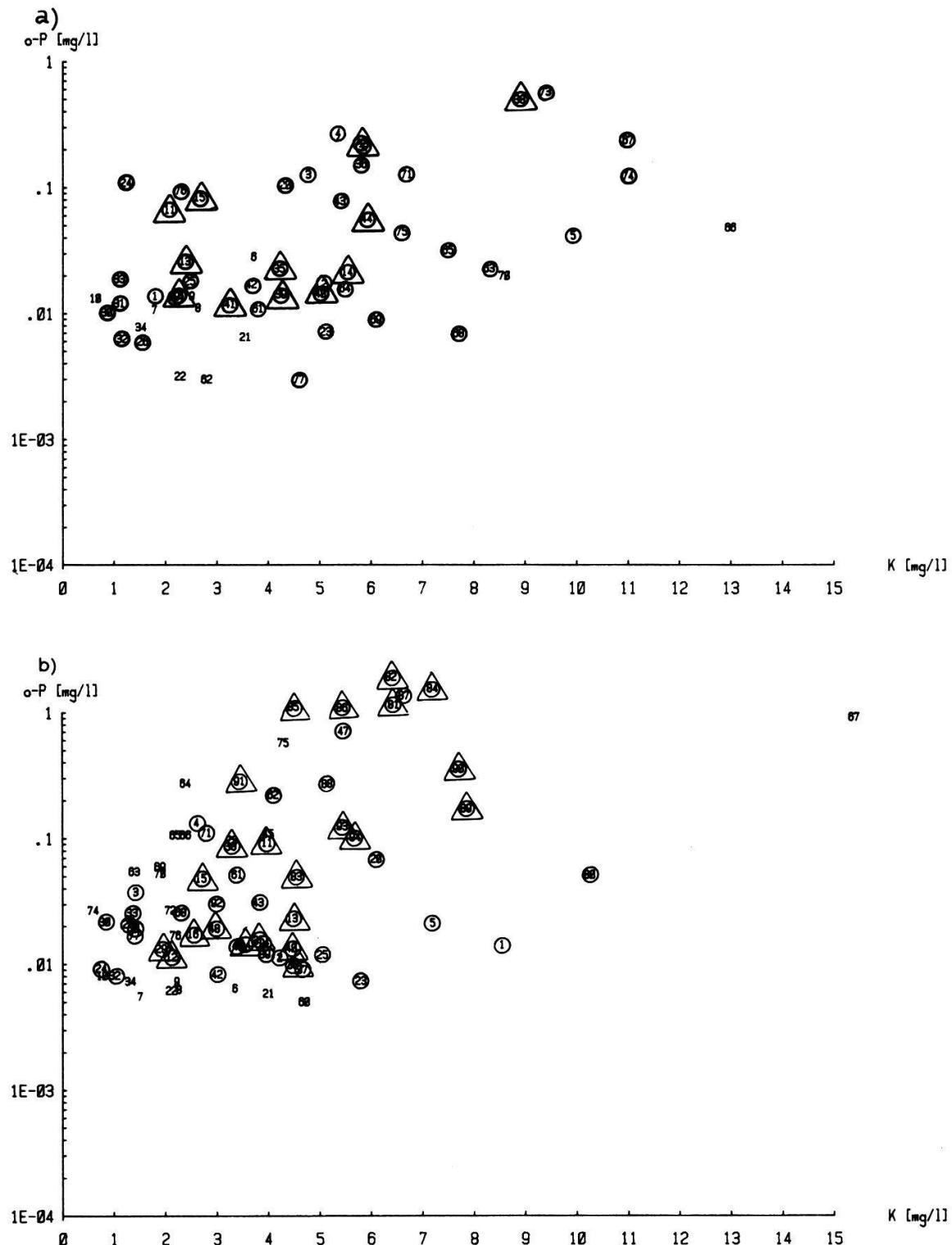
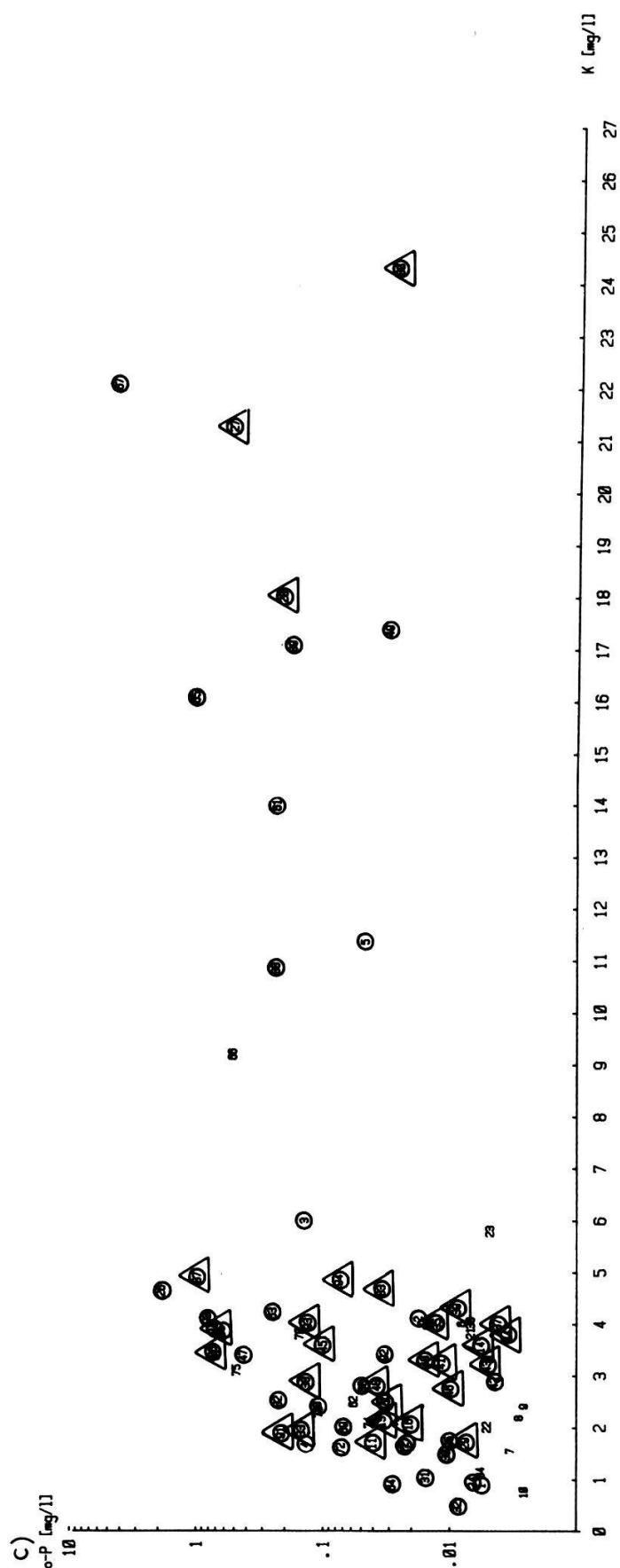


Abb. 23. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* (△) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of L. minor and L. minuscula, depending on concentrations of P and K in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).



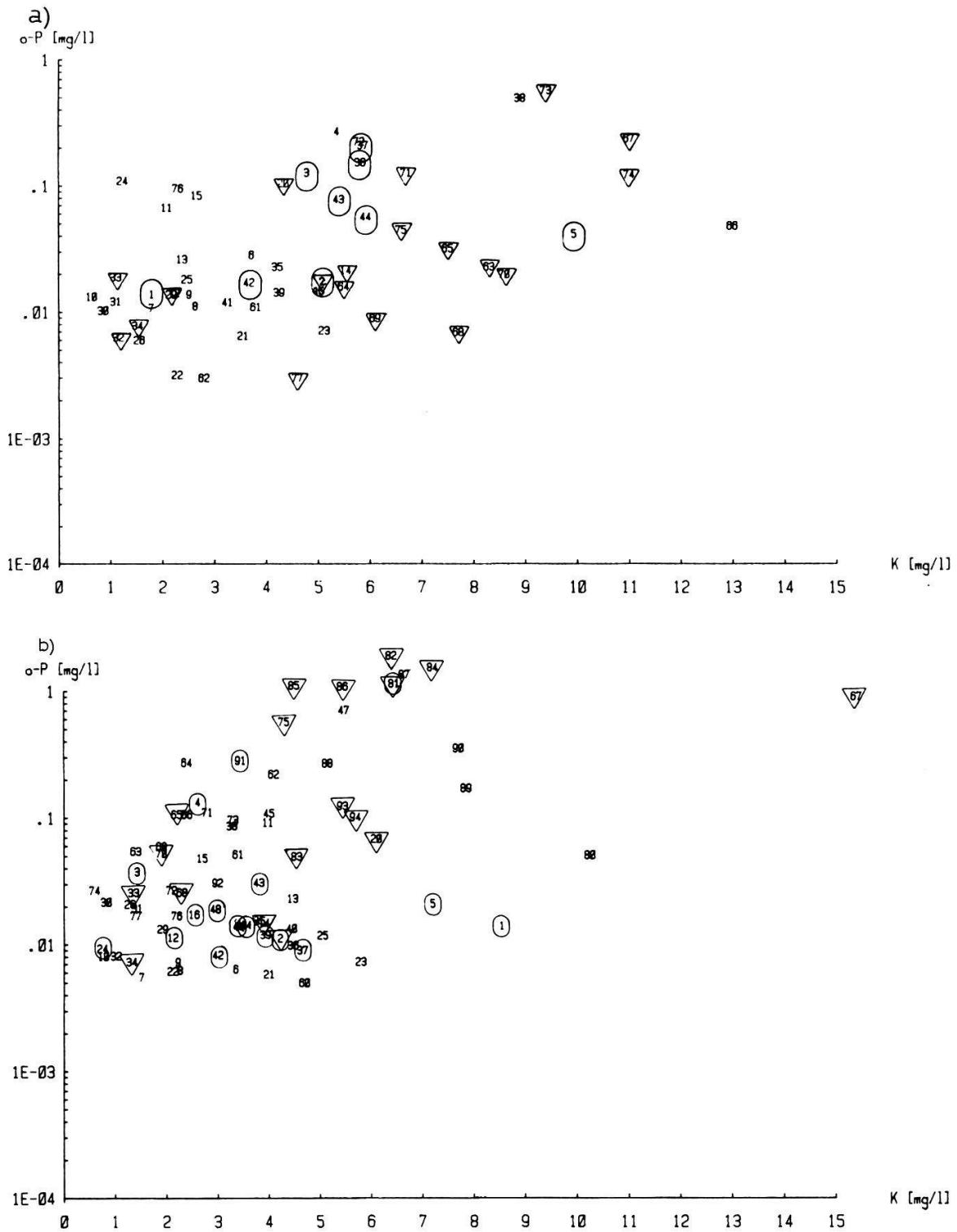
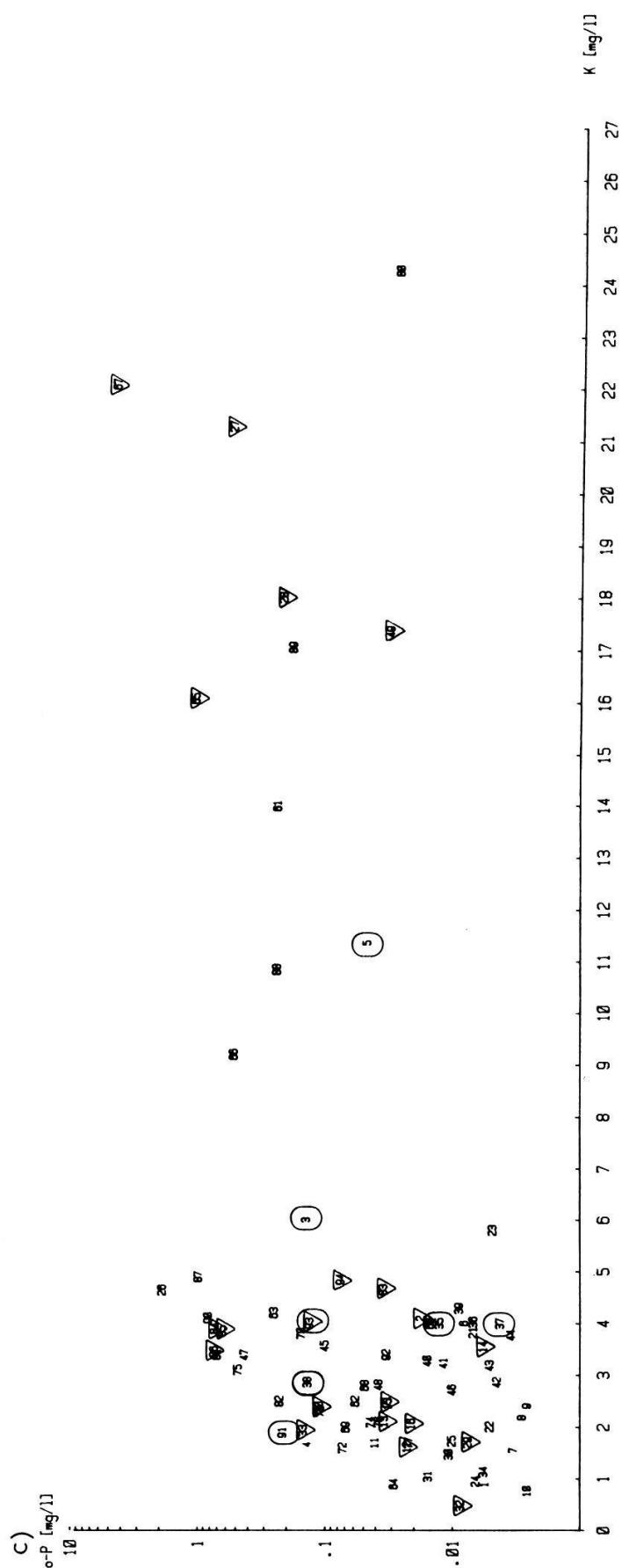


Abb. 24. Vorkommen von *S. polyrrhiza* (∇) und *L. trisulca* (0) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of *S. polyrrhiza* and *L. trisulca*, depending on concentrations of P and K in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).



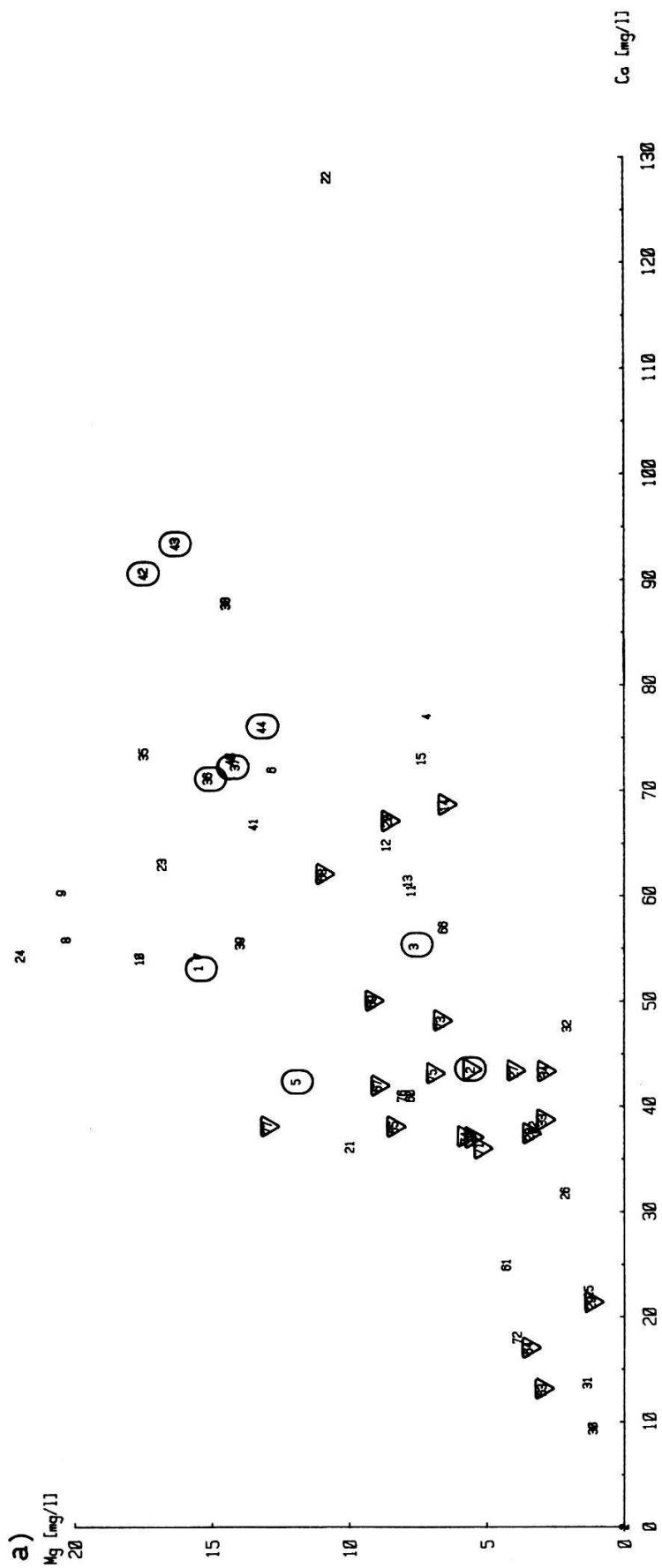
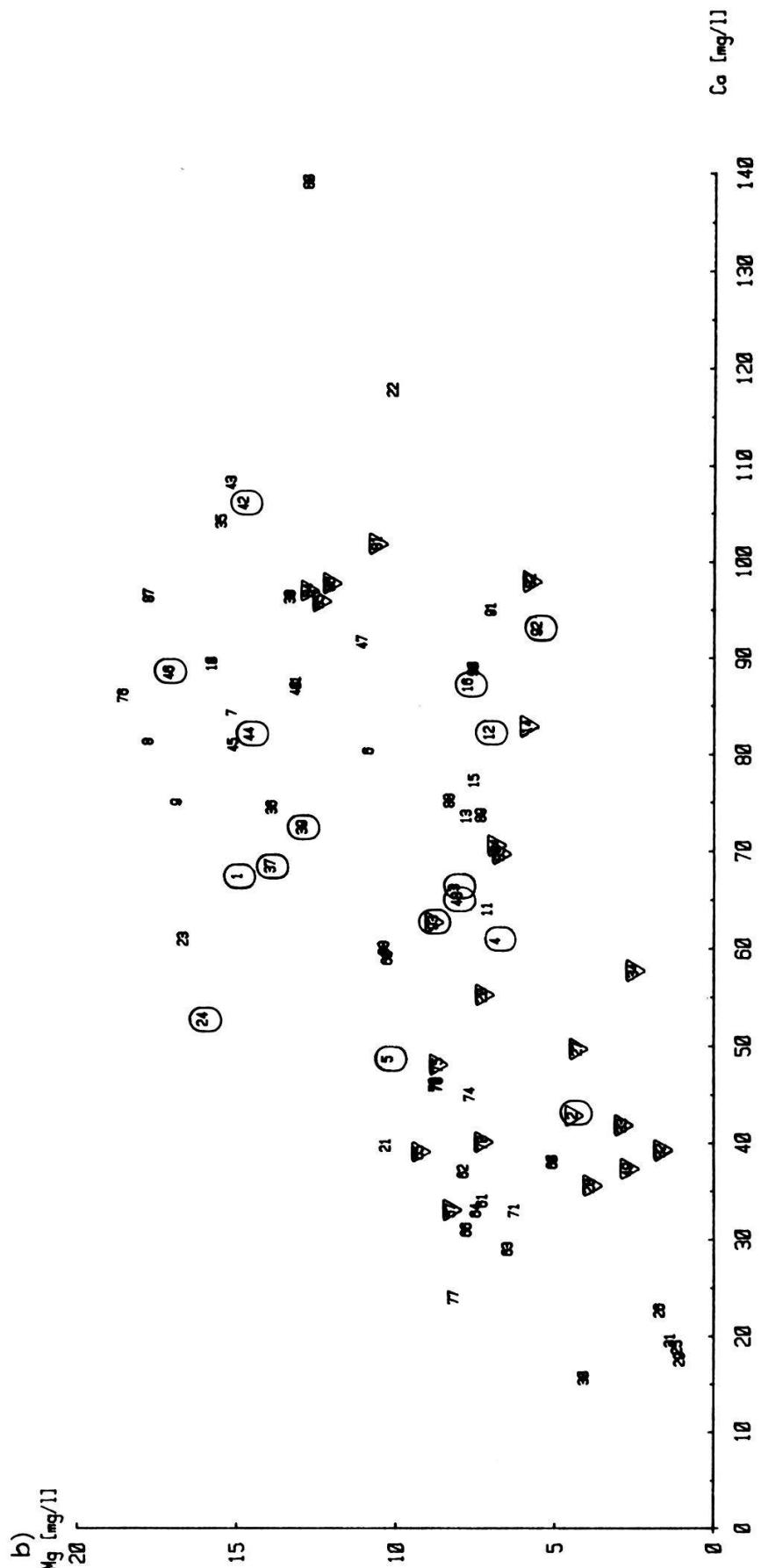
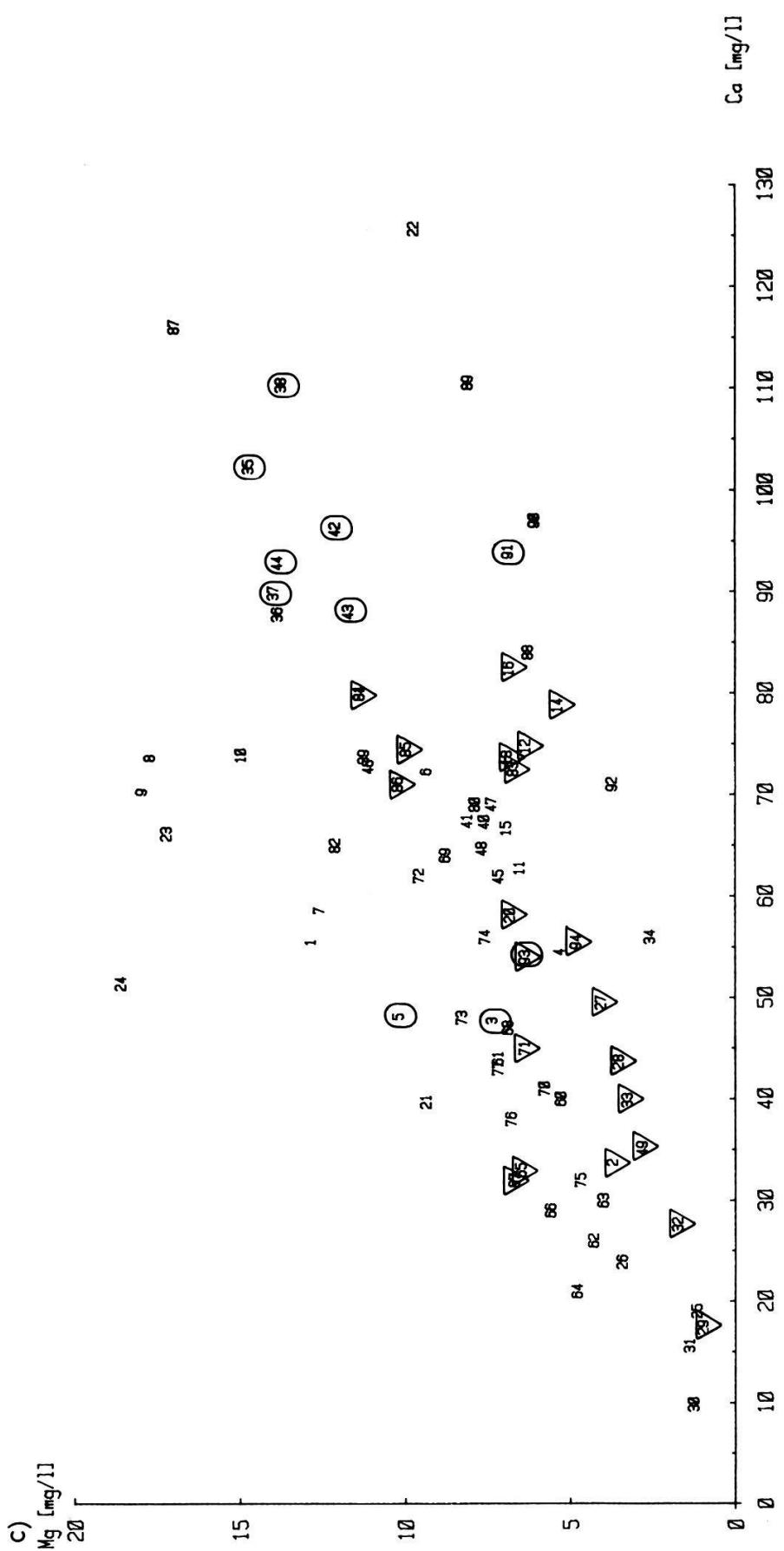


Abb. 25. Vorkommen von *S. polyrrhiza* (∇) und *L. trisulca* (\circ) in Abhängigkeit der Mg- und Ca-Konzentrationen in den Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).
 Occurrence of *S. polyrrhiza* and *L. trisulca*, depending on concentrations of Mg and Ca in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).





der Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen. Die artenreicheren Gewässer sind, mit einer Ausnahme (2), in den mittleren bis höheren P- und N-Bereichen anzutreffen.

Mit Ausnahme der lemmaceenfreien Gewässer und der Gewässer 34 und 70 konnte in allen übrigen Gewässern *L. minor* beobachtet werden (Abb. 30). Gewässer mit *L. minuscula* nehmen einen etwas kleineren Raum ein, da diese Art auf die Dauer Gewässer mit relativ hohen N- und P-Konzentrationen bevorzugt (s. Tab. 20, Abb. 30). Gewässer mit *L. trisulca* und *S. polyrrhiza* sind ebenfalls mehr oder weniger über das ganze Spektrum verteilt (Abb. 31), wobei aber beide Arten nicht in allen untersuchten Gewässern in Erscheinung treten. Unterschiede zwischen *L. trisulca* und *S. polyrrhiza* sind vor allem in höheren Konzentrationen zu beobachten, wo sie sich gegenseitig auszuschliessen scheinen. *L. trisulca* kommt dort in Gewässern mit hohen Stickstoff- kombiniert mit mittleren Phosphorgehalten vor. *S. polyrrhiza* ist sowohl in hohen Phosphor- als auch hohen Stickstoffkonzentrationen anzutreffen.

L. gibba findet man vorwiegend in Gewässern mit hohen Stickstoff- und hohen Phosphorkonzentrationen (Abb. 32), wobei die unterste Grenze beim P = 0.027 mg/l und beim N = 0.221 mg/l liegt (Tab. 20).

Tab. 20. Mittlere Tiefstwerte der Nährstoffe, bei denen die einzelnen Arten noch vorkommen

Average low levels of nutrients for the species studied

Nährstoffe in mg/l	<i>L.minor</i>	<i>L.minuscula</i>	<i>L.gibba</i>	<i>L.trisulca</i>	<i>S.polyrrhiza</i>
P	0.006	0.012	0.027	0.010	0.007
N	0.043	0.18	0.221	0.043	0.043
K	0.88	1.46	2.59	1.99	1.32
Ca	11.6	18.6	23.7	40.03	18.8
Mg	1.1	1.1	4.5	4.6	1.1

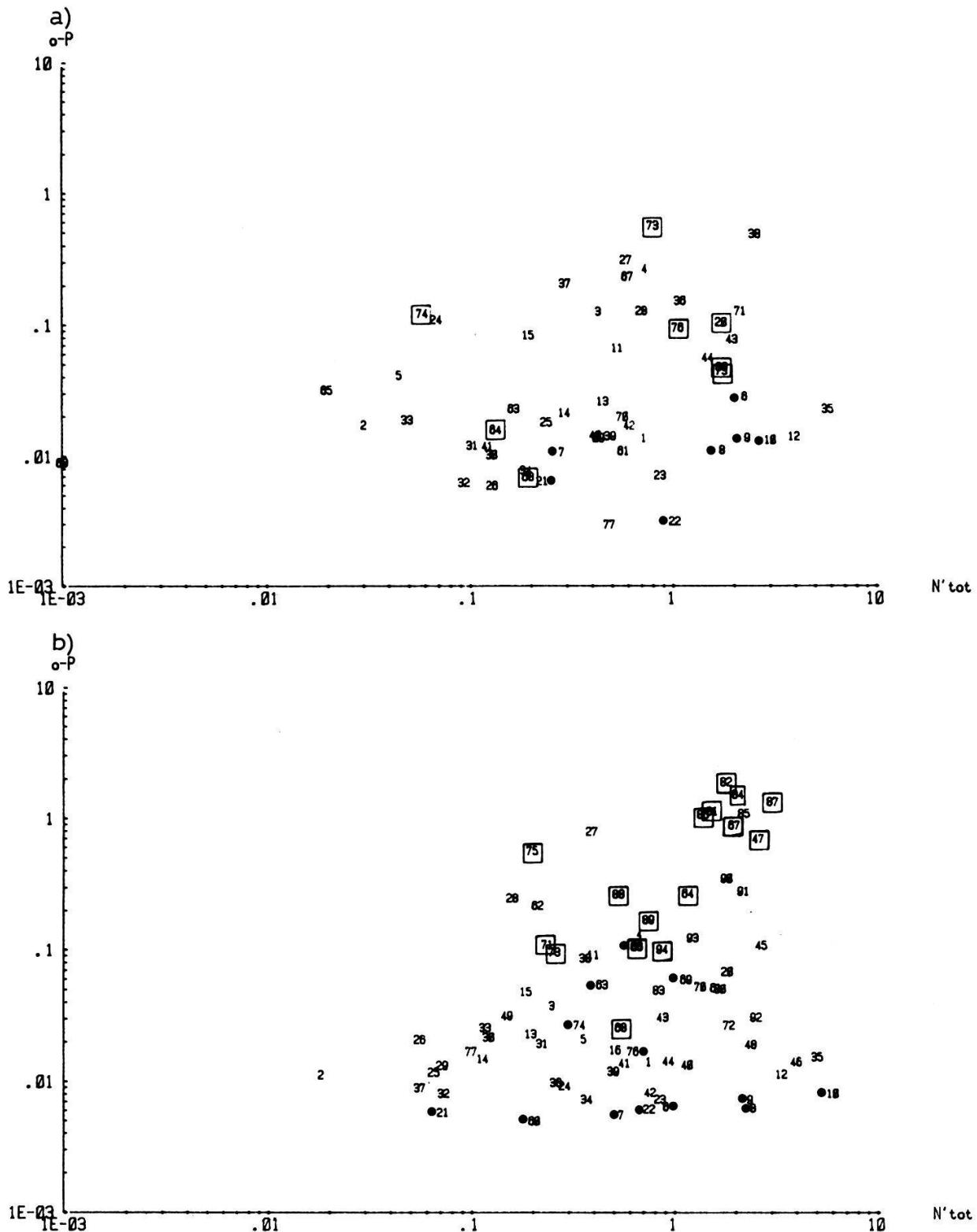
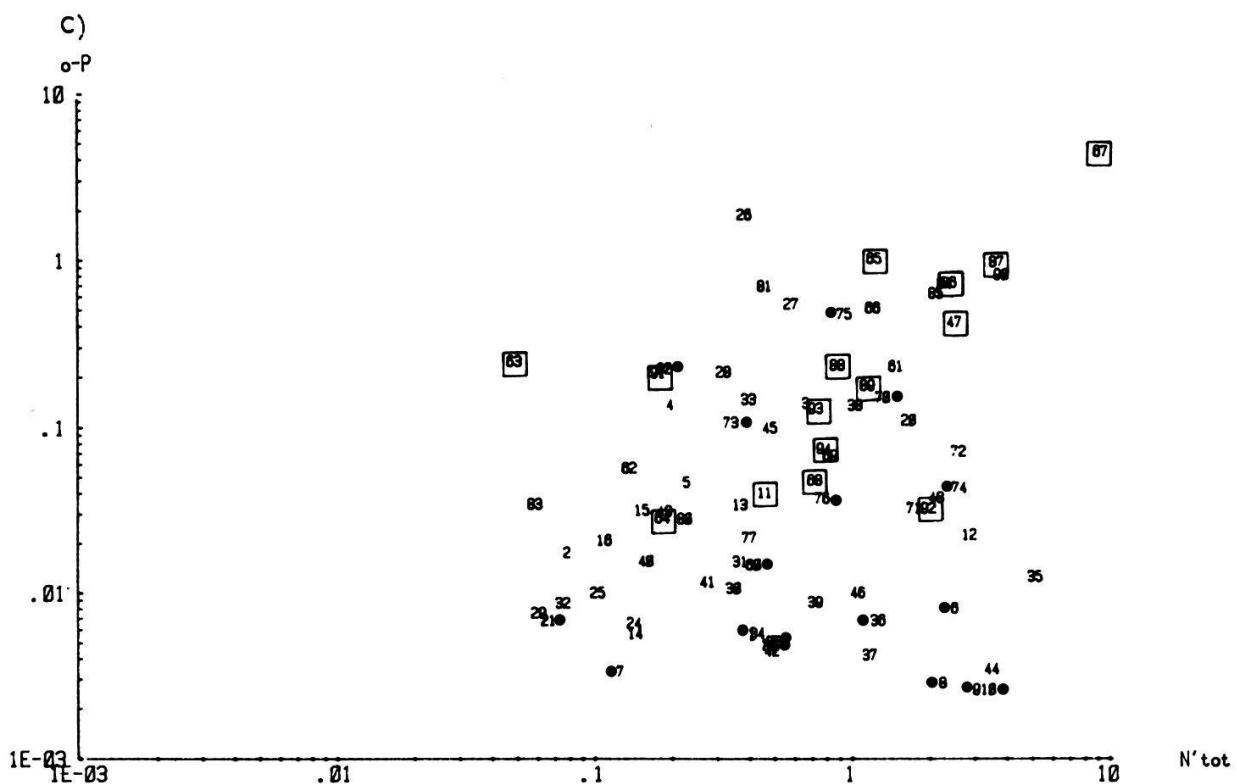


Abb. 26. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of L. gibba (□), depending on concentrations of P and N in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).

- lemnaceenfrei, without Lemnaceae



Bei den Ca- und Mg-Werten kann ähnliches gesagt werden wie bei den bereits besprochenen Mittelwerten der einzelnen Jahre. Lemmaceenfreie und artenarme Gewässer sind wie bei der Korrespondenzanalyse randlich verteilt, vor allem in tiefen Ca- und Mg-Konzentrationen. Artenreiche Gewässer sind im mittleren Mg-Bereich anzutreffen, wobei diese Gewässer tiefe bis hohe Ca-Konzentrationen aufweisen können.

L. minor und *L. minuscula* kommen in Gewässern mit sowohl tiefen als auch mittleren und hohen Ca- und Mg-Konzentrationen vor. *S. polyrrhiza* und *L. trisulca* konnten in Gewässern mit mittleren Mg- und Ca-Konzentrationen beobachtet werden, wobei diese beiden Arten auch in Bereichen anzutreffen sind, innerhalb derer sich die Arten gegenseitig ausschliessen (Abb. 33). Dies ist bei *S. polyrrhiza* im Bereich relativ tiefer Ca- und Mg-Konzentrationen und bei *L. trisulca* in hohen Ca- und Mg-Konzentrationen der Fall.

Gewässer mit *L. gibba* sind im mittleren Mg-Bereich zu beobachten. Bei den Ca-Konzentrationen sind sie über das ganze Spektrum verteilt (Abb. 33).

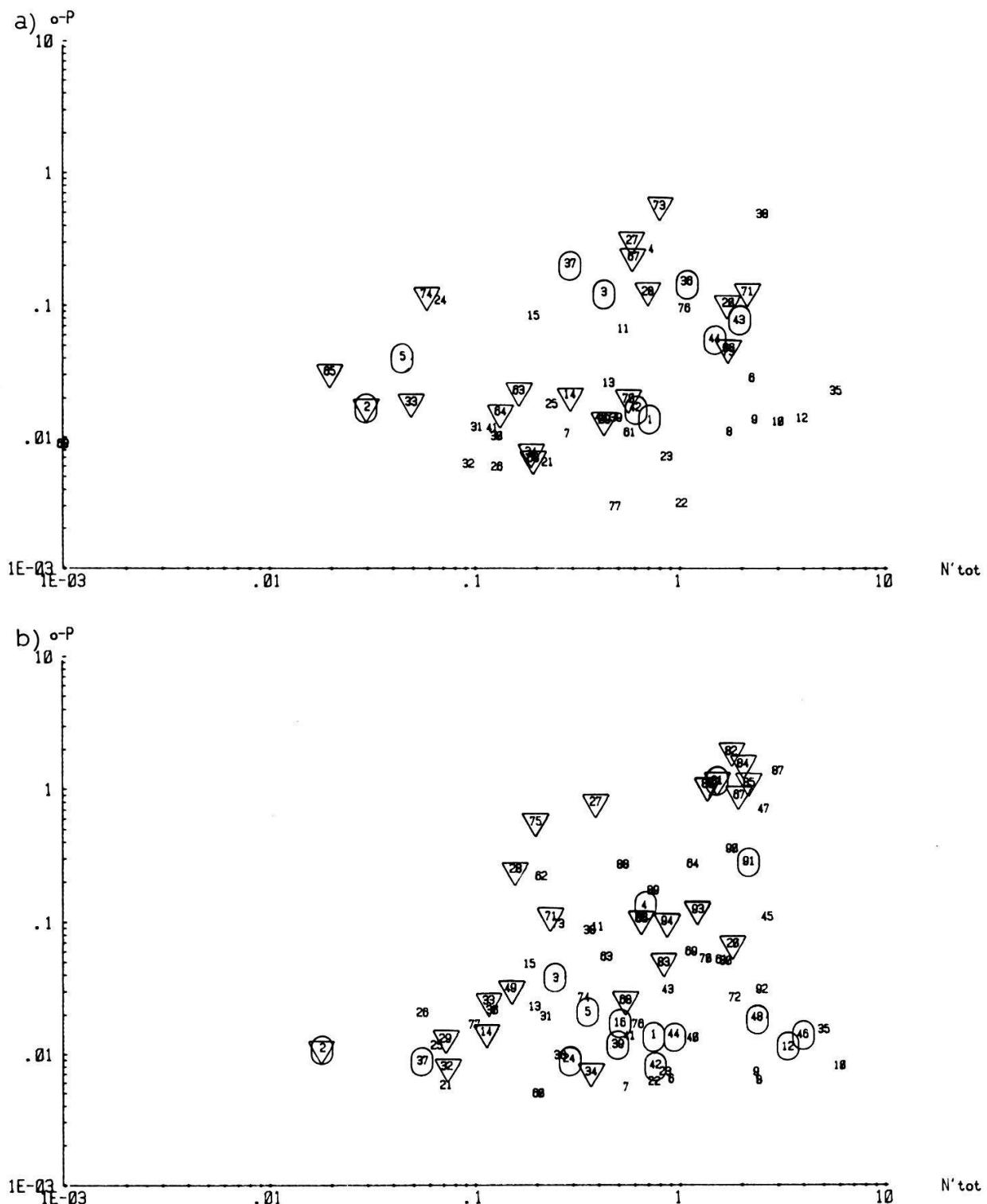
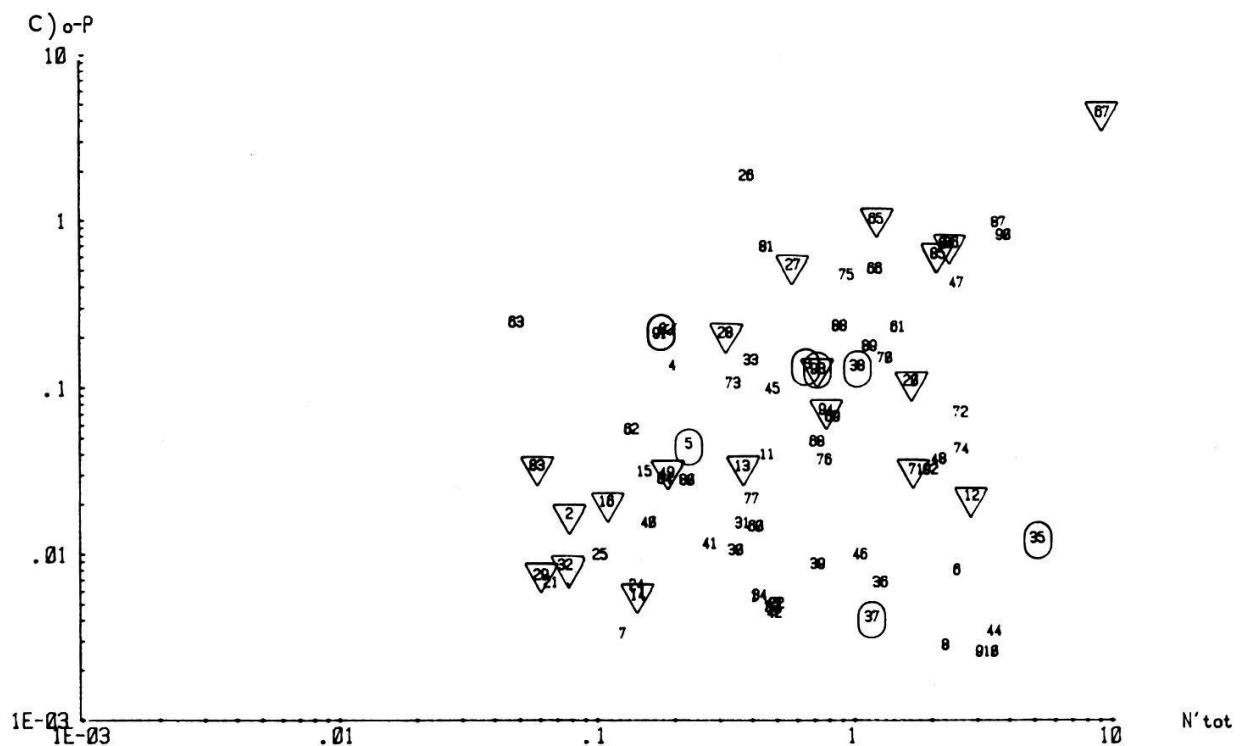


Abb. 27. Vorkommen von *S. polyrrhiza* (∇) und *L. trisulca* (\circ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of S. polyrrhiza and L. trisulca, depending on concentrations of P and N in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).



Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der einzelnen Arten wurden die mittleren Tiefstwerte über alle drei Untersuchungsjahre, bei denen die einzelnen Arten noch in Erscheinung treten, in einer Tabelle zusammengefasst (Tab. 20). Anhand dieser Tabelle wurde folgende Aufstellung gemacht:

P : *L. gibba* > *L. minuscula* > *L. trisulca* > *S. polyrrhiza*, *L. minor*
 N : *L. gibba* > *L. minuscula* > *L. minor*, *L. trisulca*, *S. polyrrhiza*
 K : *L. gibba* > *L. trisulca* > *L. minuscula* > *S. polyrrhiza* > *L. minor*
 Ca: *L. trisulca* > *L. gibba* > *L. minuscula*, *S. polyrrhiza* > *L. minor*
 Mg: *L. trisulca*, *L. gibba* > *L. minuscula*, *L. minor*, *S. polyrrhiza*

Man sieht wiederum, dass *L. gibba* vorwiegend in Gewässern mit hohen Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumkonzentrationen anzutreffen ist. Ebenso kommt sie in Gewässern vor, die eine relativ hohe untere Grenze für Calcium und Magnesium aufweisen.

L. trisulca, die nicht in Gewässern mit Ca-Konzentrationen unterhalb von 40.03 mg/l im Mittel zu beobachten war, konnte im Gegensatz zu *L. gibba* in Gewässern mit tieferen N- und P-Konzentrationen gefunden werden.

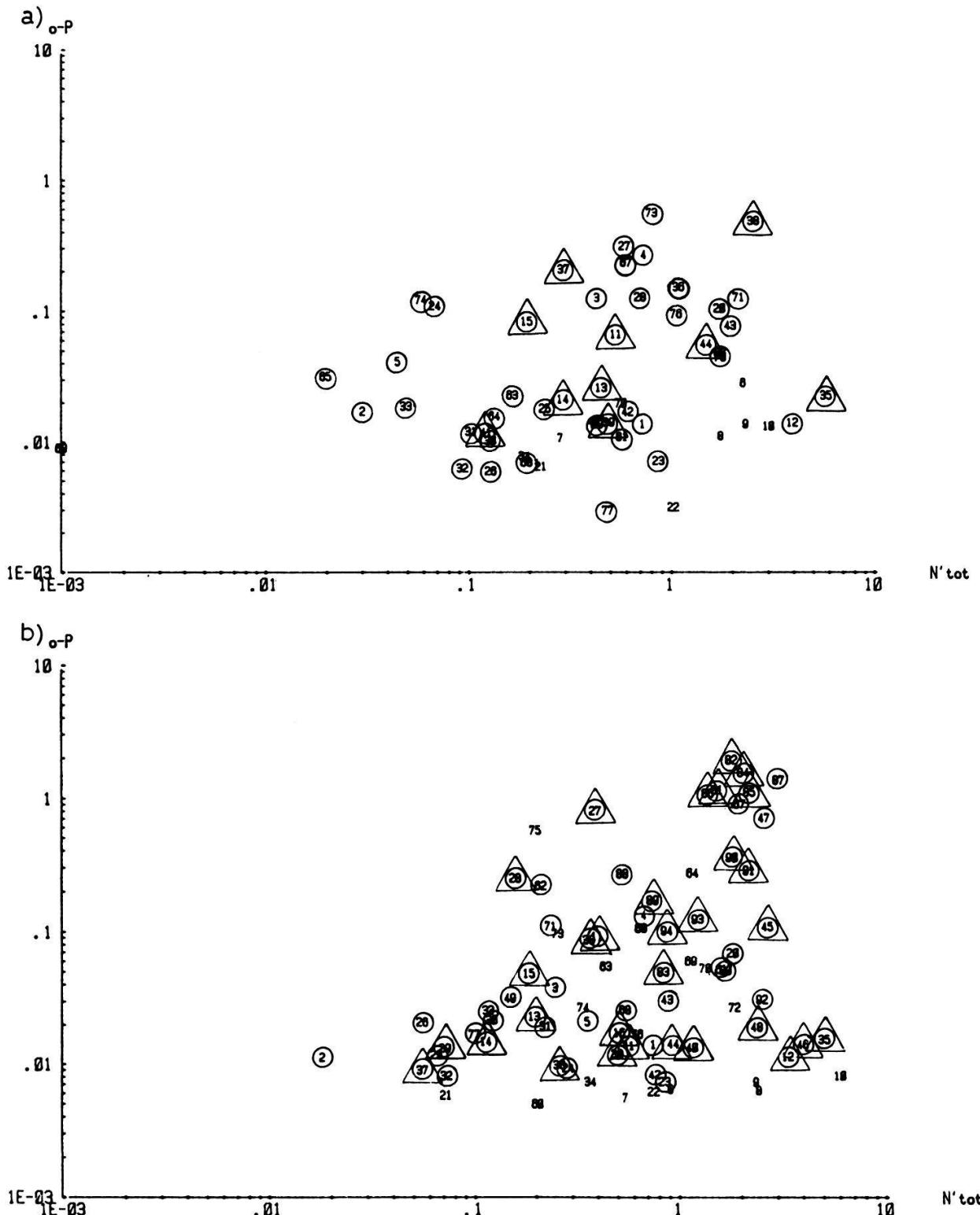
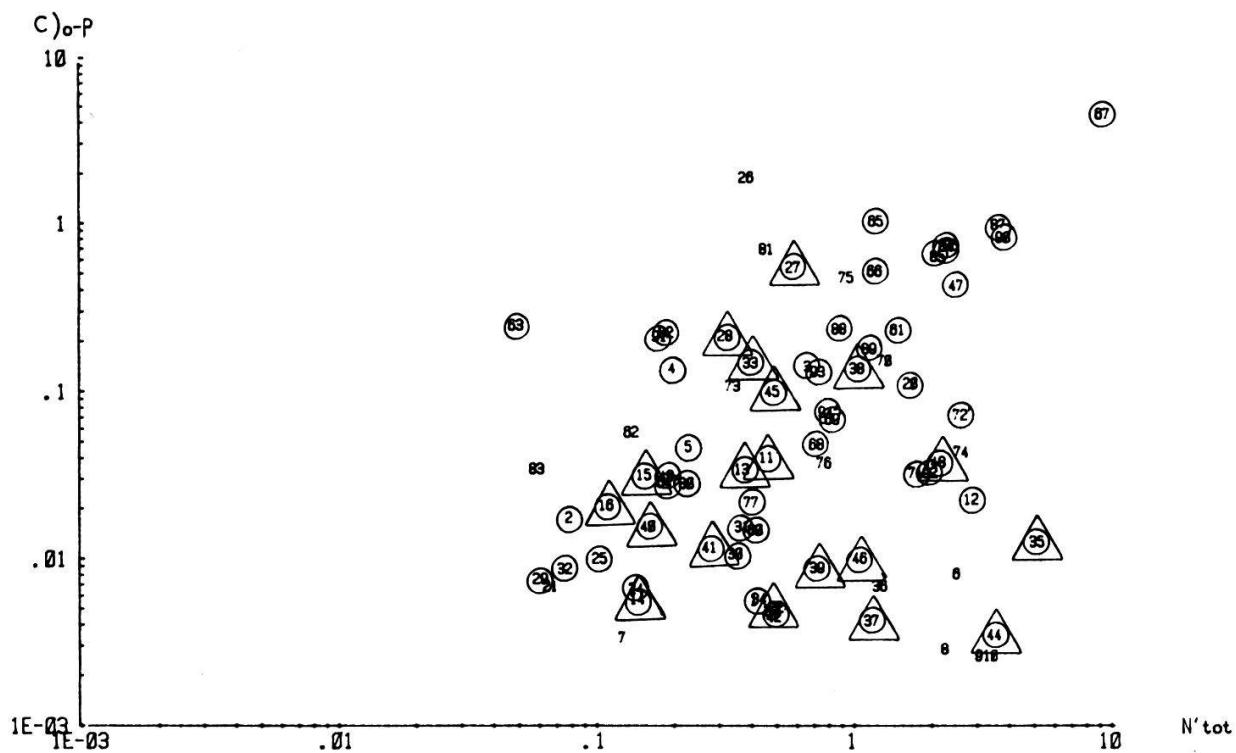


Abb. 28. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* (Δ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

Occurrence of L. minor and L. minuscula, depending on concentrations of P and N in all waters during the years 1979 (a), 1980 (b) and 1981 (c).



L. minuscula und *S. polyrrhiza* verhalten sich mit Ausnahme des Stickstoffes recht ähnlich. *L. minor* ist die einzige Art, die auch in relativ niedrig konzentrierten Gewässern vorkommen kann; dies mag der Grund sein, weshalb sie sozusagen überall in den untersuchten lemnaceenhaltigen Gewässern anzutreffen war, also auch in nährstoffreichen.

Im grossen und ganzen kann also gesagt werden, dass Gewässer, die ein gewisses Phosphorangebot (0.006 mg/l) im Mittel ausweisen, über entsprechende Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse verfügen und keine allzu starken Konkurrenten aufweisen, von Lemnaceen besiedelt werden können.

Es sei nachträglich nochmals erwähnt, dass diese über drei Jahre gemittelten Werte infolge der starken Fluktuationen, vor allem beim Stickstoff und Phosphor, abhängig von Düngungseinflüssen, Niederschlägen, Abwässern usw., relativ grosse Standardabweichungen aufweisen. Dies bedeutet, dass die einzelnen Arten während den Vegetationsperioden sowohl in viel tieferen als auch viel höheren Nährstoffkonzentrationen gefunden wurden. Es wird angenommen, dass die Pflanzen im Mittel über eine längere Zeitspanne kaum solche extremen Werte, vor allem tiefe, überdauern können.

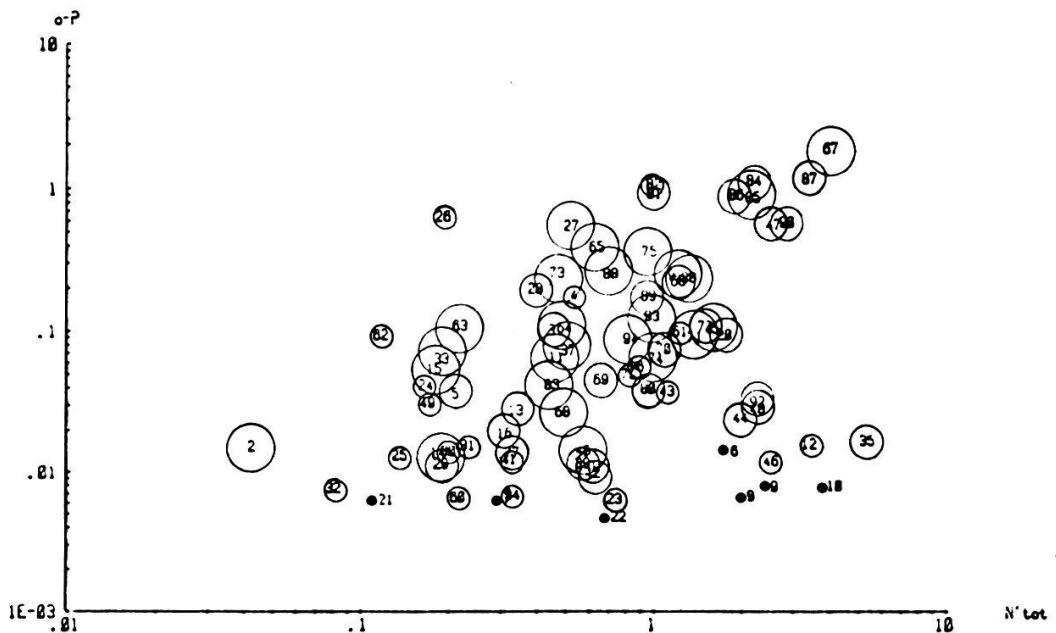


Abb. 29. Lemnaceenfreie (•) und artenarme (○) gegenüber artenreichen (grössere Kreise) Gewässern in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

Comparison of waters free of Lemnaceae (•) and waters with few Lemnaceae (○) with waters rich in Lemnaceae (bigger circles), depending on concentrations of P and N. Average values of P and N obtained during the three-year investigation period.

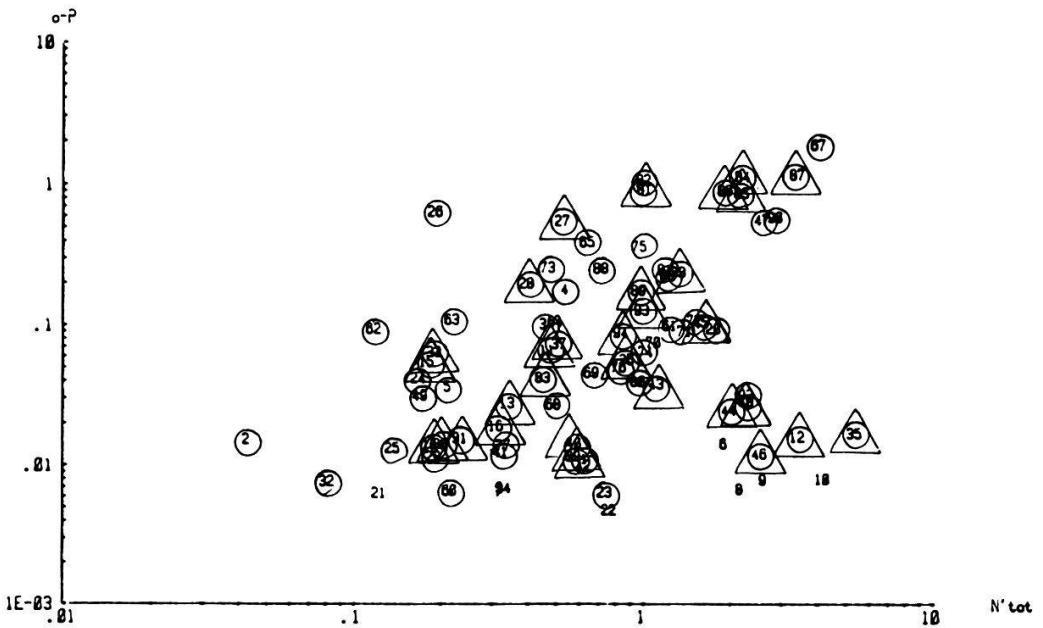


Abb. 30. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* (Δ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

*Occurrence of *L. minor* and *L. minuscula*, depending on concentrations of P and N. Average values of P and N obtained during the three-year investigation period.*

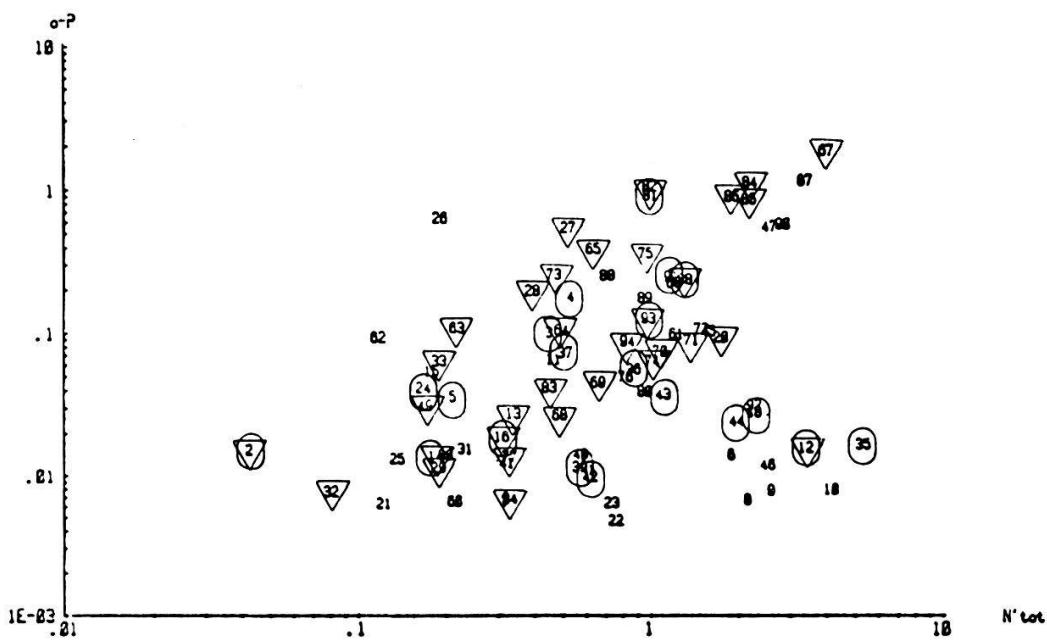


Abb. 31. Vorkommen von *S. polyrrhiza* (∇) und *L. trisulca* (\circ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

Occurrence of S. polyrrhiza and L. trisulca, depending on concentrations of P and N. Average values of P and N obtained during the three-year investigation period.

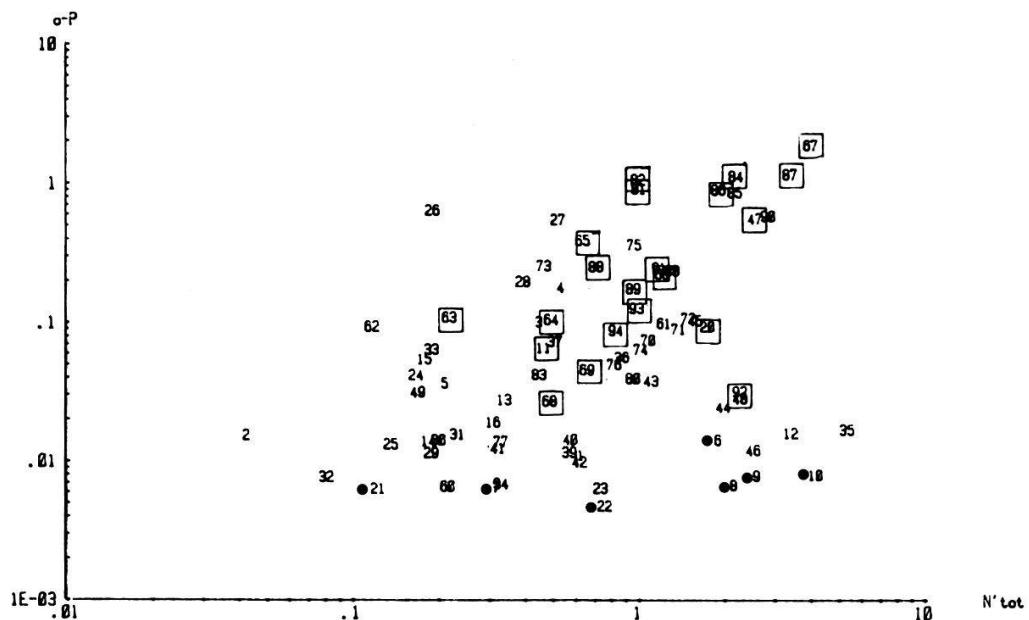


Abb. 32. Vorkommen von *L. gibba* (\square) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

Occurrence of L. gibba, depending on concentrations of P and N. Average values of P and N obtained during the three-year investigation period.

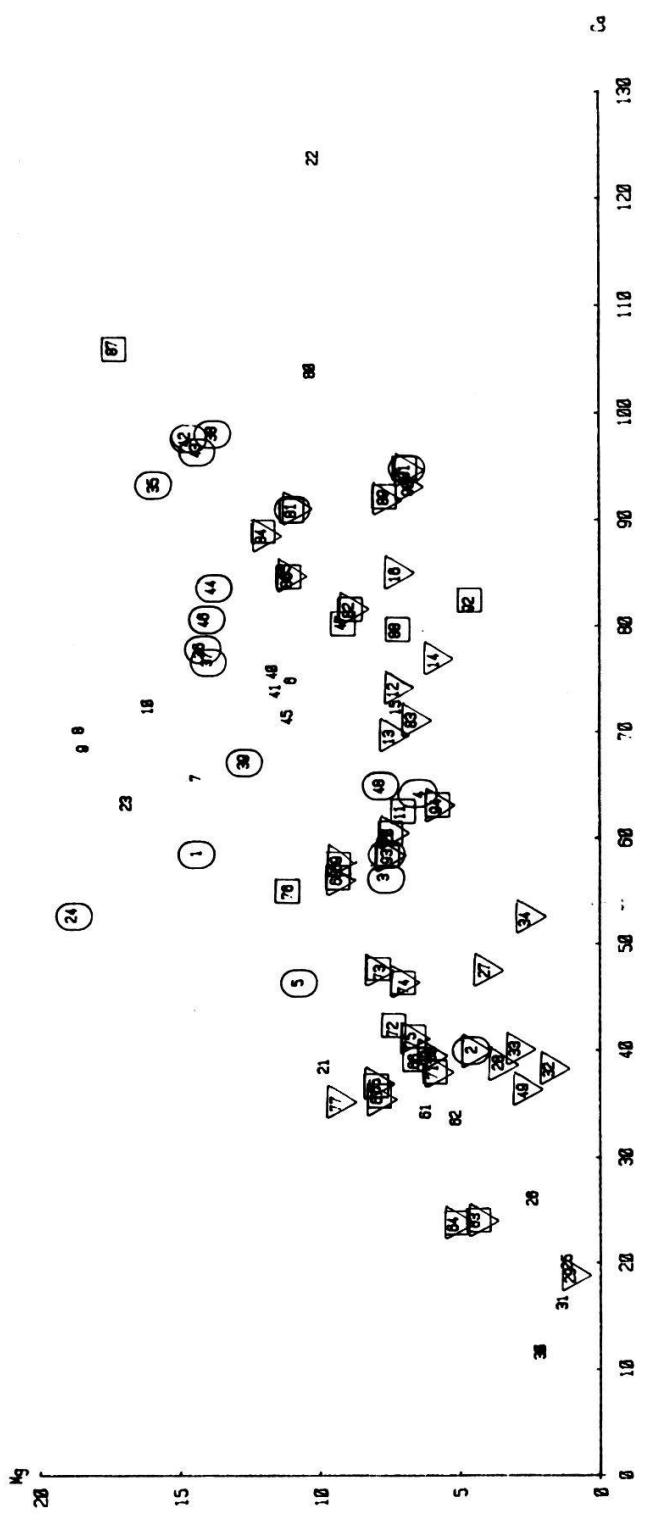


Abb. 33. Vorkommen von *S. polyrrhiza* (∇), *L. trisulca* (\circ) und *L. gibba* (\square) in Abhängigkeit der Ca- und Mg-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

Occurrence of *S. polyrrhiza*, *L. trisulca* and *L. gibba*, depending on concentrations of Ca and Mg.
Average values obtained during the three-year investigation period.

3.2.3. Bemerkungen zu den Feldversuchen

Wie die vorliegenden Resultate zeigen, sind vor allem die Phosphor- und Kaliumgehalte die Faktoren, die auf das Vorkommen von Lemnaceen begrenzend wirken, wobei der Phosphor die Hauptkomponente zu sein scheint. Dies zeigen auch zahlreiche andere Untersuchungen, die sowohl mit Algen als auch mit höheren Pflanzen und ebenfalls mit Lemnaceen durchgeführt wurden.

Phosphor ist ein Element, das ebenso wie Stickstoff oft für Wasserpflanzen limitierend wirkt (MACKENTHUN 1968). Verschiedene Autoren haben im Feld und im Labor die untere Grenze für Phosphor untersucht. SAWYER (1947) zeigte, dass bereits ein Phosphatgehalt von 0.01 mg/l und ein Stickstoffgehalt von 0.3 mg/l zu Beginn der Vegetationsperiode genügen, um Algenwachstum hervorzurufen. Gewässer mit Phosphorgehalten unter 0.03 mg/l hatten in unseren Versuchen keine *Lemna gibba*. Die einzigen beiden Gewässer, die im Jahr 1980 (66, 69) keine Lemnaceen aufwiesen und doch einen relativ hohen Phosphorgehalt hatten, wurden nur einmal im Jahr aufgesucht; es besteht die Möglichkeit, dass in den übrigen Monaten doch Lemnaceen auftraten, ähnlich wie dies im Jahr zuvor und danach der Fall war. Es konnte vorkommen, dass während den Sommermonaten in Gewässern mit Lemnaceen kein Phosphor nachweisbar war. Auch SHAPIRO (1970) zeigt, dass bei starkem Algenbewuchs kein Phosphor messbar ist. Die deutliche Beziehung zwischen hohen Phytoplanktonzahlen und niedrigen Orthophosphatmengen sowie die niedrigen Phytoplanktonzahlen und hohen Orthophosphatmengen scheinen für MOTHES (1974) einleuchtend zu sein. Dieser Autor beschreibt gut den Phosphorverlauf während der Sommerstagnation und der Anreicherung mit Orthophosphat im Winter. POTT (1980) hat gezeigt, dass die Phytoplanktonproduktion in erster Linie bestimmt wird durch pflanzenverfügbare Phosphate, insbesondere durch Orthophosphat (P_2O_5). In einer anderen Arbeit zeigt POTT (1981) auf, dass Gewässer mit *L. gibba*-Gesellschaften (*Lemnetum gibbae*) höchste Mittelwerte an Phosphat, Gesamtstickstoff und Leitfähigkeit aufweisen. Die tiefsten Werte findet man im *Riccieturn* vor dem *Lemnetum trisulcae*, gefolgt vom *Spirodeletum*.

In den vorliegenden Untersuchungen konnte keine so gute Trennung zwischen den einzelnen Arten gezeigt werden, ausserdem wurden nicht Gesellschaften, sondern das Vorkommen von Arten untersucht. *L. gibba* kommt vor allem

in phosphatreichen, anthropogen beeinflussten Gewässern vor (WIEGLEB 1978). Dies war auch bei uns zu beobachten.

Beim Stickstoff scheinen die Resultate nicht so klar wie beim Phosphor zu sein. Obschon im Labor gezeigt werden konnte, dass die Pflanzen auch bezüglich Stickstoff ein Wachstumsoptimum aufweisen, kann der Stickstoff im Feld nicht als limitierender Faktor betrachtet werden. Beim Nitrat ist es eher so, dass die Pflanzen vor allem in Gewässern mit tiefen Nitratgehalten gefunden wurden. Beim Kalium liegen die Mittelwerte in lemnaceenhältigen Gewässern meist höher als in lemnaceenfreien. Aehnliches konnten auch LANDOLT und WILDI (1977) anhand von Untersuchungen in Nordamerika zeigen. Sie konnten aber genauere Kaliumwerte für die einzelnen Arten angeben. Bei uns lagen die niedrigsten Werte bei ca. 0.9 mg/l für die Lemnaceen und bei ca. 2.6 mg/l für *Lemna gibba* (Tab. 20). Gewässer mit Lemnaceen waren in den Bereichen zwischen 1 und 8-10 mg/l anzutreffen, nur wenige Gewässer lagen ausserhalb dieser Konzentrationen.

Calcium und Magnesium sind die Elemente, bei denen in den Abbildungen der Korrespondenzanalyse (Abb. 12-17) die meisten lemnaceenhältigen Gewässer lokalisiert sind; vor allem Gewässer mit *L. minor* und *L. minuscula* waren um diese beiden Elemente herum gruppiert. *L. minor* findet man fast über das ganze Spektrum der gemessenen Werte, also sowohl in tiefen als auch in mittleren und höheren Calcium- und Magnesiumkonzentrationen. Untersuchungen in der Klimakammer bestätigen dies (ZIMMERMANN 1981).

Vergleiche der Felddaten mit anderen Untersuchungen (LANDOLT und WILDI 1977) zeigen, dass die von uns gemessenen Werte, vor allem was das Magnesium betrifft, wesentlich niedriger liegen. Die dort untersuchten Gebiete erhalten bedeutend weniger Niederschläge. Natrium scheint keine bedeutende Rolle beim Vorkommen der Lemnaceen zu spielen, obschon HALLER et al. (1974) feststellten, dass Lemnaceen in höheren NaCl-Konzentrationen besser wuchsen als in Konzentrationen, die im Feld bestimmt werden konnten. Da in unseren Wasserproben der Chloridgehalt nicht bestimmt wurde, können auch keine direkten Vergleiche zu dieser Arbeit gezogen werden. Anhand der oben gemachten Feststellungen sieht man, dass Untersuchungen einzelner Faktoren im Feld nicht immer klare Antworten liefern können, warum eine Art vorkommt resp. warum nicht. Um das gesamte ökologische Geschehen verstehen zu können, müssten mehr Faktoren berücksichtigt werden.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der Klimakammer und der Felduntersuchungen sind in früheren Kapiteln einzeln besprochen worden (Kap. 3.1.4. und 3.2.3.). Im folgenden wird versucht, anhand der erhaltenen Resultate einheitliche Schlüsse zu ziehen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass der Phosphor für das Vorkommen von Lemnaceen eine wesentliche Rolle spielt. Dies geht aus sämtlichen Darstellungen, resultierend aus den Rohdaten, hervor. Gewässer mit Werten, die unterhalb einer gewissen Grenze liegen, werden nicht mehr oder nur noch teilweise von Lemnaceen besiedelt, wobei man sagen kann, dass dieser Grenzwert bei den einzelnen Arten verschieden ist (Tab. 20) und bei *L. minor* und *S. polyrrhiza* sogar dem Mittel der lemnaceenfreien Gewässern nahe kommt (0.005 mg P/l). In den Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass die Pflanzen in diesem Bereich (0.004–0.017 mg/l) minimales Wachstum aufweisen, d.h. dass diese mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Dauer das Wachstum einstellen würden. CHU (1943) hat vergleichsweise die limitierende Grenze für Algen unterhalb 0.009 mg P/l bestimmt.

Vergleicht man die minimalen Stickstoff- und Phosphorwerte resultierend aus den Laboruntersuchungen mit denen, die in der Natur gefunden wurden (Tab. 21), so sieht man, dass die Werte bei *L. minor* und *L. gibba* mehr oder weniger gut übereinstimmen, im Gegensatz zu jenen von *L. minuscula*.

Tab. 21. Vergleich der minimalen Stickstoff- und Phosphorwerte im Feld und im Labor

Minimal values of N and P observed in the field and in the laboratory

	<i>L. minor</i>		<i>L. minuscula</i>		<i>S. polyrrhiza</i>		<i>L. gibba</i>	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Natur	0.04	0.006	0.18	0.012	0.04	0.007	0.2	0.03
Kultur	0.02	0.003	0.02	0.003	0.1	0.02	0.1	0.02

und *S. polyrrhiza*. Bei *S. polyrrhiza* kann man die unterschiedlichen Werte auf die Bildung von Turionen unter schlechten Umweltbedingungen zurückführen. Bei *L. minuscula* liegt es wahrscheinlich daran, dass das genaue Minimalwachstum wegen der relativ weit auseinanderliegenden Konzentrationen (Faktor 5) nicht bestimmt werden konnte (LANDOLT mündl.).

Es scheint, als ob die Pflanzen zu Beginn der Vegetationsperiode einen gewissen Gehalt an Phosphor im Gewässer benötigen, damit sie sich vermehren können. Während der Vegetationsperiode konnte manchmal in von Lemnaceen dicht besiedelten Gewässern kein Phosphor mehr nachgewiesen werden. Wahrscheinlich nehmen die Pflanzen dann den nötigen Phosphor aus dem Material, das fortlaufend abstirbt und so wiederum Phosphor wie auch andere Nährstoffe abgibt. Ebenso gibt lebendes Zooplankton beträchtliche Mengen an Orthophosphat ab, wobei dieses sofort von Algen und Bakterien aufgenommen wird (PETERS und RIEGLER 1973). Bei hoher Dichte der Wasserlinsendecke konkurrieren sich die Pflanzen sowohl inter- wie auch intraspezifisch, durch Lichteinbusse, Nährstoffwegnahme, Abgabe von giftigen Stoffen usw. KEDDY (1976) hat gezeigt, dass *L. minor* in der Natur eine bis sechsmal grössere Vermehrungsrate hat als *L. trisulca* und dadurch wesentlich konkurrenzkräftiger ist als letztere. Ebenso hat er bewiesen, dass sich *L. minor* stärker behindert, als dass sie *L. trisulca* behindert, denn das Wachstum von *L. minor* nimmt nach Bildung einer geschlossenen Decke ab, im Gegensatz zu dem von *L. trisulca*, das mehr oder weniger konstant bleibt. Eine grosse Konkurrenz besteht zu denjenigen Pflanzen, die im Boden wurzeln, wie z.B. See- und Teichrosen, Binsen, Schilf und Rohrkolben. Diese decken zum grössten Teil ihren Nährstoffbedarf aus dem Boden und haben somit freischwimmenden Pflanzen gegenüber gewisse Vorteile. Die Nährstoffe sinken mit dem Plankton und abgestorbenen Pflanzenresten zu Boden, wo sie meist freigesetzt werden und so wiederum verfügbar werden, aber nur für diejenigen Pflanzen, deren Wurzeln in diese Bereiche vordringen. In flachen Gewässern kann der Wind das Wasser durchmischen und damit stehen die Nährstoffe für freischwimmende Pflanzen wieder zur Verfügung. Deshalb kommen Lemnaceen vorwiegend in kleinen flachgründigen Gewässern vor. Zu einem gewissen Teil wird aber auch Phosphor von vorhandenen Eisen- und Calciumionen gebunden und steht dann nicht mehr zur Verfügung. Wenn ein Gewässer einen relativ hohen Anteil an reduziertem Eisen aufweist, so entstehen

durch Oxydation des Eisens unter aeroben Bedingungen Eisenphosphate (FePO_4), und es wird dem Gewässer Phosphor entzogen (CHRISTEN 1959).

Es sind also nicht nur Pflanzen, die zu einer gewissen Phosphorarmut des Gewässers führen. Diese kann auch dadurch entstehen, dass die Nährstoffe in die Kreisläufe des Gewässerökosystems miteinbezogen und anderweitig verbraucht werden. Dasselbe gilt auch für die anderen, in dieser Arbeit untersuchten Nährstoffe, die in unserem Fall keine so entscheidende Rolle spielen wie der Phosphor, der in Gewässerökosystemen schnell als limitierender Faktor wirkt. So steht Stickstoff in bedeutend grösseren Mengen zur Verfügung (SCHWOERBEL 1977). Die übrigen hier untersuchten Nährstoffe (K, Ca, Mg, Na) sind für das Wachstum der Pflanzen wichtig, scheinen aber in den beobachteten Gewässern in genügender Menge vorhanden zu sein, resp. werden fortlaufend nachgeliefert. Es sind dies auch die Nährstoffe, die keinen so grossen Fluktuationen unterworfen sind wie Stickstoff und Phosphor. Sie sind in der vorliegenden Arbeit nicht von spezieller Bedeutung, obwohl die einzelnen Arten auch bezüglich des Kaliums, Calciums und Magnesiums gewisse Eigenheiten aufweisen. So konnte z.B. *L. gibba* beim Kalium unterhalb eines Mittelwertes von 2.59 mg K/l nicht mehr gefunden werden. *L. minor* andererseits kann in Gewässer mit einem Minimalwert von 0.88 mg K/l vordringen. Die übrigen drei untersuchten Arten sind in Gewässern mit Konzentrationen unterhalb 1.32-1.99 mg K/l nicht mehr anzutreffen (Tab. 20). Beim Calcium ist es vor allem *L. trisulca*, die relativ tiefe Konzentrationen meidet, gefolgt von *L. gibba*, *S. polyrrhiza*, *L. minuscula* und *L. minor*. Letztere dringt wiederum in Gewässer mit niederen Ca-Konzentrationen vor. Beim Magnesium zeigen *L. gibba* und *L. trisulca* gewisse Unterschiede zu den drei übrigen Arten. Sie sind in unseren Untersuchungen nicht in Gewässern mit tiefen Mg-Werten (4.6 mg Mg/l) zu finden. Das stimmt, was *L. gibba* betrifft, mit den Beobachtungen von LANDOLT und WILDI (1977) überein.

Das Verhalten gegenüber den angebotenen Nährstoffen P, N, K, Ca und Mg ist bei *S. polyrrhiza* und *L. minor* ausgesprochen ähnlich. Dies konnte für P und N auch bei den Wachstumsversuchen gezeigt werden, wo, abgesehen von der Höhe der Wachstumsraten und dem Minimalwachstum die beiden Arten ähnlich reagierten. *L. minor* und *L. minuscula* zeigen sowohl in den Feldversuchen wie in den Laboruntersuchungen, dass sie tiefe und hohe N- und P-Kon-

zentrationen relativ gut ertragen. Sie sind deshalb in unseren Breitengraden mehr oder weniger überall, wo es das Klima erlaubt, anzutreffen. Im Gegensatz dazu stellen die übrigen Arten im Feld andere Ansprüche an ein Gewässer. *S. polyrrhiza* z.B. meidet sommertühe Gebiete, hat aber in bezug auf das Nährstoffangebot ein breites Spektrum (LANDOLT und WILDI 1977), was aus den vorliegenden Untersuchungen ebenfalls hervorgeht.

L. trisulca unterscheidet sich von den übrigen Arten in der submersen Lebensweise (LANDOLT 1957) und darin, dass sie warme Gebiete eher meidet. Deshalb konnte sie in unseren Untersuchungen in der Poebene nicht beobachtet werden. Sie ist in bezug auf die Nährstoffe K, Ca und Mg der *L. gibba* am ähnlichsten. Sie kann aber tiefere Stickstoff- und Phosphorwerte in den Gewässern ertragen. Diese Art wurde in der vorliegenden Arbeit im Labor nicht untersucht, da sie in der von uns verwendeten Nährlösung nur sehr langsam wächst.

Das Minimalwachstum von *L. gibba*, untersucht im Labor, ist in höheren Phosphatkonzentrationen zu finden als das von *L. minor* und *L. minuscula*, d.h. auch in der Klimakammer stellt *L. gibba* gewisse Ansprüche an einen bestimmten Phosphorgehalt. Aehnlich in dieser Beziehung ist *S. polyrrhiza*, die bei der gleichen Konzentrationsstufe (0.017 mg P/l) minimales Wachstum aufweist. Ein direkter Vergleich zu dieser Art kann nicht gemacht werden, da diese unter schlechten Bedingungen Turionen bildet und dann das Wachstum mehr oder weniger ganz einstellt. Im Feld aber ist *S. polyrrhiza* in tieferen P-Konzentrationen (0.007 mg/l) beobachtet worden, da sie zeitweise schlechte Bedingungen in Form von Turionen auf dem Grund des Gewässers überdauern kann.

Da wir in den Felduntersuchungen die Verbreitung von *L. gibba* nur randlich tangiert haben, ist es schwierig, definitive Aussagen über ihr Vorkommen zu machen. Wirft man aber einen Blick auf die anderweitig gemachten Untersuchungen (POTT 1981, WIEGLEB 1978), so sieht man, dass diese Art tatsächlich nährstoffreiche Gewässer bevorzugt, vor allem betrifft dies wie in der vorliegenden Arbeit den Phosphor und Stickstoff.

Wie wir anhand der Laboruntersuchungen feststellen konnten, können die vier Arten in relativ hohen P- und N-Konzentrationen gut gedeihen, sogar in Konzentrationen, die während unseren Beobachtungen im Feld nie fest-

gestellt werden konnten. Das bedeutet, dass es nach oben in bezug auf Stickstoff und Phosphor in den untersuchten Gewässern keine Grenzwerte gibt. Was die übrigen Nährstoffe anbelangt, konnten andere Autoren Lemnaceen in weit höher konzentrierten Gewässern beobachten, als dies bei uns der Fall war (LANDOLT und WILDI 1977).

Auf Grund der vorausgegangenen Feststellungen sieht man, dass sich Lemnaceen, in erster Linie *L. gibba*, als Indikatoren eutropher Gewässer eignen würden, was POTT (1981) ebenfalls gezeigt hat.

Wie schon erwähnt, sind es nicht nur die geringen Nährstoffkonzentrationen, die limitierend auf das Wachstum von Pflanzen, im speziellen von Lemnaceen, wirken. Es können auch andere ökologische Faktoren eine gewisse Rolle spielen. So z.B. das Klima (LANDOLT 1982), die Luft-, Wassertemperatur und Sonnenscheindauer (REJMÁNKOVÁ 1973), Beschattung, oberflächliche Wasserruhe, Wassertemperatur und Wasserchemie (PASSARGE 1978), Stärke und Richtung des Windes, starke Fließgeschwindigkeit und Wellengang (HILBIG 1971). Des weiteren können auch biotische Faktoren wie Bakterien, Algen, Fische und Vögel, denen Lemnaceen als Nahrung dienen, das Vorkommen respektive das Aufkommen verhindern. Lemnaceen können ebenfalls durch Störung des ökologischen Gleichgewichtes aus einem seit längerer Zeit besiedelten Gewässer verschwinden. KLOSE (1963) hat entsprechende Beobachtungen an einem Teich gemacht, dessen Wasserlinsenbesatz für Fütterungszwecke verwendet wurde und durch dieses Vorgehen entsprechend dezimiert wurde. Dadurch entstand eine neue Nische für andere Lebewesen. Im vorliegenden Fall war das ökologische Gleichgewicht derart gestört, dass für längere Zeit keine Lemnaceen mehr beobachtet werden konnten. Ein Feuerwehrteich, der über mehrere Jahre mit *L. minor* vollständig bedeckt war, wurde einmal während einem Winter abgelassen und ausgebaggert; in der Folge konnten keine Lemnaceen mehr beobachtet werden (eigene Beobachtungen). Weitere Untersuchungen zeigten, dass Gewässer, die während der Vegetationsperiode immer total mit Lemnaceen bedeckt waren und im Winter sogar zufroren, auch in den darauffolgenden Jahren innerhalb kürzester Zeit wieder eine dichte Decke ausbildeten. Im Gegensatz dazu konnten nie Gewässer mit geringer Lemnaceenbesiedlung beobachtet werden, die im darauffolgenden Jahr oder während der Vegetationsperiode eine höhere Deckung aufwiesen. Es scheint so, als ob die Lemnaceen durch die Bildung einer dichten Decke, die ein ganzes Gewässer bedeckt,

eine höhere Konkurrenzkraft entwickeln und dass solche Gewässer schon über lange Zeit von diesen Lemnaceen besiedelt sind. Dies würde bedeuten, dass es eine gewisse Zeit braucht, bis sich Lemnaceen in einem Gewässer so weit etablieren können, dass sie ganze Decken bilden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit sind Wasserpflanzen relativ grossen Fluktuationen, abhängig vom Wasserchemismus, Wind usw., unterworfen. Während der drei Untersuchungsjahre konnten zwar in den von uns beobachteten Gewässern keine speziellen Veränderungen festgestellt werden. Nicht oder nur schwach besiedelte Gewässer wurden nicht stärker besiedelt, ebenso konnte mit Ausnahme des erwähnten Feuerwehrteiches, der nicht zu den Untersuchungsgebieten zählte, auch keine Abnahme der Pflanzen in stark besiedelten Gewässern beobachtet werden. Es sind Fälle bekannt, wo sich Lemnaceen, vor allem wenn mehrere Arten in einem Tümpel vorkommen, über 100 Jahre halten konnten (LANDOLT mündlich, Belege aus Herbarmaterial).

Untersuchungen von HARVEY und FOX (1973) und CULLEY (1976) haben gezeigt, dass Lemnaceen sehr gut geeignet sind, Abwässer zu reinigen, weil sie innerhalb kurzer Zeit (10 Tage) den Gewässern relativ hohe N- und P-Gehalte entziehen können: bis zu 86.5 % totaler Stickstoff, bis zu 39 % Nitrat, und bis zu 67 % Phosphor. Untersuchungen innerhalb der Pflanzen ergaben einen Gehalt von 4.6 % Stickstoff und 0.8 % Phosphor (im getrockneten Material).

Die Lemnaceenproduktivität während eines Sommers (Vegetationsperiode) beträgt 30-40 t/ha; dies genügt, um 600-800 Hühner während dieser Zeit zu ernähren. Die gleichen Autoren (HARVEY und FOX 1973) zeigten auch, dass rund 64.5 % des organischen Materials verdaulich sind. Lemnaceen sind reich an Vitamin E, B₁, B₆ und Karotin (MUZAFFAROV et al. 1968).

Aus den vorliegenden Resultaten können für Fütterung und Abwasserreinigung folgende Hinweise gegeben werden:

Bezüglich der Wachstumsrate und dem minimalen Wachstum, abhängig von den Stickstoff- und Phosphatkonzentrationen, würden sich *L. minor* und *L. minuscula* am besten zur Futtermittelverwendung eignen. Zur Abwasserreinigung könnte man am ehesten *L. gibba* heranziehen, die sowohl in der Natur als auch im Labor einen relativ hohen Nährstoffbedarf aufweist.

S. polyrrhiza eignet sich für Futterzwecke nicht besonders, da sie einen

relativ hohen Oxalatgehalt aufweist (LANDOLT, mündlich), ebenso ist sie in kühlen Gebieten nicht speziell für die Abwasserreinigung geeignet, da sie sich nur bei hohen Temperaturen schnell vermehrt. *L. trisulca* kommt wegen ihrer niedrigen Wachstumsrate nur als Beimischung für die Abwasserreinigung in Frage.

Bei uns in Mitteleuropa können diese Pflanzen nur während der Sommermonate als Abwasserreiniger und Futtermittel verwendet werden, da sie im Winter unter natürlichen Bedingungen das Wachstum extrem reduzieren oder sogar ganz einstellen.

Untersuchungen darüber, inwieweit sich eine solche Verwendung in unseren klimatischen Bereichen lohnt, wurden bisher wenige gemacht (Tschechoslowakei, KVÉT mündlich). Untersuchungen in Gebieten, die klimatisch besser geeignet sind, sind z.T. schon abgeschlossen, resp. die Techniken der Ernten, der Verfütterung usw. werden noch verbessert (CULLEY 1976, CULLEY und EPPS 1973, HILLMAN und CULLEY 1978).

Zusammenfassung

Untersuchungen in der Klimakammer: Unter konstanten Bedingungen wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen ($0.69 \cdot 10^{-3}$ - 1356.5 mg P/l und $4.48 \cdot 10^{-3}$ - 1750.0 mg N/l) auf das Wachstum von *S. polyrrhiza*, *L. minor*, *L. minuscula* und *L. gibba* untersucht. Dazu wurden folgende Messgrößen verwendet:

- Wachstumsrate
- Gliedgrösse
- Wurzellänge.

Wachstumsrate: Anhand der Wachstumsrate konnten die Unterschiede sowohl zwischen den Nährstoffkonzentrationen als auch zwischen den Arten am besten aufgezeigt werden. Im Bereich mittlerer bis höherer P- und N-Konzentrationen (P = 0.08-10.9 mg/l, N = 0.56-70.0 mg/l) wachsen alle vier Arten optimal. In minimalen Konzentrationen treten zwischen den Arten Unterschiede auf. Das Wachstum von *L. minuscula* und *L. minor* kann in Konzentrationen, in denen *L. gibba* und *S. polyrrhiza* nur noch reduziert wachsen, als nahezu optimal bezeichnet werden, das heisst *L. minuscula* und *L. minor* ertragen auf die Dauer relativ niedrige P- und N-Konzentrationen. In den höchsten untersuchten Konzentrationen (P = 1356.5 mg/l und N = 1750.0 mg/l) sterben alle Arten während der Anzuchtsphase.

Bezüglich der Gliedgrösse und der Wurzellänge sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Arten hervorgetreten. Sie weisen alle unter

optimalem Wachstum die grösste Gliedgrösse und kurze Wurzeln auf. Sobald das Wachstum reduziert wird, sei das durch zu wenig respektive zu viel Nährstoffgaben, nimmt die Wurzellänge zu und die Gliedgrösse ab.

Felduntersuchungen: Im Schweizerischen Mittelland, der Nordwestschweiz, der nördlichen und südlichen Oberrheinischen Tiefebene (D, F) und in der Poebene (I) wurden 79 sowohl lemnaceenhaltige wie auch lemnaceenfreie Gewässer auf die wichtigsten Nährstoffe ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, o-P, K, Na, Ca, Mg) und die Artenzusammensetzung (*S. polyrrhiza*, *L. aequinoctialis*, *L. minor*, *L. minuscula*, *L. gibba* und *L. trisulca*) untersucht. Anhand der erhaltenen Daten konnte gezeigt werden, dass Phosphor der limitierende Faktor für das Vorkommen von Lemnaceen ist (0.003 mg/l). Unterschiede zwischen den Arten kristallisieren sich bei den wesentlichsten Nährstoffen verschieden heraus (Tab. 20).

Beim Phosphor, Stickstoff, Magnesium und Kalium dringt *L. minor* in die niedrigskonzentrierten Gewässer vor, gefolgt von *S. polyrrhiza*, *L. trisulca* und *L. minuscula*. *L. gibba* ist vorwiegend in nährstoffreichen Gewässern zu beobachten. *L. trisulca* findet man eher in Gewässern mit höheren Calciumkonzentrationen.

Aus den Untersuchungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

L. gibba kann nur in mehr oder weniger nährstoffreichen Gewässern langfristig existieren. Sie kann somit sowohl zur Abwasserreinigung als auch zu Futterzwecken verwendet werden. Ebenfalls kann sie in den ihr entsprechenden Klimazonen als Indikator für eutrophe Gewässer betrachtet werden.

L. minor ist in fast allen untersuchten lemnaceenhaltigen Gewässern beobachtet worden. Sie erträgt neben hohen auch relativ tiefe Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen. Dasselbe gilt auch für *L. minuscula*. *S. polyrrhiza* und *L. trisulca* treten eher in mittleren Bereichen in Erscheinung.

Summary

Laboratory studies: The influence of various concentrations of phosphorus and nitrogen ($0.69 \cdot 10^{-3}$ - 1356.5 mg P/l and $4.48 \cdot 10^{-3}$ - 1750.0 mg N/l) on the growth of *S. polyrrhiza*, *L. minor*, *L. minuscula* and *L. gibba* was tested under controlled climatic conditions. The following data were scored:

- multiplication rate (growth rate)
- frond size
- root length

The multiplication rate proved to be the best criterion for distinguishing between nutrient concentrations as well as between species. Optimal growth in all four species studied was observed at middle to high concentrations of phosphorus and nitrogen ($P = 0.08\text{-}10.9$ mg/l, $N = 0.56\text{-}70.0$ mg/l). On the other hand, differences between particular species were observable at low concentrations: growth rates of *L. minor* and *L. minuscula* still represented nearly optimal values, whereas those of *L. gibba* and *S. polyrrhiza* were distinctly reduced. *L. minor* and *L. minuscula* were apparently able to endure relatively low N- and P-concentrations for a rather long time.

At the highest concentrations ($P = 1356.5 \text{ mg/l}$ and $N = 1750.0 \text{ mg/l}$), all four tested species died during the accommodation phase.

As far as the frond size and the root length are concerned, no special differences occurred among the species studied. Under optimal conditions, large fronds and short roots were observed. As soon as growth was reduced due to too high or too low nutrient concentrations, the roots increased in length and the frond size diminished.

Field studies: In Swiss Midlands, northwestern Switzerland, northern and southern lowlands of the Upper Rhine (F, D) and the lowlands of the Po (I) 79 sites were sampled for water analyses. Places inhabited by duckweeds, as well as those without *Lemnaceae*, were evaluated. Notes on the occurrence of *S. polyrrhiza*, *L. aequinoctialis*, *L. minor*, *L. minuscula*, *L. gibba* and *L. trisulca* were taken. The following elements were studied: $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, o-P , K, Na, Ca, Mg). Phosphorus proved to be the major factor limiting the occurrence of the duckweeds, and over a three-year period was present at an average value of 0.006 mg/l . The species of the *Lemnaceae* studied had different requirements as to the most important elements (Table 20). *L. minor* was found in waters with the lowest concentrations of phosphorus, nitrogen, magnesium and potassium, whereas *S. polyrrhiza*, *L. trisulca* and *L. minuscula* followed, respectively, in waters with increasing amounts of those elements. *L. gibba* was observed in eutrophic waters. *L. trisulca* appeared in waters with rather high concentrations of calcium.

The following conclusions based on this study can be made:

In the long run, *L. gibba* can exist only in waters rich in nutrients; it is, therefore, suitable for waste water treatment and could also serve as animal feed source. It might also be considered as an indicator of eutrophic waters. *L. minor* occurred in nearly all tested waters; this species, as well as *L. minuscula*, apparently has a rather broad tolerance range to high P- and N-concentrations. On the other hand, the occurrence of *S. polyrrhiza* and *L. trisulca* in waters with medium concentrations of these elements, suggests their rather limited tolerance to extreme conditions.

Literaturverzeichnis

- AMADO R., MÜLLER-HIEMEYER R. und MARTI U., 1980: Proteingehalt, Aminosäurezusammensetzung und Neutralzuckergehalt von Lemnaceen (vorläufige Mitteilung). Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 70, 102-117.
- ANDRES J. und SMITH H., 1976: Evidence for a rapid effect of abscisic-acid on amino-acid metabolism in *Lemna*. Plant Sci.Lett. 6(5), 315-318.
- BERCHTOLD W., 1979: Korrespondenzanalyse. Internat. Biometrische Gesellschaft Region Oesterreich-Schweiz. Biometrisches Seminar, Interlaken, 24.-28. Sept. 1979. 25 S.
- BEZEMER-SYBRANDY S.M., 1969: Onderzoeken over cytokinins. Wisselwerking met *Lemna minor* L. Proefschrift, Leiden.

- BIELESKI R.L., 1968: Effect of phosphorus deficiency on levels of phosphorus compounds in *Spirodela*. *Plant Physiol.* 43(8), 1309-1316.
- 1972: Turnover of phospho-lipids in normal and phosphorus deficient *Spirodela oligorrhiza*. *Plant Physiol.* 49(5), 740-745.
 - 1974: Development of an externally located alkaline phosphatase as a response to phosphorus deficiency. *R.Soc.N.Z.Bull.* 12, 165-170.
 - und JOHNSON P.N., 1972: The external location of phosphatase activity in phosphorus deficient *Spirodela oligorrhiza*. *Aust.J. Biol.Sci.* 25(4), 707-720.
- BORNKAMM R., 1965: Die Rolle des Oxalats im Stoffwechsel höherer grüner Pflanzen. Untersuchungen an *Lemna minor* L. *Flora A* 156, 139-171.
- BÖSZÖRMENYI E. und BÖSZÖRMENYI Z., 1957: N and P nutrition and the physiological age of *Lemna minor* L. *Acta Bot.Acad.Sci.Hung.* 3, 1-7.
- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie. 3.Aufl. Springer, Wien. 845 S.
- CHU S.P., 1943: The influence of the animal composition of the medium on the growth of planktonic algae. II. The influence of the concentration of inorganic nitrogen and phosphate phosphorus. *J.Ecol.* 31, 109-148.
- CHRISTEN H.R., 1959: Limnologische Untersuchungen im Hauserseegebiet. *Schweiz.Z.Hydrol.* 21, 19-108.
- CULLEY D.D., 1976: Animal Feed. In: RUSKIN F.R. und SHIPLEY D.W. (Eds.), Making aquatic weeds useful: some perspectives for developing countries. National Academy of Sciences, Washington. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation. Board on Science and Technology for International Development. Commission on International Relations. 175 S. Appendix A: Duckweeds and their uses. 148-150.
- und EPPS E.A., 1973: Use of duckweed for waste treatment and animal feed. *J.Water Pollut.Control Fed.* 45(2), 337-347.
- DANN W., 1982: Vergleich von Klonen verschiedener Herkünfte in ihrem Verhalten gegenüber Stickstoffkonzentrationen und Stickstoffformen am Beispiel von *L. gibba*. Diplomarbeit Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 56 S.
- DAUBS E.H., 1965: A monograph of *Lemnaceae*. *Illinois Biol.Monogr.* 34, The Univ. of Illinois Press, Urbana, 118 S.
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung. Physikalische, chemische, biologische und bakteriologische Verfahren. 7. Lieferung (1975). Chemie, Weinheim/Bergstrasse.
- ELZENGA J.T.M., DE LANGE L., PIETERSE A.H., 1980: Further indications that ethylene is the gibbosity regulator of the *Lemna gibba/Lemna minor* complex in natural waters. *Acta Bot.Neerl.* 29(4-5), 225-229.
- ERICSSON T., LARSSON C.M. und TILLBERG E., 1982: Growth responses of *Lemna* to different levels of nitrogen limitation (*Lemna gibba*, *Lemna minor*, *Lemna paucicostata*). *Z.Pflanzenphysiol.* 105(4), 331-340.
- ERISMANN K.H. und KIRK M.R., 1969: The influence of nitrogen source on metabolic intermediates in steady-state photosynthesis by *Lemna minor* L. *Progress in Photosynthesis Research* 3, 1538-1545.
- EYSTER H.C., 1966: Optimization of the physiological activity (growth rate) of the giant duckweed, *Spirodela polyrrhiza*. Final report. USAF. School of Aerospace Medicine. Brooks Air Force Base, Texas. Contract No. AF 41(609)-2416.
- 1981: Nutrient culture requirements for growth of giant duckweed, *Spirodela polyrrhiza*. *Proc.Int.Bot.Congr.* 13, 168.

- FEKETE A. und RIEMER D.N., 1973: Effects of varying phosphorus concentration on *Lemna minor* L. Proc. Northeastern Weed Sci. Soc., New York, 27, 109-114.
- FELLER U. und ERISMANN K.H., 1973: Wechselwirkungen zwischen Stickstoffquelle und Ionenhaushalt bei *Lemna minor* L. unter Photosynthesebedingungen. Verh. Schweiz. Natf. Ges. 153, 75-79.
- 1976: Influence of ornithine, citrulline and arginine on growth of *Lemna minor* in the presence of ammonium or nitrate. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 86(3-4), 129-135.
- GEISSNER F., 1959: Hydrobotanik. Bd. II: Stoffhaushalt. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin. 701 S.
- GROB E.C. und EICHENBERGER W., 1973: Contributions to nitrogen metabolism in green plants. Part 1: reversible plastid conversion in glucose stimulated cultures of *Spirodela oligorrhiza*. A result of nitrogen deficiency. Experientia 29(4), 398-400.
- HALLER W.T., SUTTON D.L. und BARLOWE W.C., 1974: Effects of salinity on growth of several aquatic macrophytes. Ecology 55, 891-894.
- HARPER J.L., 1977: Population biology of plants. Academic Press, London. 892 S.
- HARVEY R.M. und FOX J.L., 1973: Nutrient removal using *Lemna minor*. J. Water Polut. Control Fed. 45(9), 1928-1938.
- HEGELMAIER F., 1868: Die Lemnaceen. Eine monographische Untersuchung. Engelmann, Leipzig. 169 S.
- 1895: Systematische Uebersicht der Lemnaceen. Bot. Jahrb. 21, 268-305.
- HENSSSEN A., 1954: Die Dauerorgane von *Spirodela polyrrhiza* L. in physiologischer Betrachtung. Flora 141, 523-566.
- HICKS L.E., 1932: Ranges of pH tolerance of the Lemnaceae. Ohio J. Sci. 32, 237-244.
- HILBIG W., 1971: Uebersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. I. Die Wasserpflanzengesellschaften. Hercynia N. F. 8, 4-33.
- HILLMAN W.S., 1961: The Lemnaceae or duckweeds: a review of the descriptive and experimental literature. Bot. Rev. 27, 221-287.
- 1976: Calibrating duckweeds: light, clocks, metabolism, flowering. Science 193, 453-458.
- and CULLEY D.D., 1978: The uses of duckweed. Am. Sci. 66(4), 442-451.
- und LAMM S.S., 1981: Occurrence and reversal in *Lemna paucicostata* 6612 of a condition that prevents nitrate utilization. Plant Sci. Lett. 20(4), 325-331.
- HOLST R.W. und YOPP J.H., 1979: Comparative utilization of inorganic and organic compounds as sole nitrogen sources by the submergent duckweed *Lemna trisulca* L. (aquatic plant, development physiology). Biol. plant. 21(4), 245-252.
- HUBALD M. und AUGSTEN H., 1977: The ultrastructure of duckweed chloroplasts (*Lemna gibba* L G1) influenced by glycine and deficiency conditions. Acta Biol. Med. Exp. 2(2), 61-64.
- 1979: Relationship between light-dark cycles and nitrate reductase activity in *Wolffia arrhiza* Wimm. Biochem. Physiol. Pflanz. 174(7), 555-561.
- HUMPHREY T.J., SARAEK S. und DAVIES D.D., 1977: The effect of nitrogen deficiency on the growth and metabolism of *Lemna minor* L. Planta 137(3), 259-264.

- HUTNER S.H., 1953: Comparative physiology of heterotrophic growth. In: LOOMIS W.E., Growth and differentiation in plants. Iowa State Coll. Press. 417-446.
- JACOBS D.L., 1947: An ecological life history of *Spirodela polyrrhiza* (greater duckweed) with emphasis on the turion phase. Ecol.Monogr. 17, 437-469.
- JUNGNICKEL F., 1978: Phosphatbedarf und Mangelsymptome bei einigen axenisch kultivierten Lemnaceen. Limnologica 11(2), 469-478.
- KANDELER R., 1961: Lemnaceen als Forschungsobjekt. Ber.Physik.-Med.Ges. Würzburg, NF 70, 81-86.
- (im Druck): *Lemnaceae*. In: HALEVY A.H. (Ed.), Handbook on flowering. CRC Press, Boca Raton, Fl.USA.
- und HELDWEIN R., 1979: Significance of photosynthesis, nitrogen-deficiency, ABA and pH for synthesis of malate in *Lemna*. Proc. Conf.Phytosynth.Plant Dev., 103-110.
- KEDDY A., 1976: Lakes as islands: the distribution ecology of the aquatic plants *Lemna minor* L. and *L. trisulca* L. Ecology 57, 353-359.
- KERN H. und NAEF-ROTH S., 1975: Zur Bildung von Auxinen und Cytokininen durch *Taphrina*-Arten. Phytopathol.Z. 83, 193-222.
- KLOSE H., 1963: Zur Limnologie von *Lemna*-Gewässern. Wiss.Z. Univ.Leipzig, Math.-Naturw.Reihe 12, 233-259.
- KOCH W., 1952: Zur Flora der oberitalienischen Reisfelder. Ber.Schweiz. Bot.Ges. 62, 627-663.
- 1954: Pflanzensoziologische Skizzen aus den Reisfeld-Gebieten des Piemont (Po-Ebene). Vegetatio 5-6, 487-493.
- KREBS Ch.J., 1972: Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row, New York/Evanston/San Francisco/London. 694 S.
- LANDOLT E., 1957: Physiologische und ökologische Untersuchungen an *Lemnaceae*. Ber.Schweiz.Bot.Ges. 67, 217-410.
- 1975: Morphological differentiation and geographical distribution of the *Lemna gibba*-*Lemna minor* group. Aquat.Bot. 1(4), 345-363.
- 1980: Biosystematic investigations in the family of duckweeds (*Lemnaceae*). Band 1. Key to determination of taxa within the family of *Lemnaceae*. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 70, 13-21.
- 1982: Distribution pattern and ecophysiological characteristics of the European species of the *Lemnaceae*. Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 49, 127-145.
- (in Vorb.): Biosystematic investigations in the family of duckweeds (*Lemnaceae*). Band 2. The family of Lemnaceae - a monographical study. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 71.
- und WILDI O., 1977: Ökologische Untersuchungen bei Wasserlinsen (*Lemnaceae*) in den südwestlichen Staaten der USA. Ber.Geobot. Inst.ETH, Stiftung Rübel 44, 104-146.
- DE LANGE L. und SEGAL S., 1968: On the difference between the ecology of *Lemna minor* and *Lemna gibba*. Gorteria 4(1), 5-12.
- LARCHER W., 1976: Ökologie der Pflanzen. 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart. 320 S.
- LASSOCINSKI W., 1982: Substrate specificity of ribonucleases of phosphate-supplied and phosphate-deficient *Spirodela*. Biochem.Physiол. Pflanz. 177(2), 125-136.

- LEHMAN P.W., SILK W.K. und KNIGHT A.W., 1981: Protein and nitrate content in *Lemna* sp. as a function of developmental stage and incubation temperature. *Plant Physiol.* 68(1), 127-132.
- LÜÖND A., 1980: Effects of nitrogen and phosphorus upon the growth of some *Lemnaceae*. *Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel,* 70, 118-141.
- MACKENTHUN C.M., 1968: The phosphorus problem. *J.Amer.Water Works Ass.* 60, 1047-1054.
- MC LAY C.L., 1976: The effect of pH on the population growth of three species of duckweed: *Spirodela oligorrhiza*, *Lemna minor* and *Wolffia arrhiza*. *Freshwater Biol.* 6(2), 125-136.
- MELZER A., 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes Oberbayrischer Seen. *Diss.Bot.* 34, Cramer, Vaduz. 195 S.
- MENGEL K., 1979: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 5.Aufl. Fischer, Jena. 466 S.
- MOTHEIS G., 1974: Phosphatbestimmungen im Pelagial des Stechlinsees (1970-1971). *Limnologica (Berlin)* 9(2), 157-169.
- MUZAFFAROV A.M., TAUBAEV T. und ABDIEV M., 1968: Use of lesser duckweed *Lemna minor* in poultry feeding. *Uzb.Biol.Zh* 12(3), 44-46.
- PASSARGE H., 1978: Zur Syntaxonomie mitteleuropäischer *Lemnetea*-Gesellschaften. *Folia Geobot. Phytotax.* 13, 1-17.
- PETERS R.H. und RIEGLER F.H., 1973: Phosphorus release by *Daphnia*. *Limnol. Oceanogr.* 18, 821-839.
- PHILIPPI G., 1971: Beiträge zur Flora der nordbadischen Rheinebene und der angrenzenden Gebiete. *Beitr.naturk.Forsch.Südw.Dtl.* 30(1), 9-47.
- 1980: Die Vegetation des Altrheins Kleiner Bodensee bei Karlsruhe. *Beitr.naturk.Forsch.Südw.Dtl.* 39, 71-114.
- PIRSON A. und GÖLLNER E., 1953: Zellphysiologische Untersuchungen an der Lemnawurzel bei verminderter Nitrat- und Phosphatversorgung. *Z.Bot.* 41, 147-176.
- POTT R., 1980: Die Wasser- und Sumpfvegetation eutropher Gewässer in der westfälischen Bucht. Pflanzensoziologische und hydrochemische Untersuchungen. *Abh.Landesmus.Naturk.Münster* 42(2), 156 S.
- 1981: Oekologie und Indikatorwert von Wasserpflanzengesellschaften. *Mitt.Landesanst.Oekologie, Landschaftsentw. u.Forstpl. Nordrhein-Westfalen, Sonderheft Landestagungen* 1980, 57-64.
- REID M.S. und BIELESKI R.L., 1970: Response of *Spirodela oligorrhiza* to phosphorus deficiency. *Plant Physiol.* 46(4), 609-613.
- REJMANKOVA E., 1973: Seasonal changes in the growth rate of duckweed community *Lemnetum-Gibbae*. *Folia Geobot.Phytotaxon* 8(1), 1-13.
- SAWYER C.N., 1947: Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. *J.NENWA* 61, 109.
- SCHEINER O., PITTMER F., BOLLMANN O. und KANDELER R., 1978: Effect of nitrogen deficiency and other factors on phytic acid accumulation in *Lemna gibba* G1. *Z.Pflanzenphysiol.* 88(4), 295-303.
- SCHWOERBEL J., 1977: Einführung in die Limnologie. 3.Aufl. UTB. Fischer, Stuttgart. 191 S.
- SHAPIRO J., 1970: A statement on phosphorus. *J.Water Pollut.Contr.Fed.* 42, 772-775.
- STEPHENSON M., TURNER G., POPE P., COLT J., KNIGHT A. und TCHOBANOGLOUS G., 1980: The use and potential of aquatic species for wastewater treatment. Appendix A: The environmental requirements of aquatic plants. *California State Water Res.Contr.Board* 65, 654 S.

- THOMSON W.W. und WEIER T.E., 1962: An electron microscope study of chloroplasts from leaves deficient in nitrogen, phosphorus, magnesium, potassium and zinc. *Plant Physiol.* 37(11), xl.
- ULLRICH-EBERIUS C.I., NOVACKY A., FISCHER E. und LUETTGE U., 1981: Relationship between energy-dependent phosphate uptake and the electrical membrane potential in *Lemna gibba* G1. *Plant Physiol.* 67(4), 797-801.
- URBANSKA-WORYTKIEWICZ K., 1980: Cytological variation within the family of *Lemnaceae*. *Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel*, 70, 30-101.
- VOGLER P., 1965: Beiträge zur Phosphatanalytik in der Limnologie. II. Die Bestimmung des gelösten Orthophosphates. *Fortschr.Wasserchem. Grenzgeb.* 2, 109-119.
- WAGNER R., 1969: Neue Aspekte zur Stickstoffanalytik in der Wasserchemie. *Vom Wasser* 36, 263-318.
- WALTER H. und LIETH H., 1960-1967: Klimadiagramm-Weltatlas. Fischer, Jena.
- WHITE H.L., 1937a: The interaction of factors in the growth of *Lemna*. XI. Nitrogen and light intensity in relation to growth and assimilation. *Ann.Bot.* 1, 623-648.
- 1937b: The interaction of factors in the growth of *Lemna*. XII. Nitrogen and light intensity in relation to root length. *Ann.Bot.* 1, 649-654.
- WIEGLEB G., 1978: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen hydrochemischen Umweltfaktoren und Makrophytenvegetation in stehenden Gewässern. *Arch.Hydrobiol.* 83, 443-484.
- ZIMMERMANN A., 1981: Einfluss von Calcium und Magnesium auf das Wachstum von mitteleuropäischen Lemnaceen-Arten. *Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel*, 48, 120-160.

KARTENMATERIAL:

- Carte géologique de la France, 1:50'000 (mit Erläuterungen)
- | | |
|-------------------|------|
| Colmar-Artolsheim | 1972 |
| Strasbourg | 1958 |
| Altkirch-Huningue | 1958 |
| Neuf-Brisach | 1969 |
- Carta geologica d'Italia, 1:25'000
- | | |
|-------------|------|
| Pavia | 1961 |
| Piacenza | 1959 |
| Alessandria | 1961 |
| Vercelli | 1952 |
- Geologische Schulkarte von Baden-Württemberg mit den angrenzenden Gebieten.
(Uebersichtskarte 1:600'000). Herausgegeben vom Geologischen Landesamt in Baden-Württemberg. Nachdruck 1972.
- Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000
- | | |
|--|------------------------------|
| HOFMANN F. | 1967: Andelfingen Blatt 1052 |
| LINIGER H. | 1970: Bonfol Blatt 1065 |
| Kommissionsverlag Kümmerly und Frey, Geogr. Verlag, Bern | |
- Geologische Karte des Tafeljura zwischen Aare und Rhein.
- | | |
|----------|----------|
| BADER F. | 1922/24. |
|----------|----------|