

<b>Zeitschrift:</b>	Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich
<b>Herausgeber:</b>	Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)
<b>Band:</b>	80 (1983)
<b>Artikel:</b>	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
<b>Autor:</b>	Lüönd, Annamaria
<b>Kapitel:</b>	3: Ergebnisse
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-308709">https://doi.org/10.5169/seals-308709</a>

### 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:** 31.01.2026

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

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					

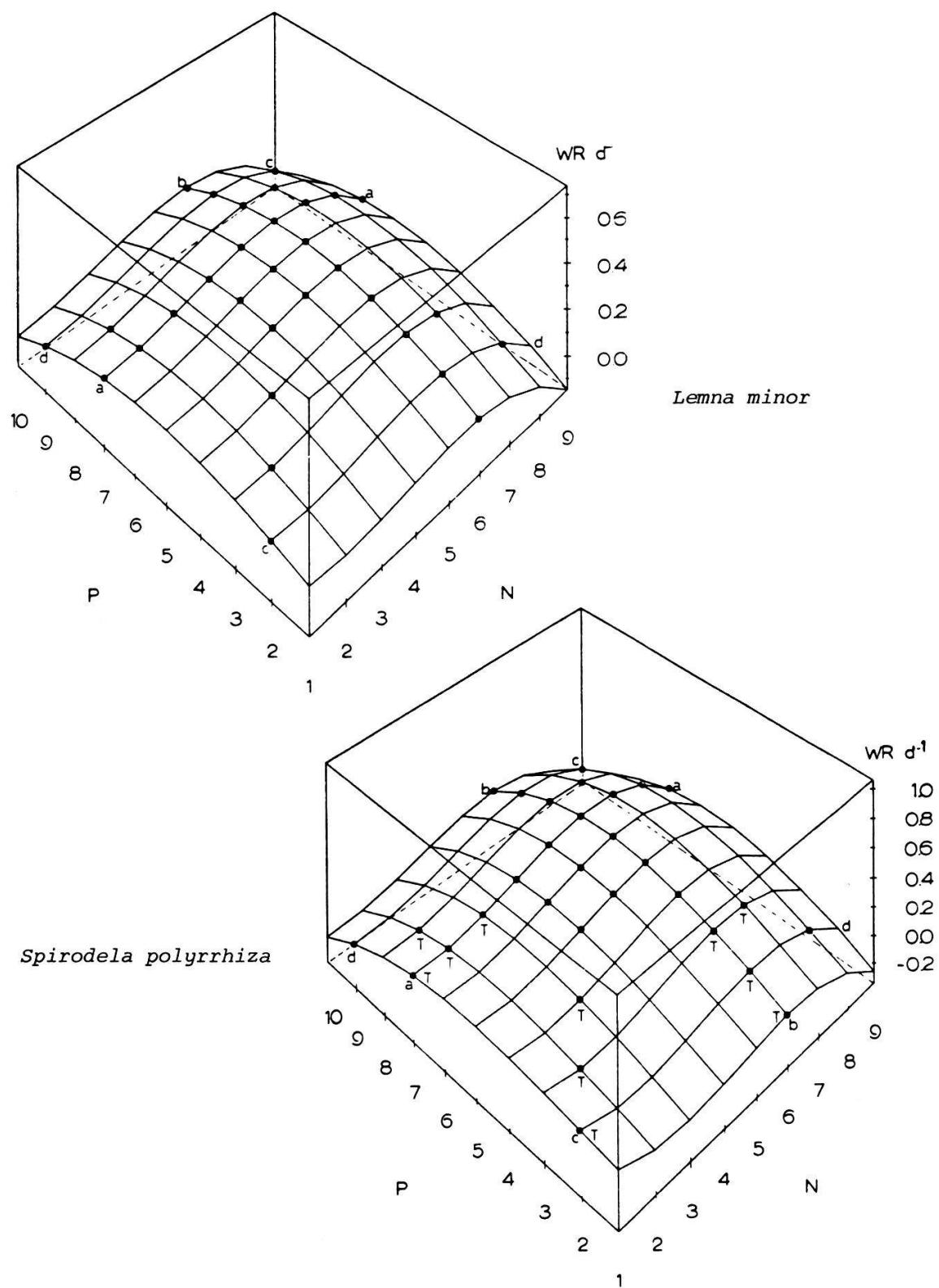
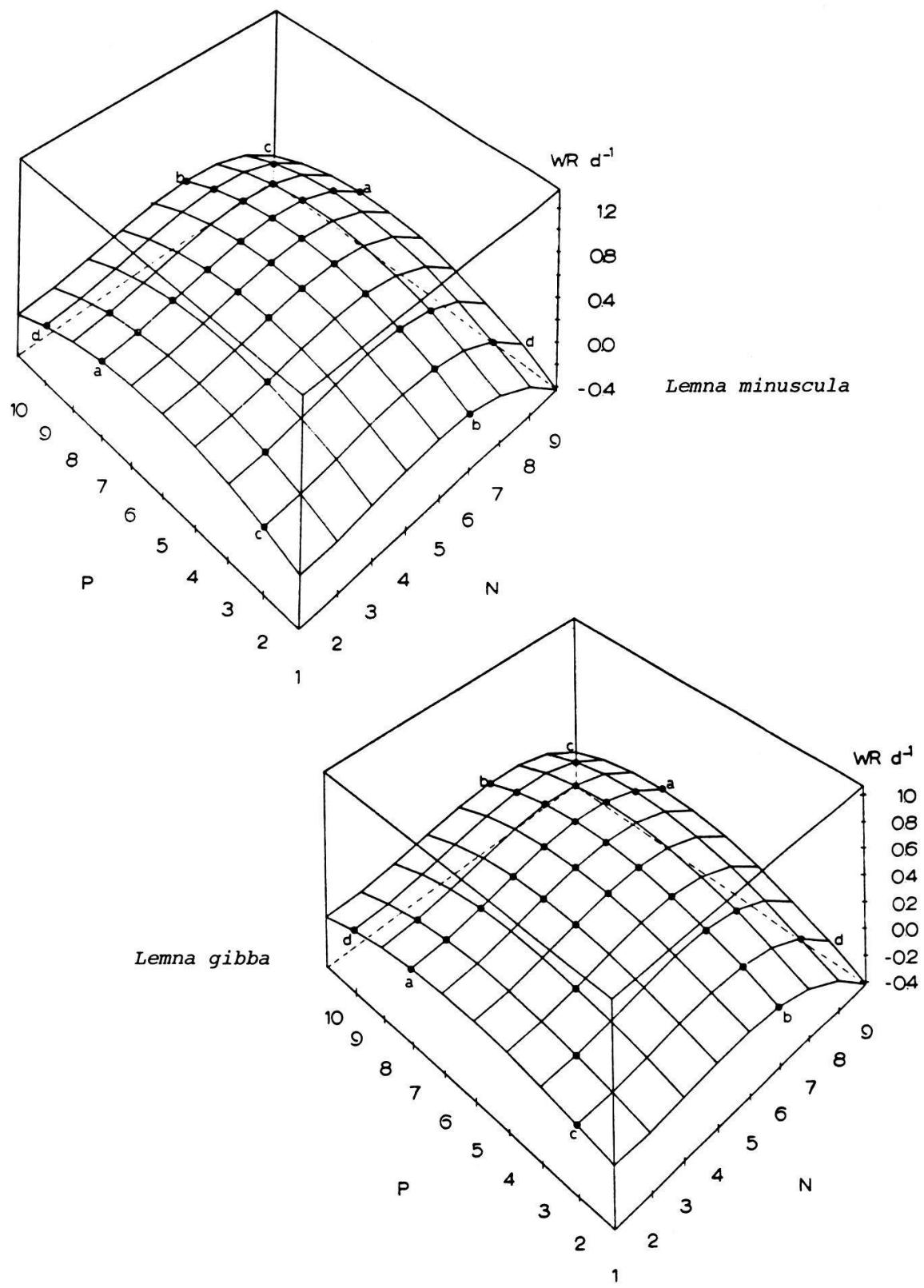


Abb. 7. Wachstumsraten (WR), berechnet, abhängig von Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Konzentrationen

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*

	Wachstumsrate	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  $P =$

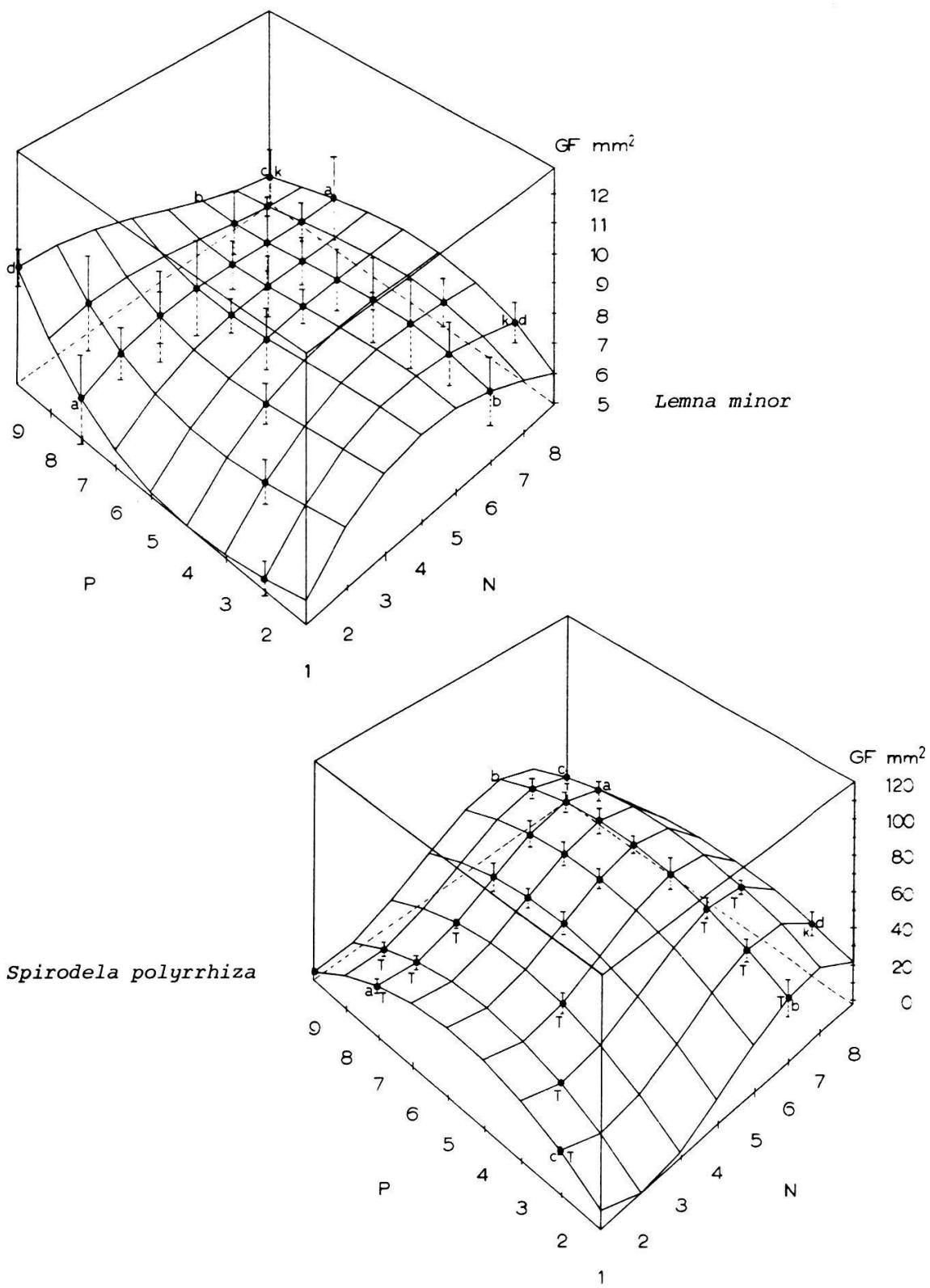
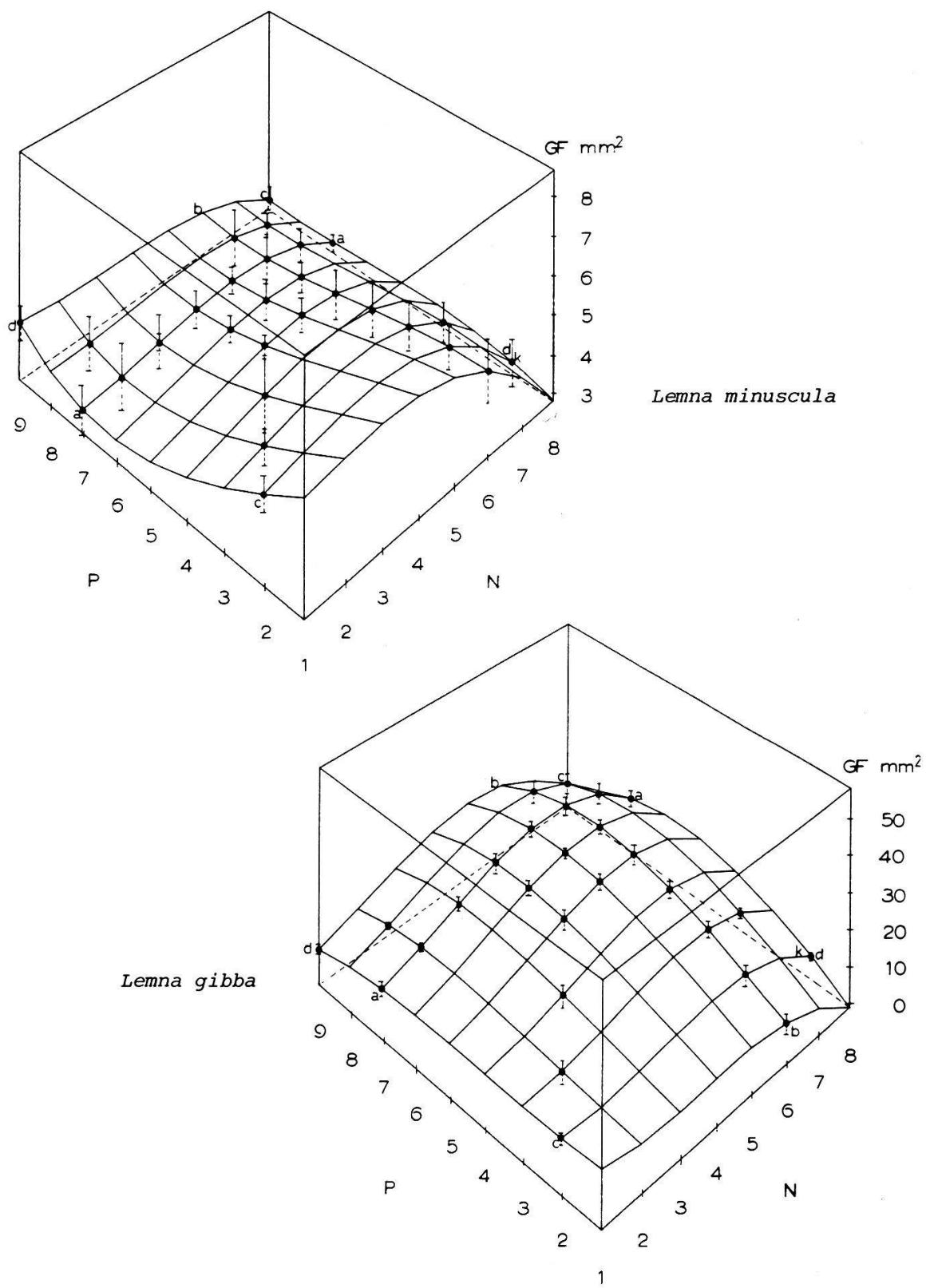


Abb. 8. Gliedflächen (GF), berechnet, abhängig von Stickstoff- (N) - und Phosphor- (P) -Konzentrationen

*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
<b>Versuchsreihe a-a</b>				
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (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
<b>Versuchsreihe b-b</b>				
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (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.
<b>Versuchsreihe d-d</b>				
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

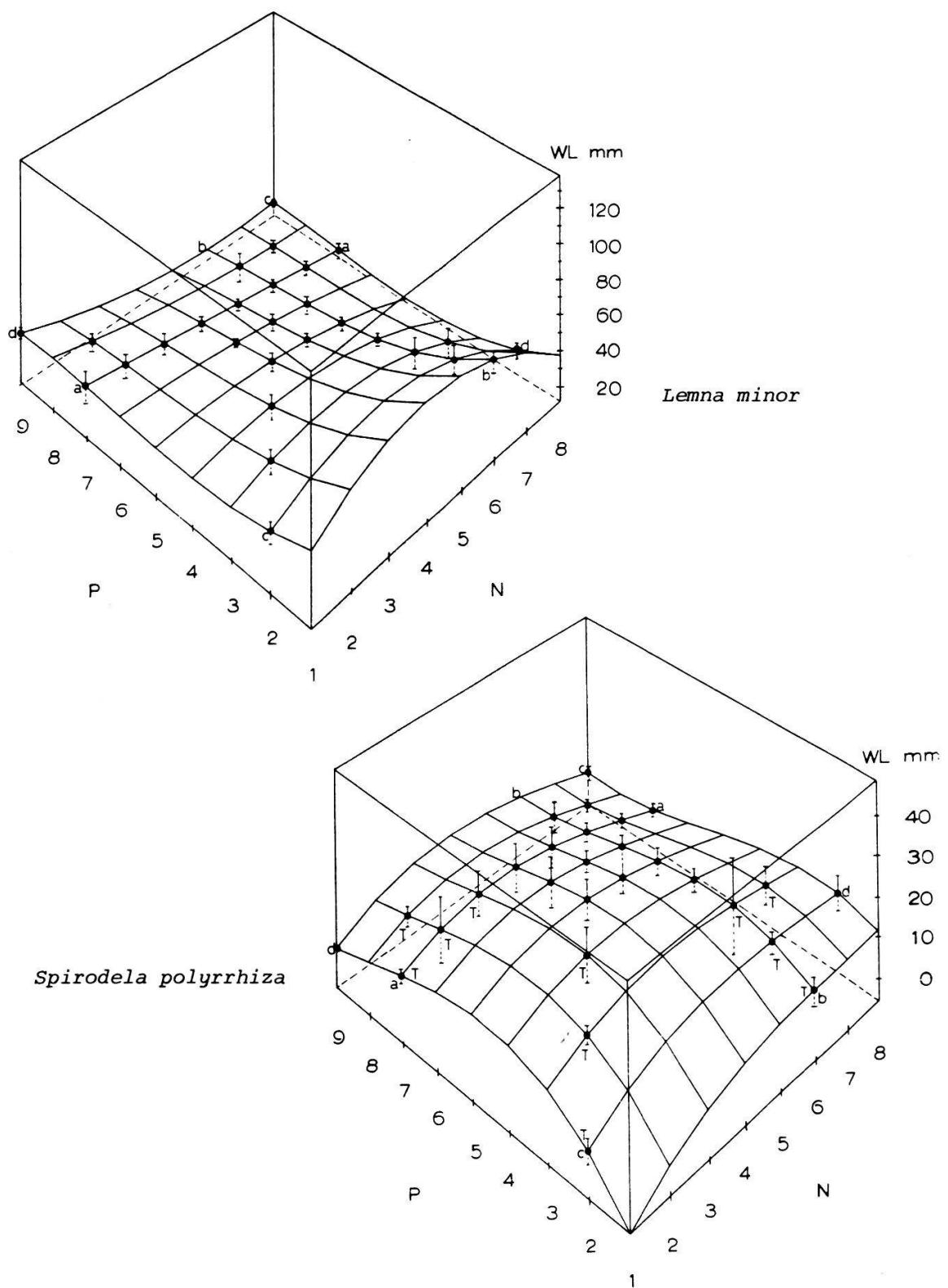
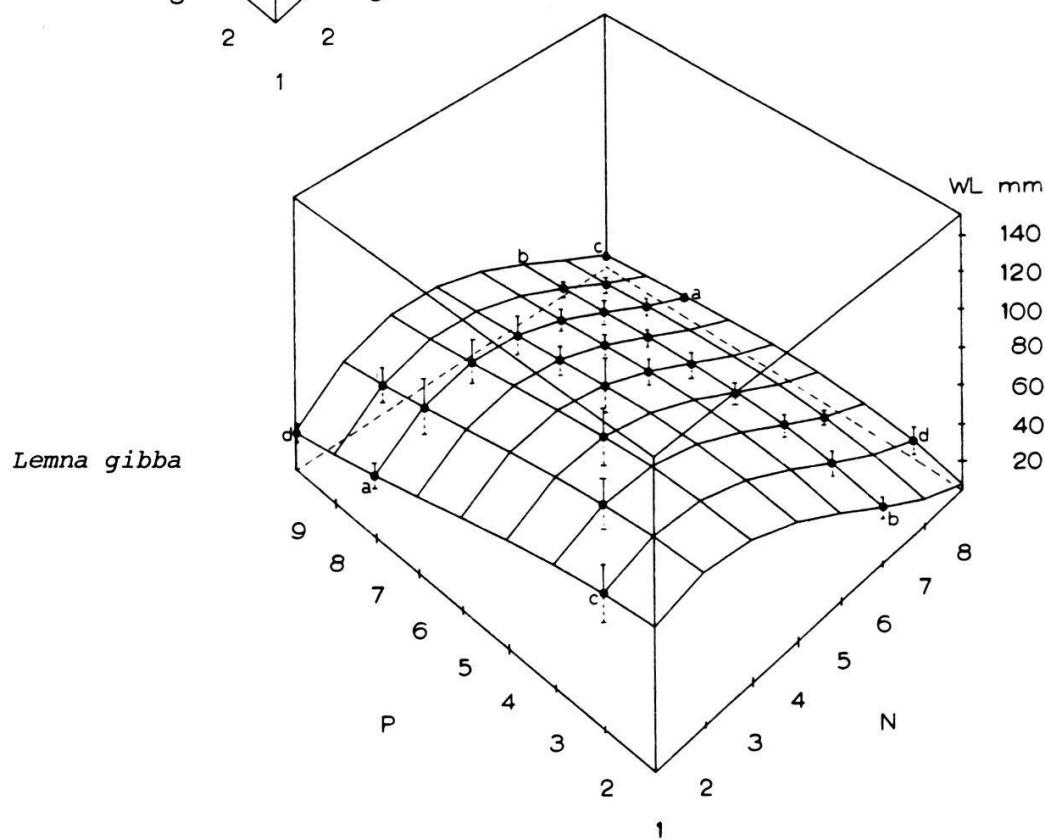
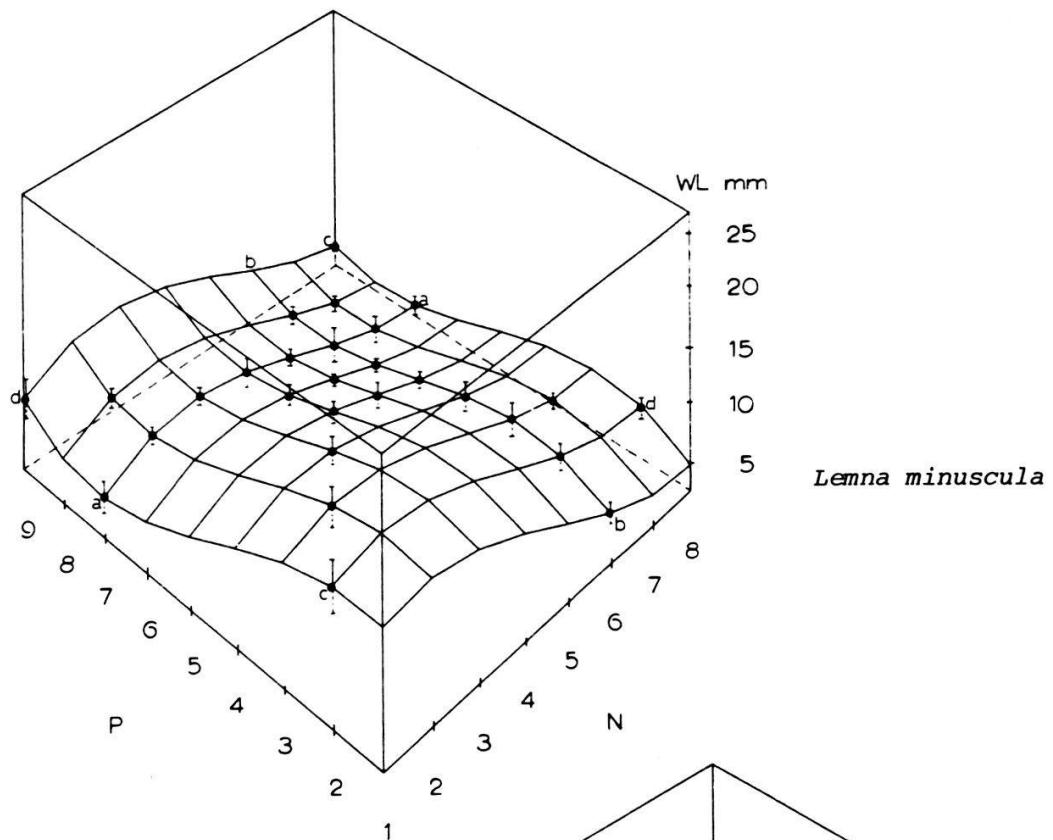


Abb. 9. Wurzellängen (WL), berechnet, abhängig von Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Konzentrationen

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*

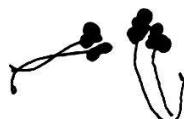
N P  
8 9



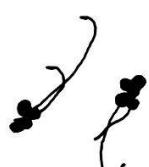
7 8



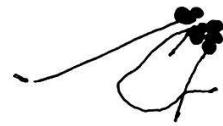
6 7



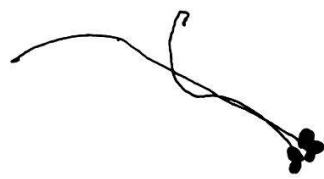
5 6



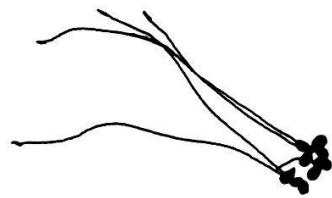
4 5



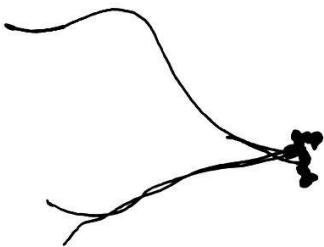
3 4



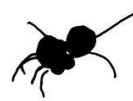
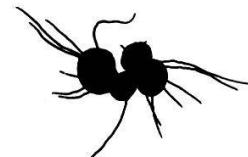
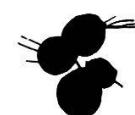
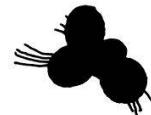
2 3



1 2



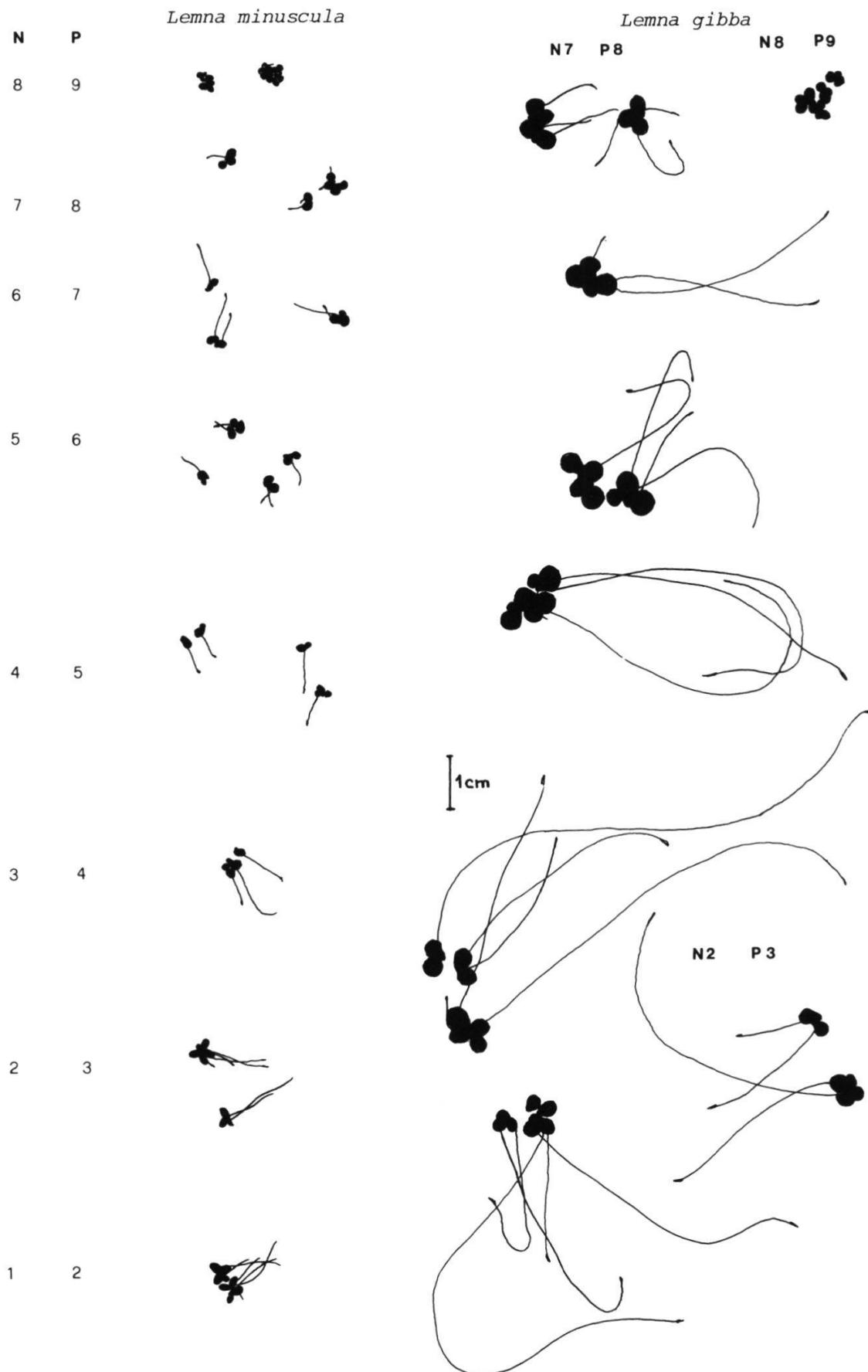
*Spirodela polyrrhiza*



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  $\text{NO}_3^-$  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.

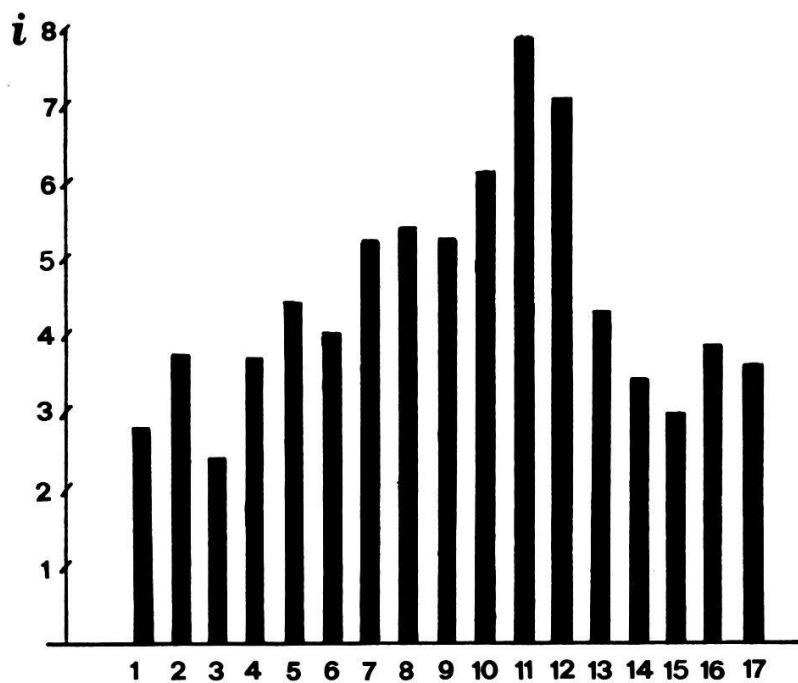


Abb. 11. Martonn'scher Ariditätsfaktor der Untersuchungsgebiete

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

*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 Nährelemente 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

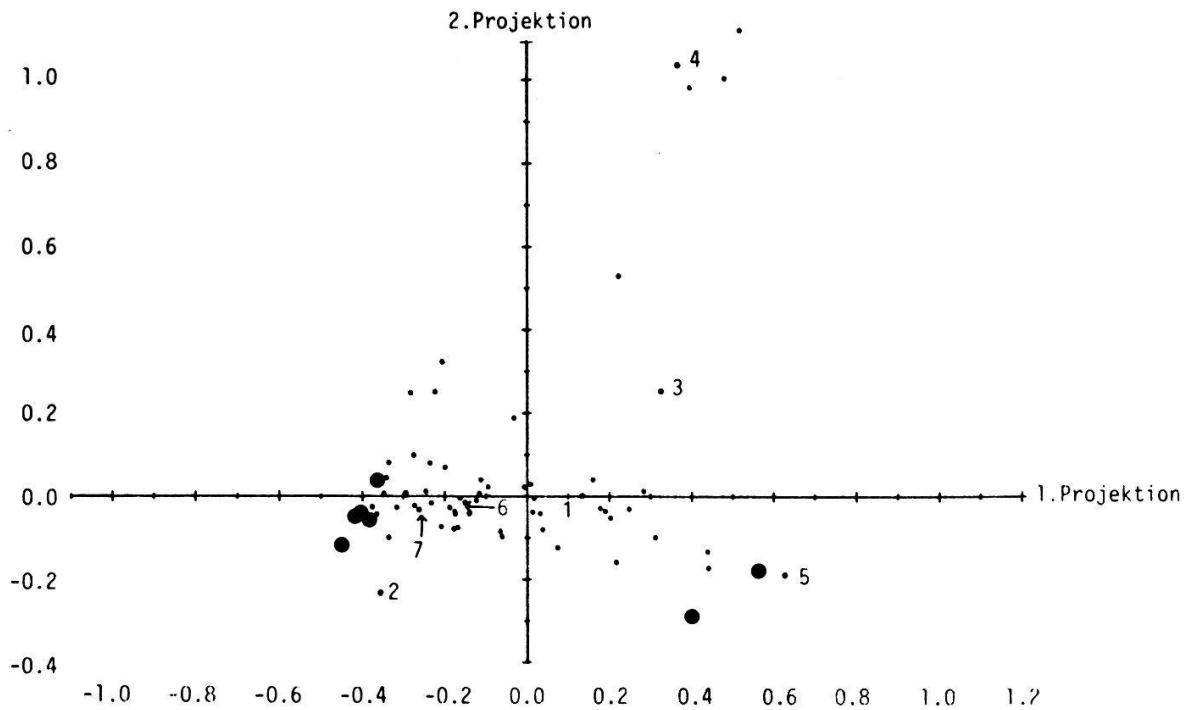
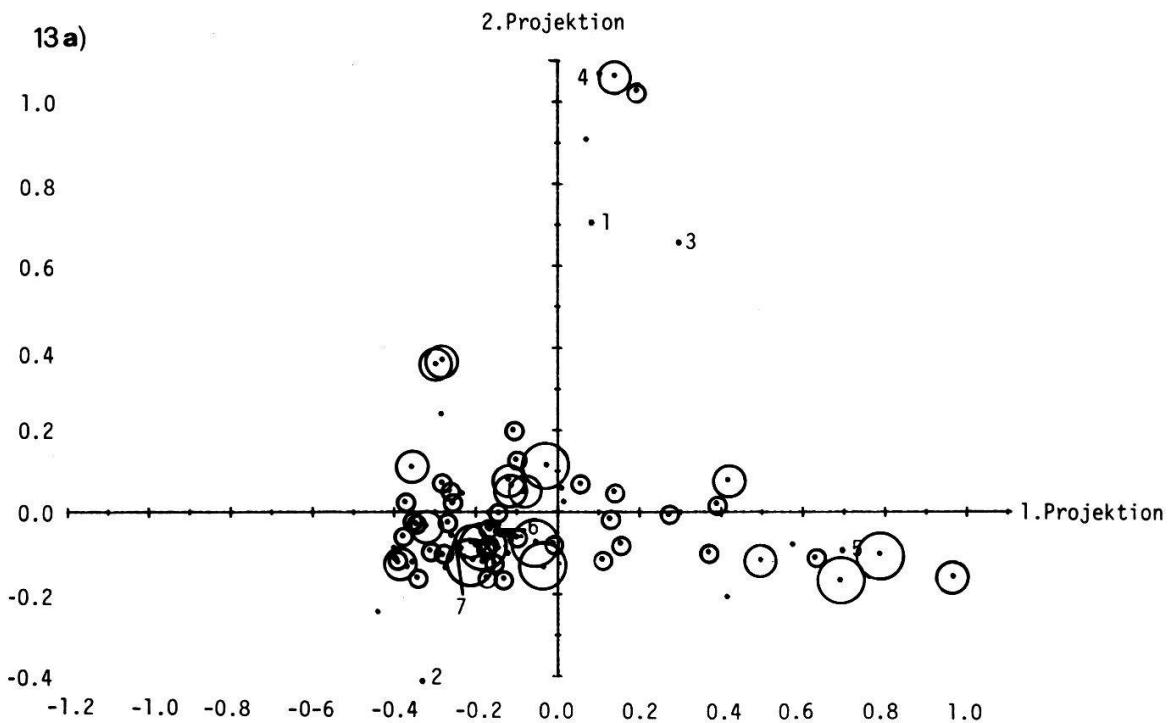


Abb. 12. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980, Gewässer ohne Lemnaceen (●).

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 (●)*



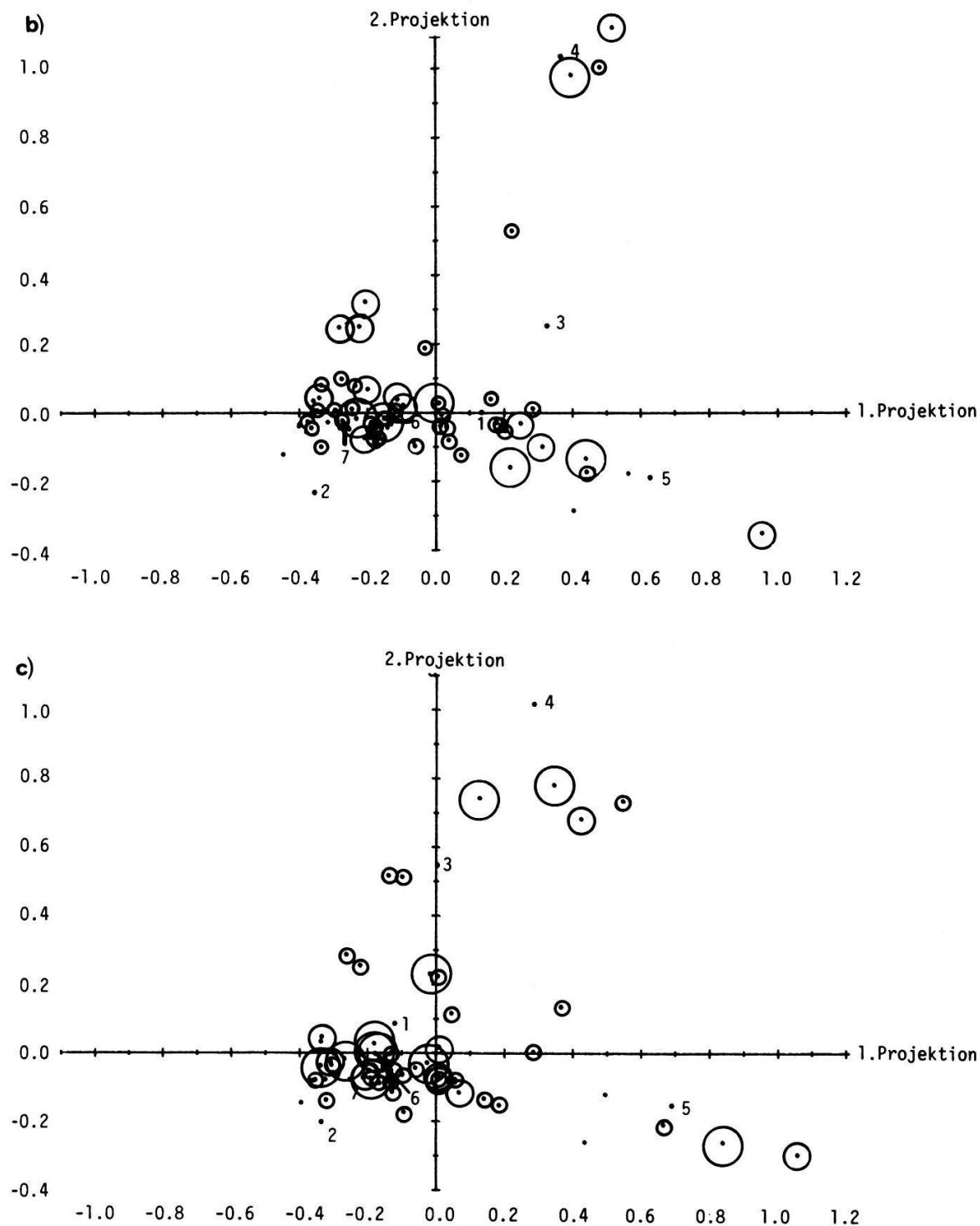


Abb. 13. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1980 (a), der Jahresmittelwerte 1980 (b) und der Jahresmittelwerte 1981 (c)

*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.*

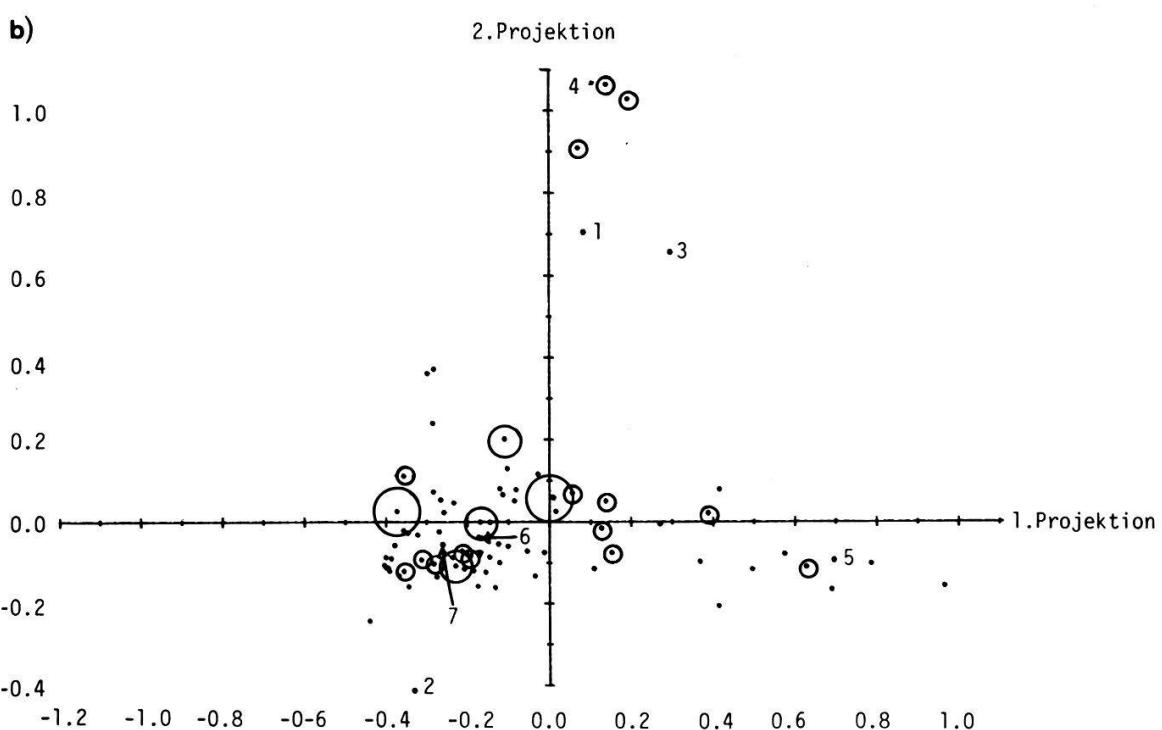
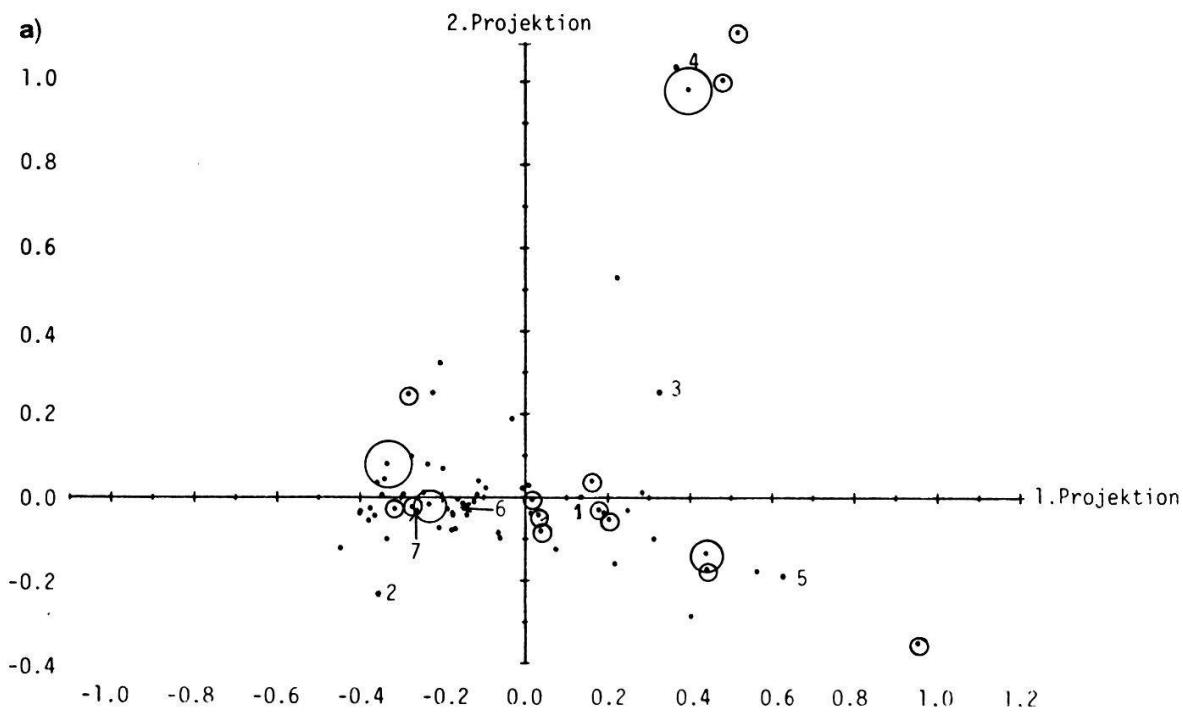


Abb. 14. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *S. polyrrhiza*.

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)

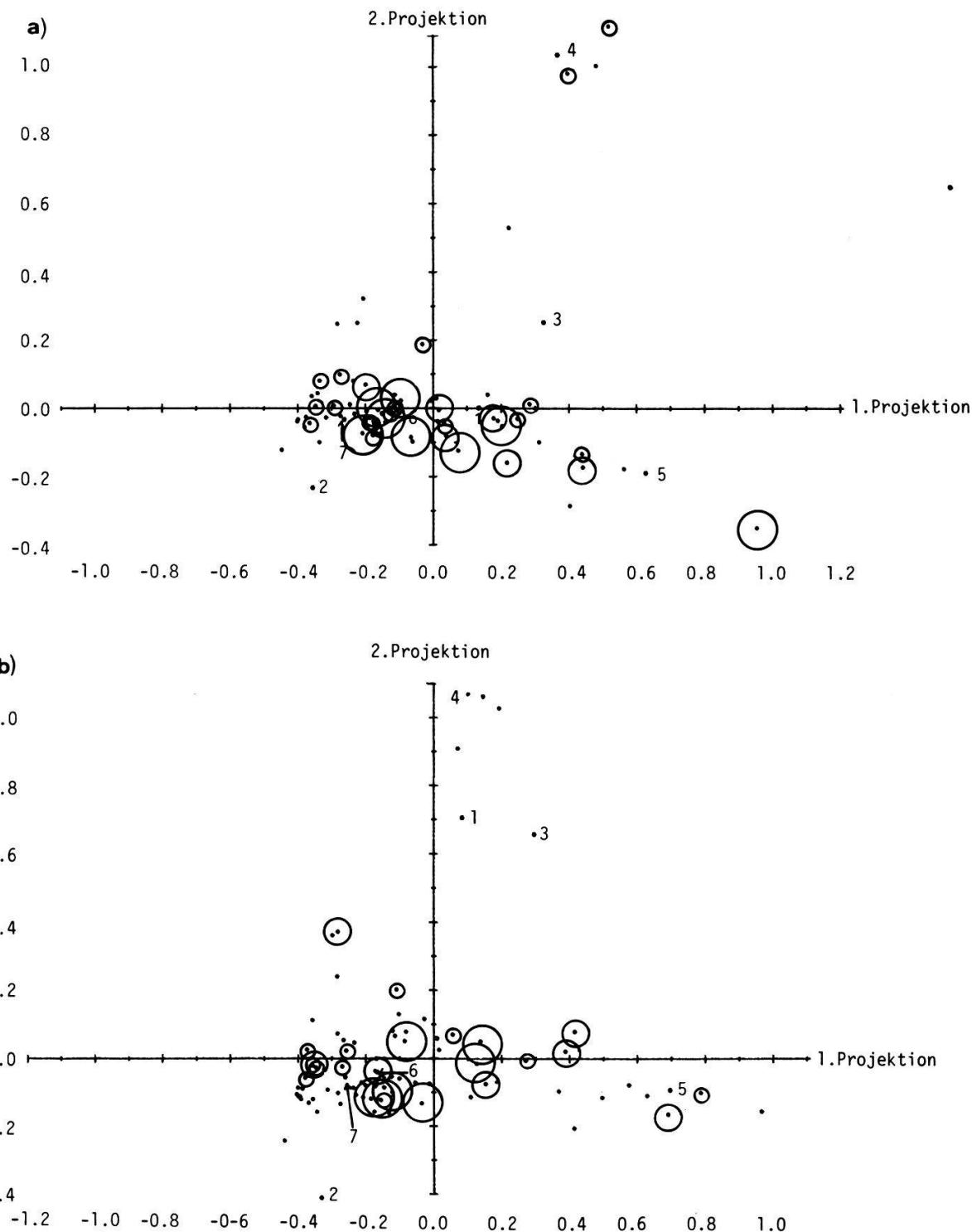


Abb. 15. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. minuscula*.

*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)

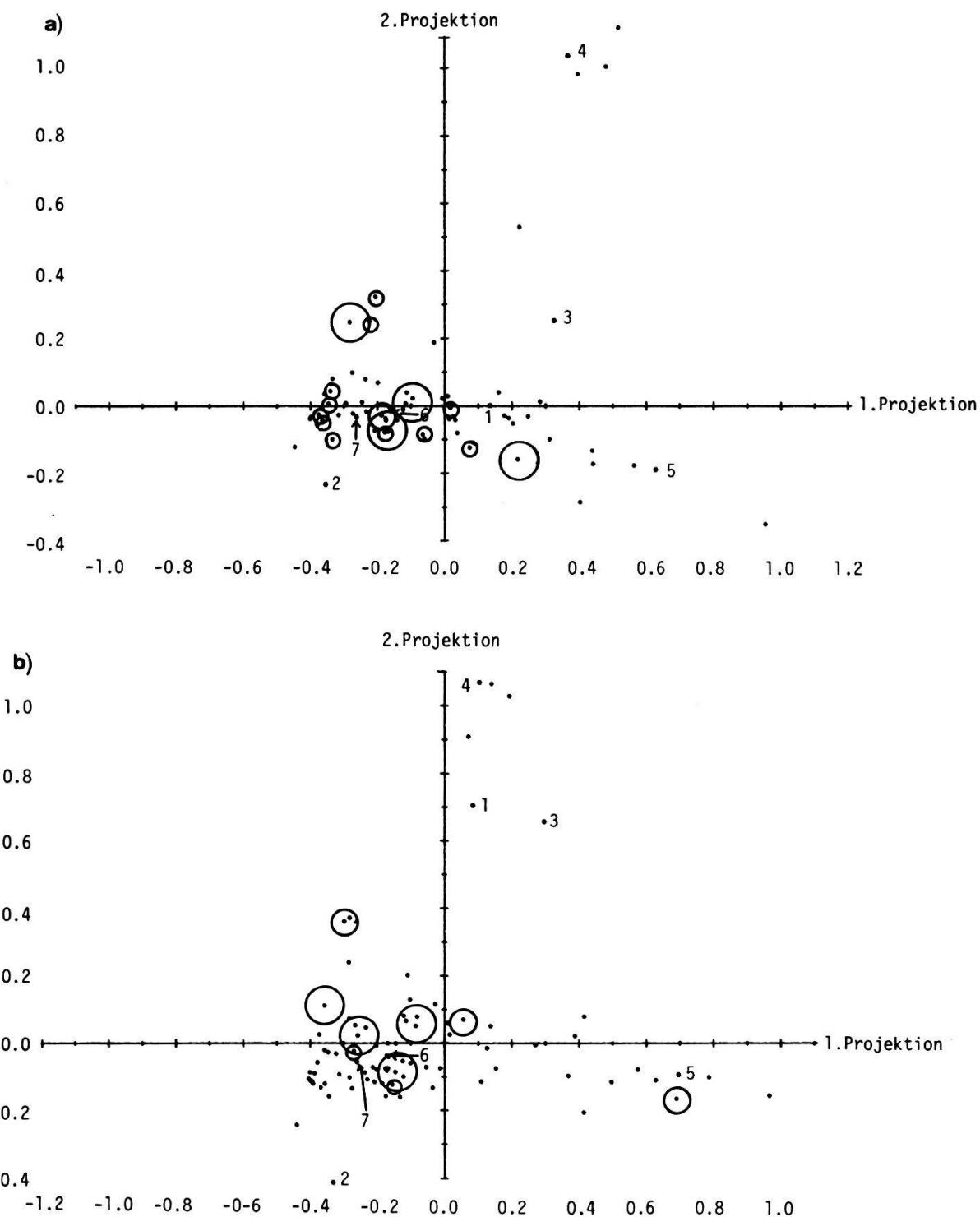


Abb. 16. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. trisulca*.

*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)

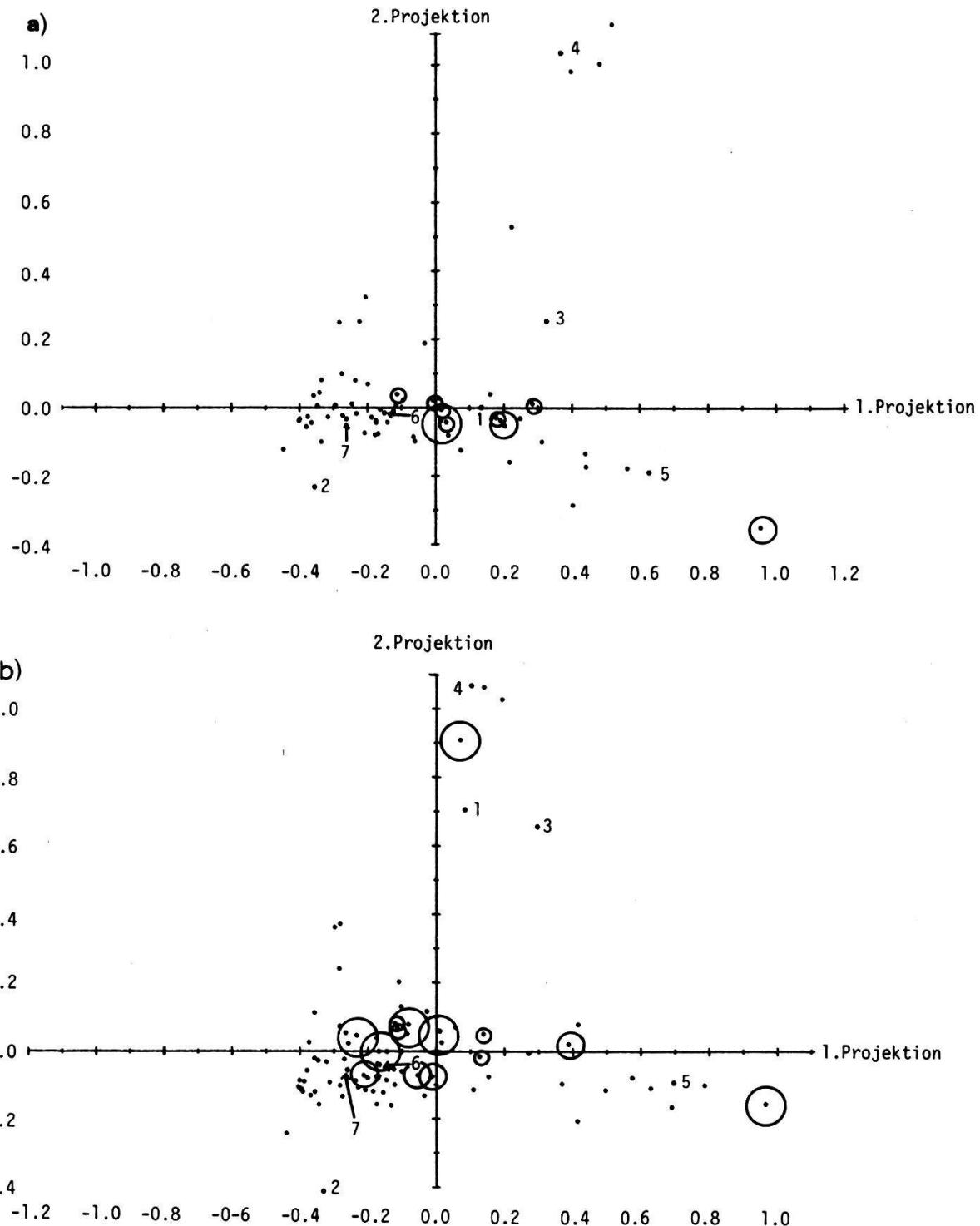


Abb. 17. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und der Juliwerte 1980 (b). Vorkommen von *L. gibba*.

*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)

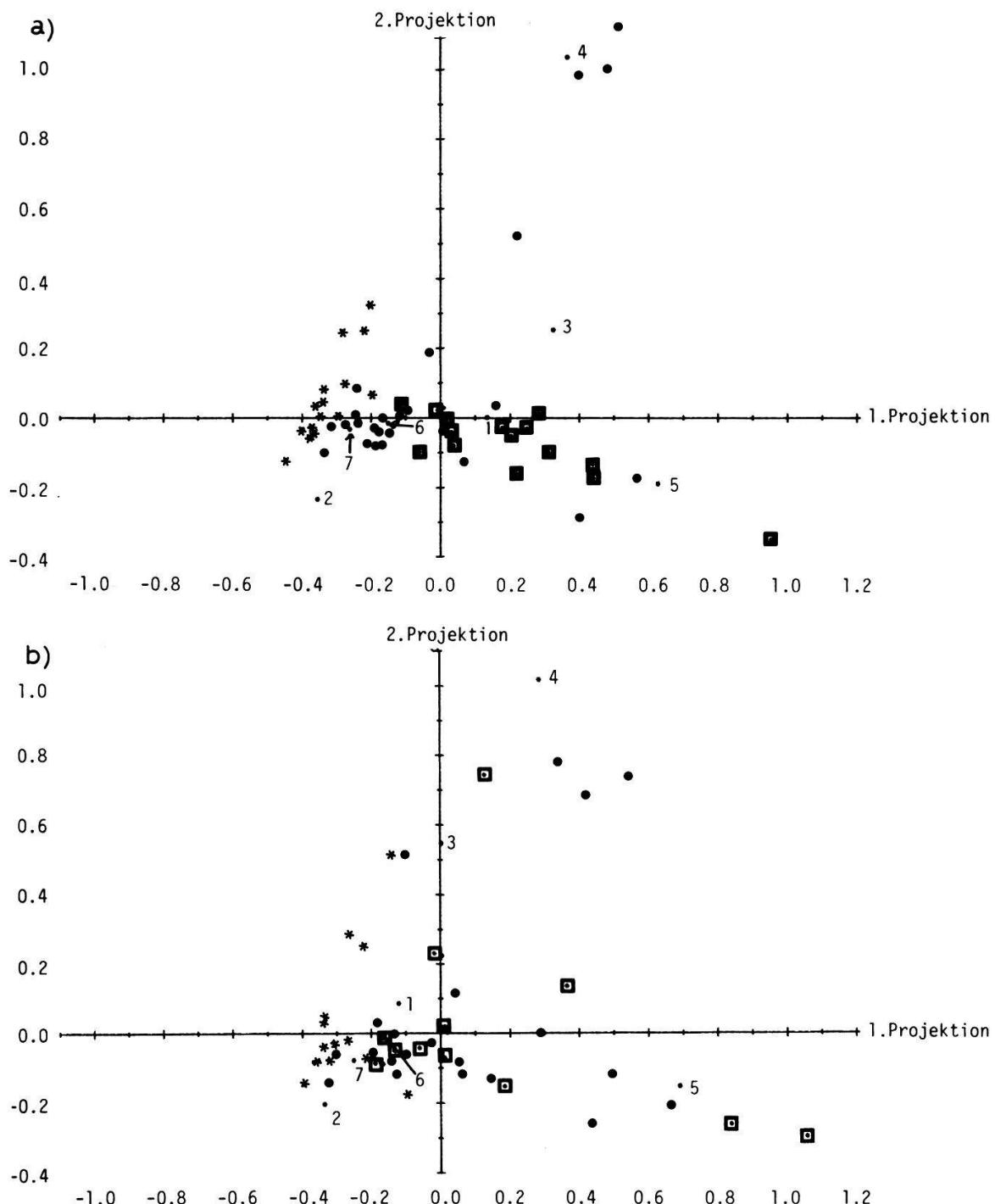


Abb. 18. Korrespondenzanalyse der Jahresmittelwerte 1980 (a) und 1981 (b). Aufteilung nach Gebieten.

*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

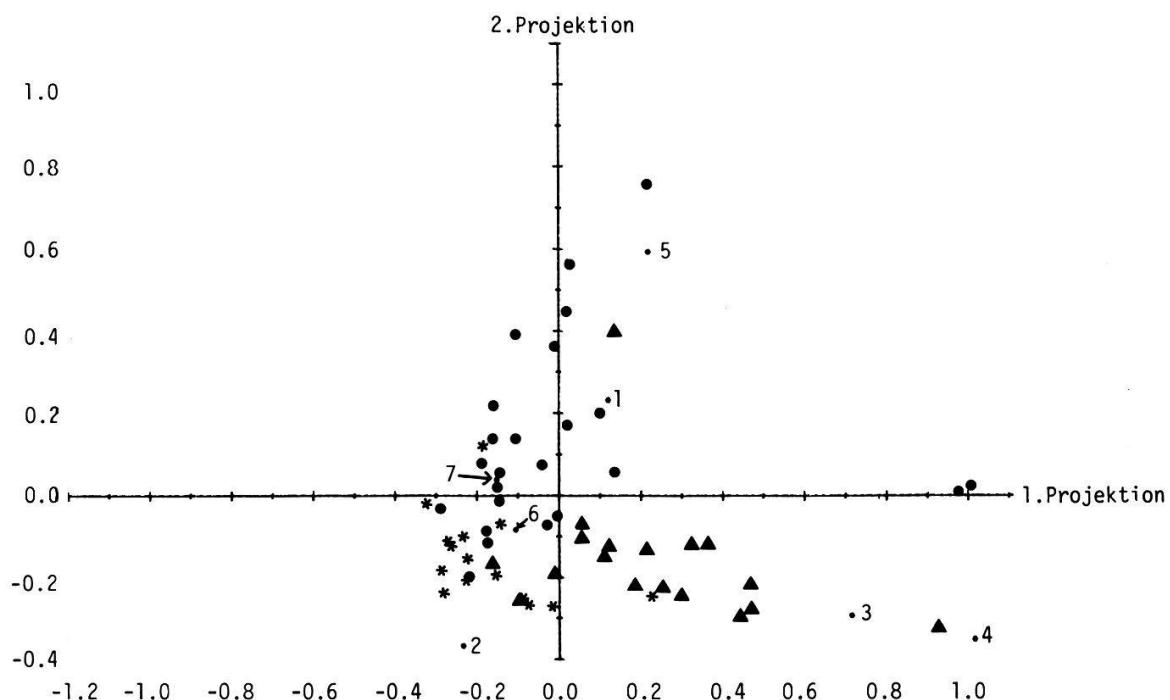


Abb. 19. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1979. Aufteilung nach Gebieten.

*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)

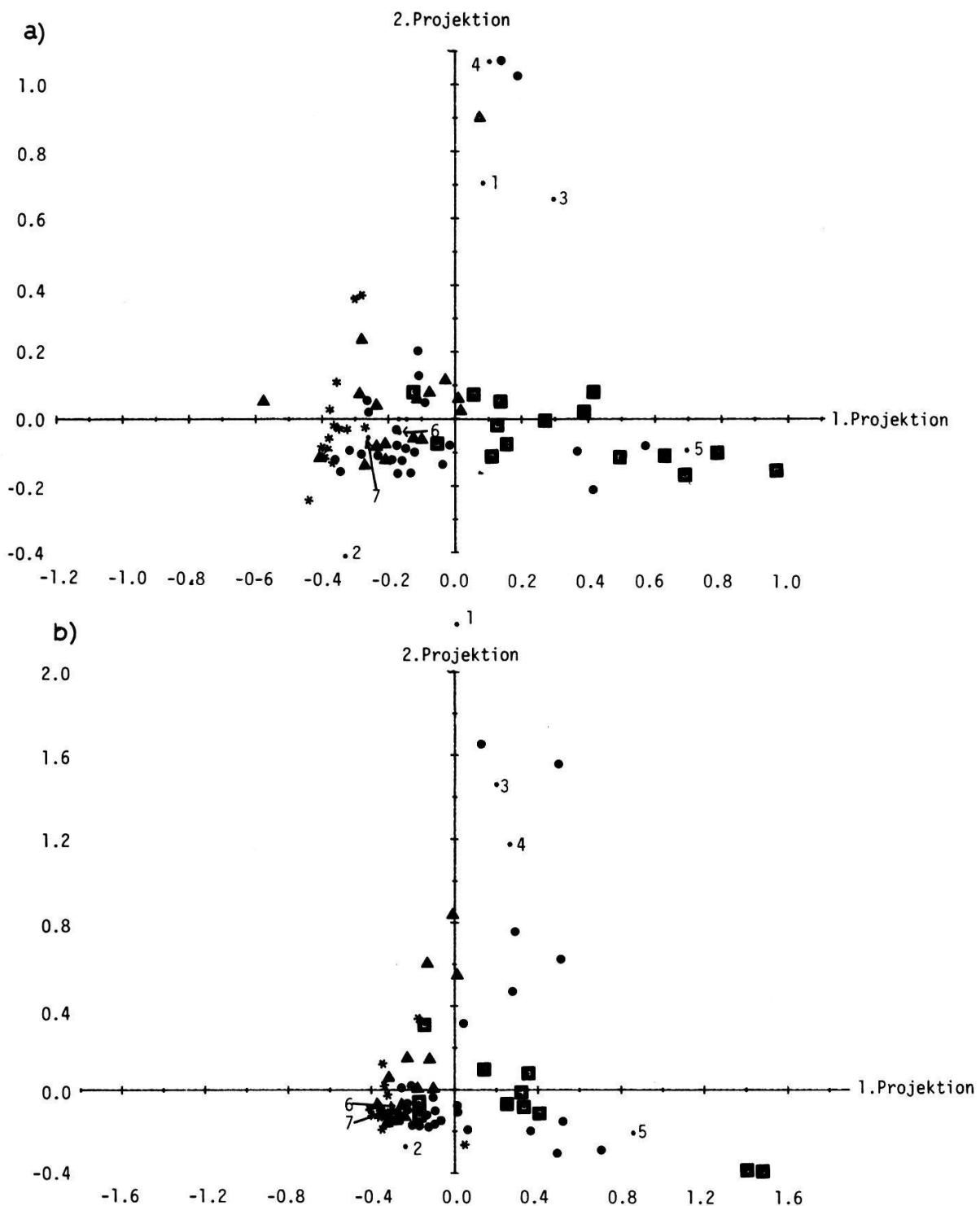


Abb. 20. Korrespondenzanalyse der Juliwerte 1980 (a) und 1981 (b).  
Aufteilung nach Gebieten.

*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 NH<sub>4</sub>-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

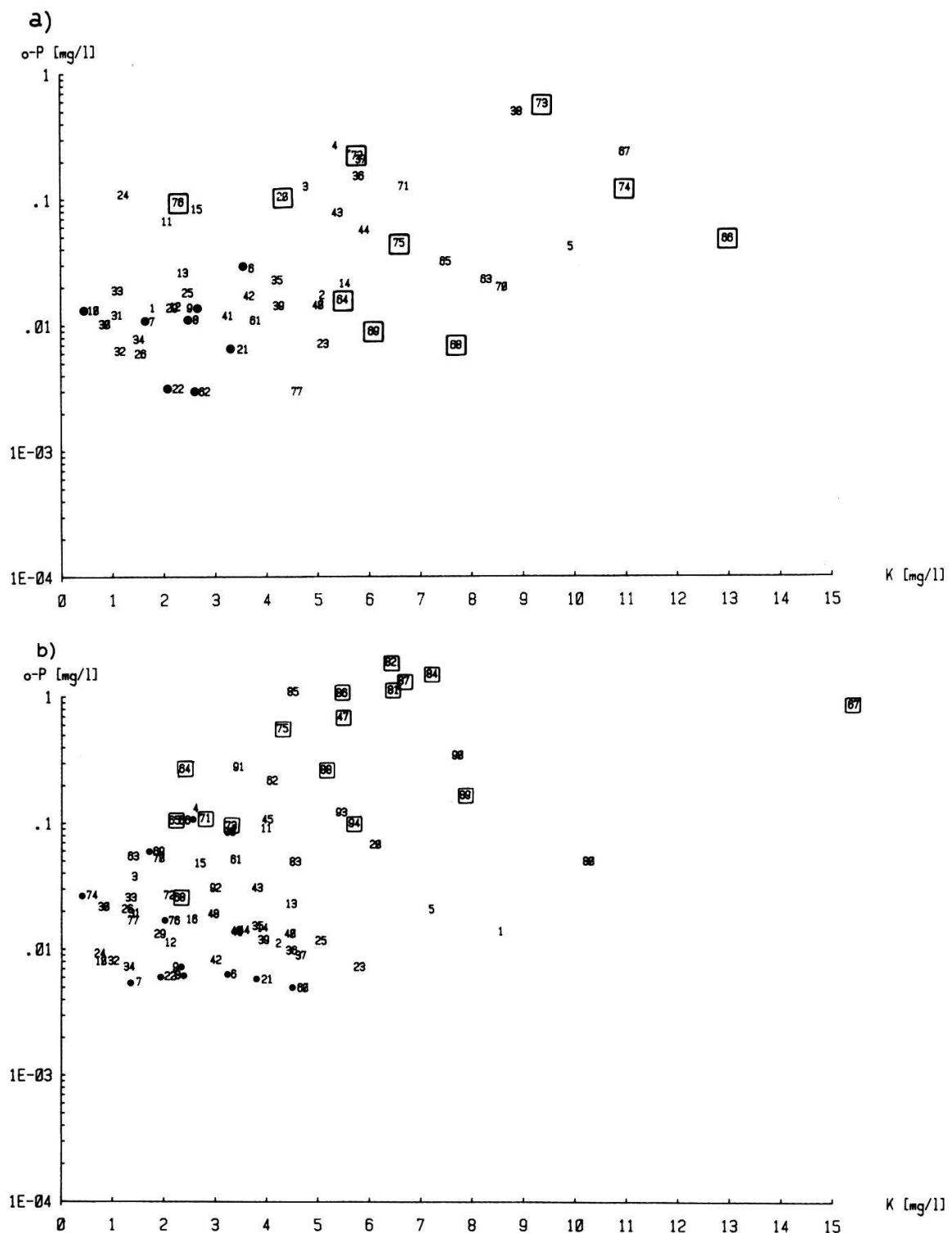
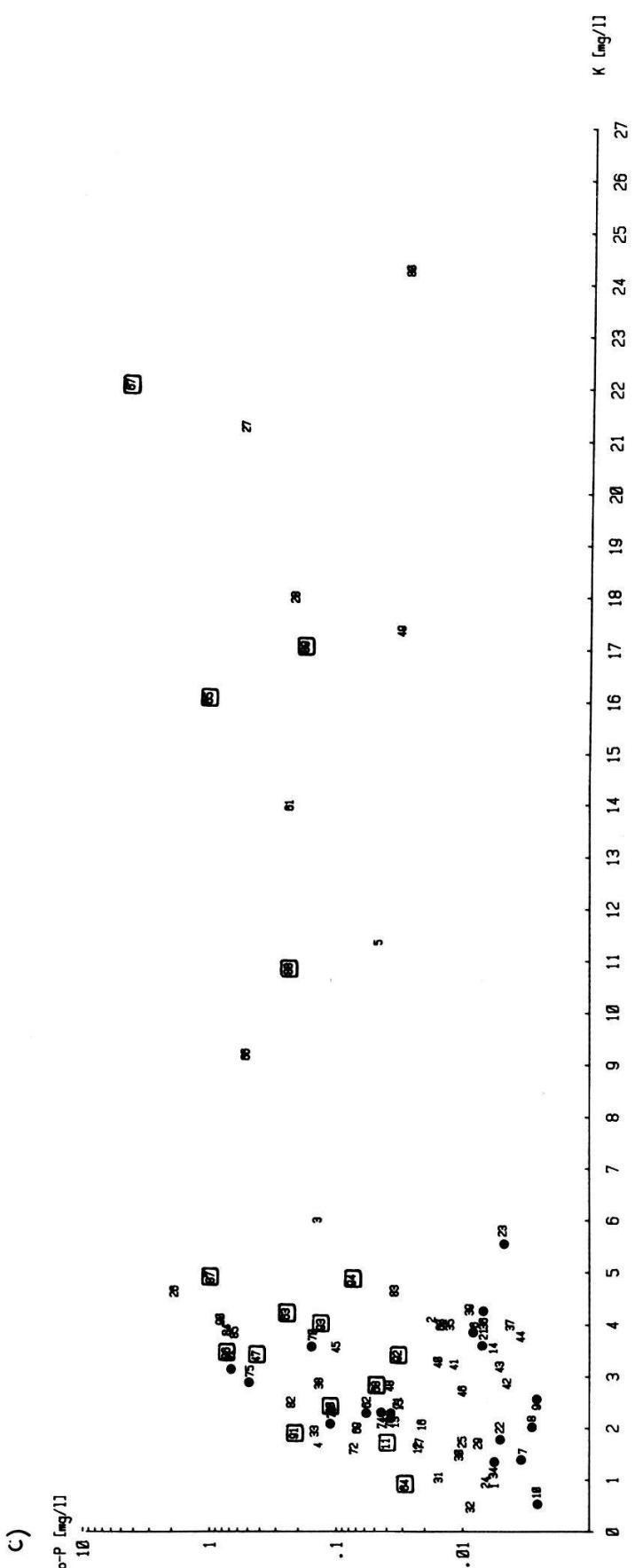


Abb. 21. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern, während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

*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



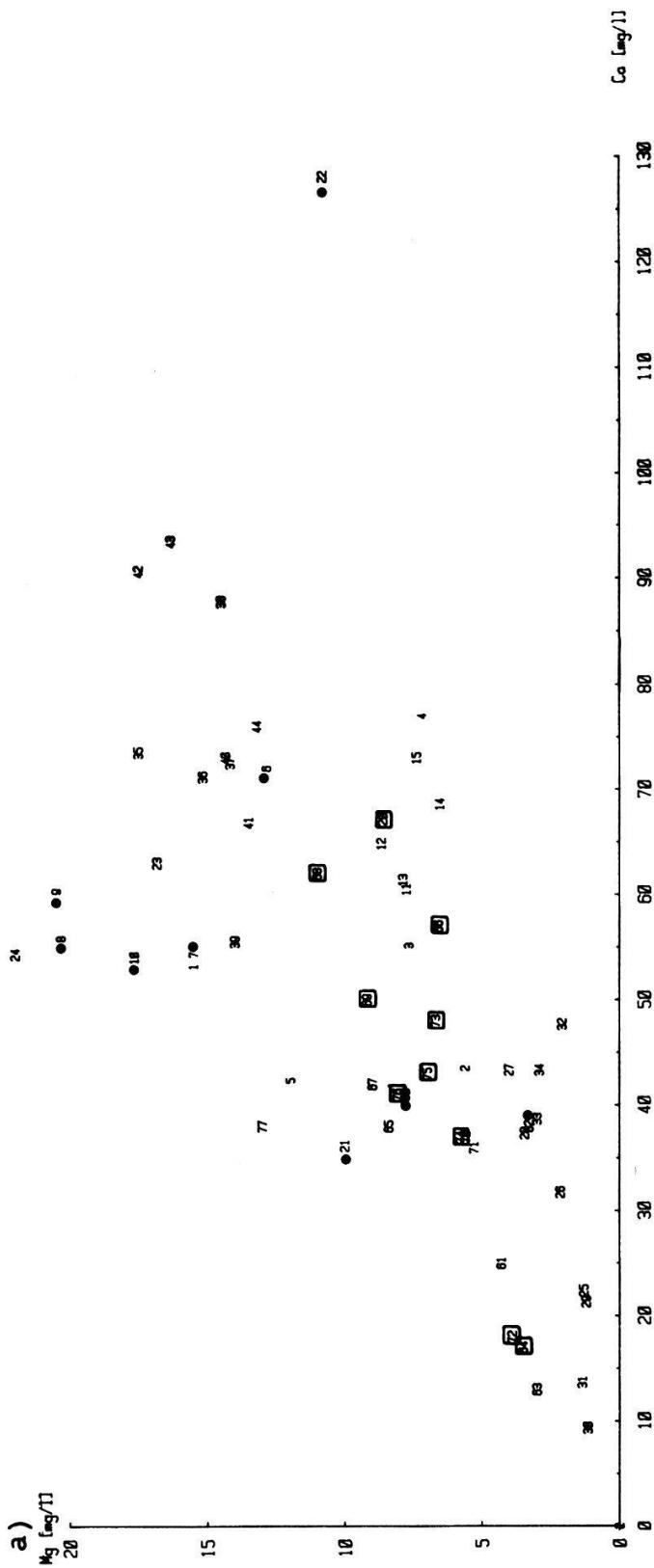
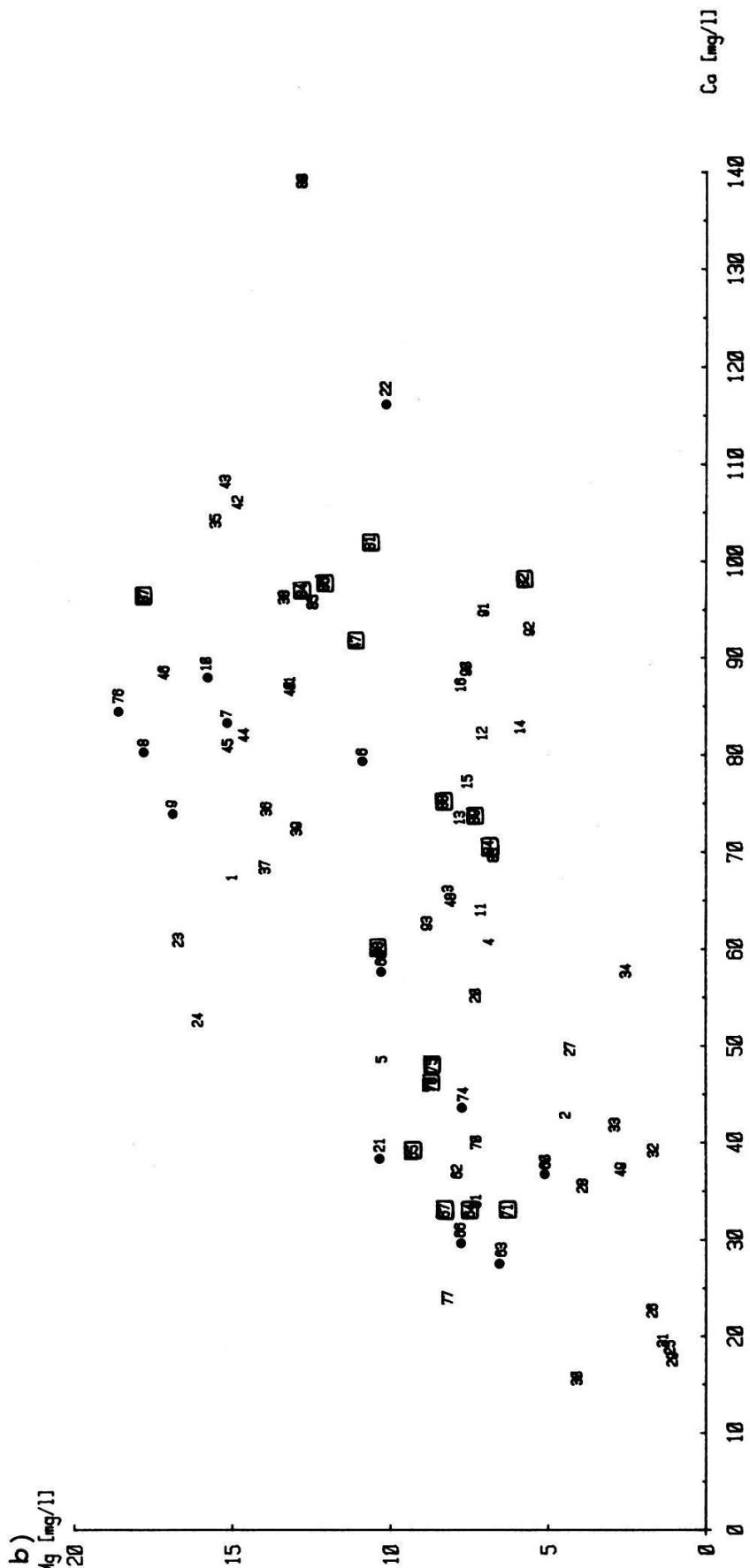
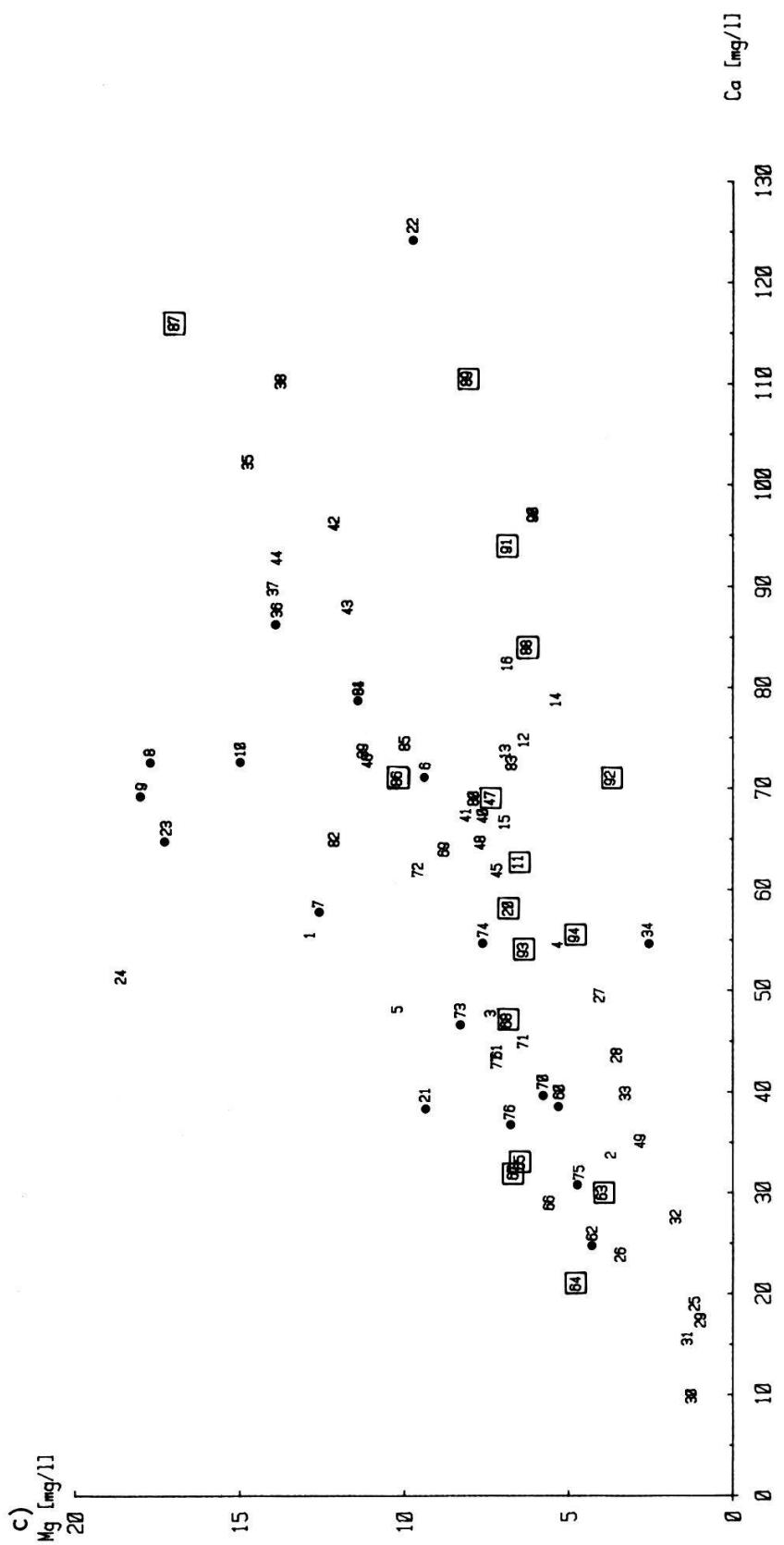


Abb. 22. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der Ca- und Mg-Konzentrationen in allen Gewässern, während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

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

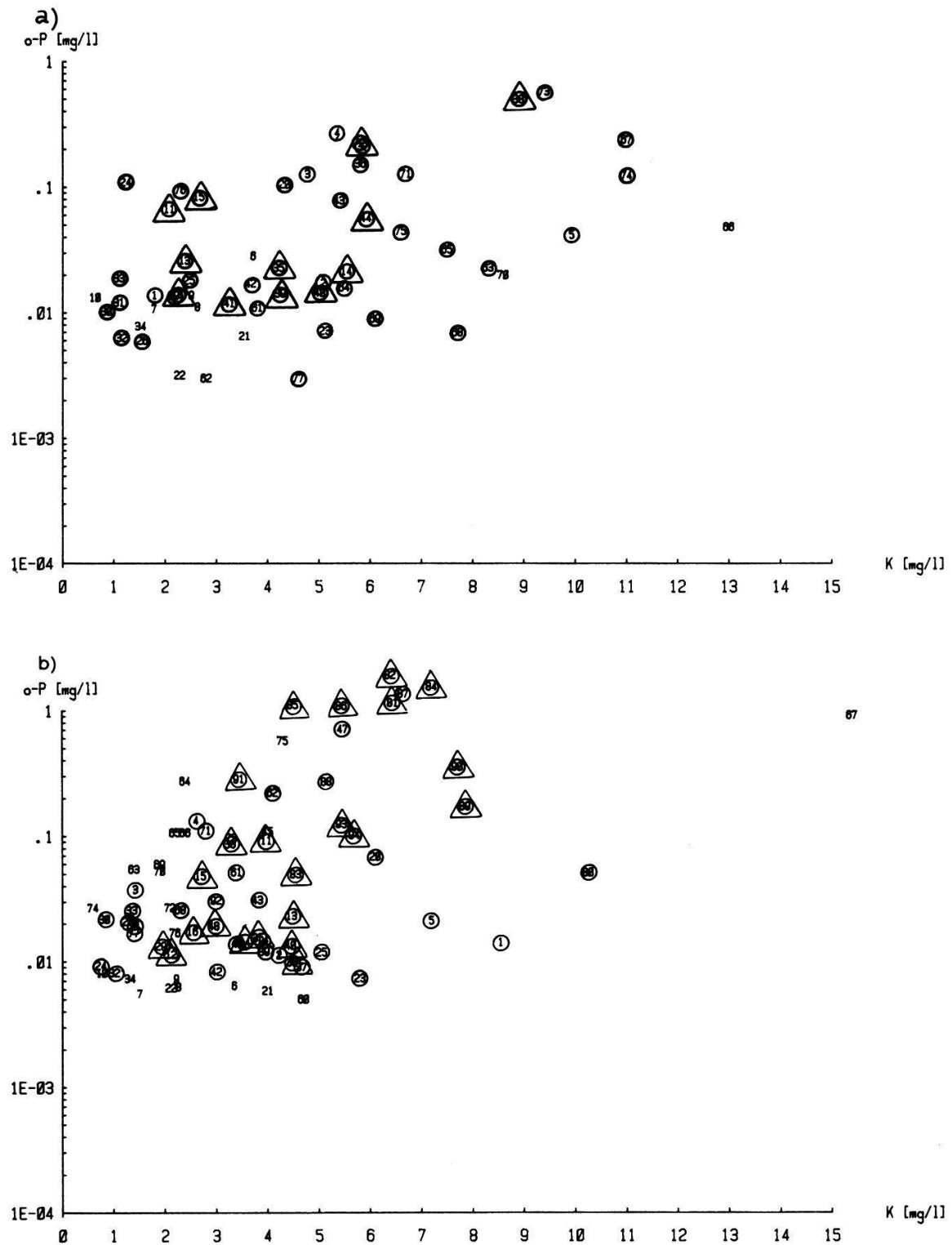
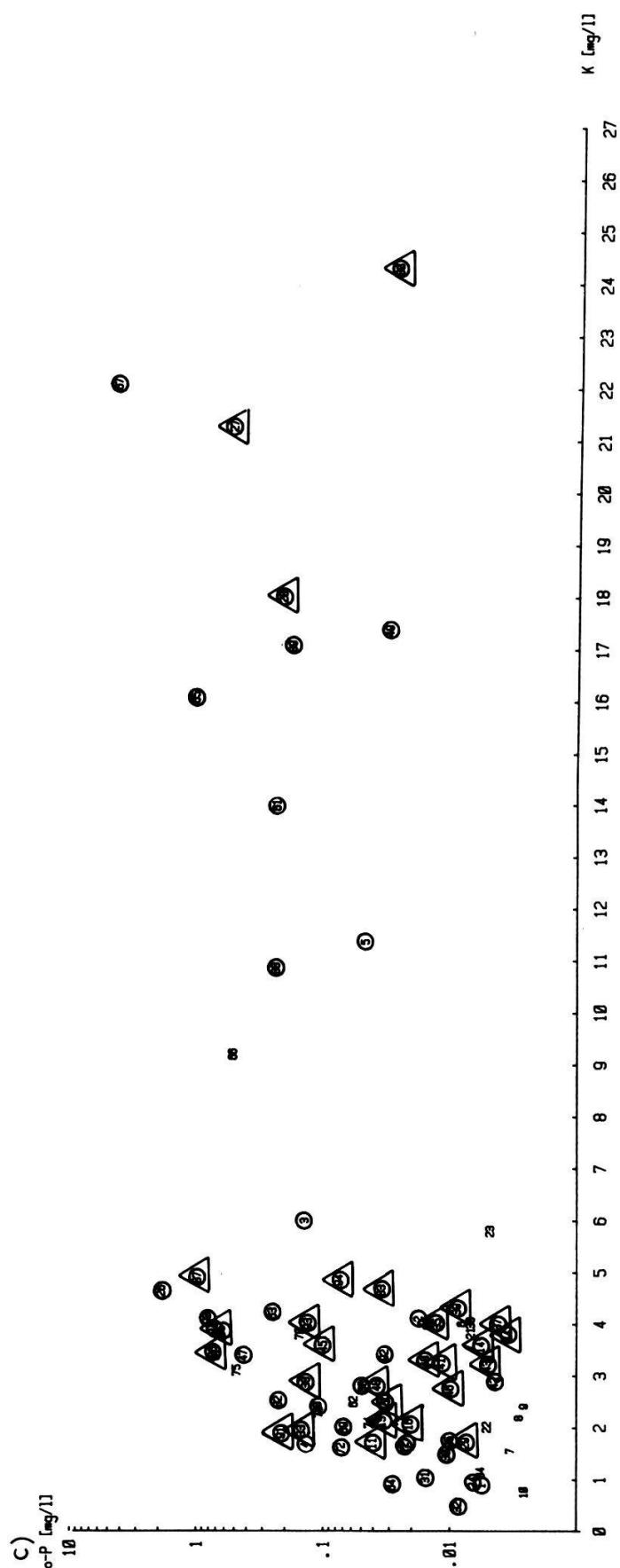


Abb. 23. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* (△) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

*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).*



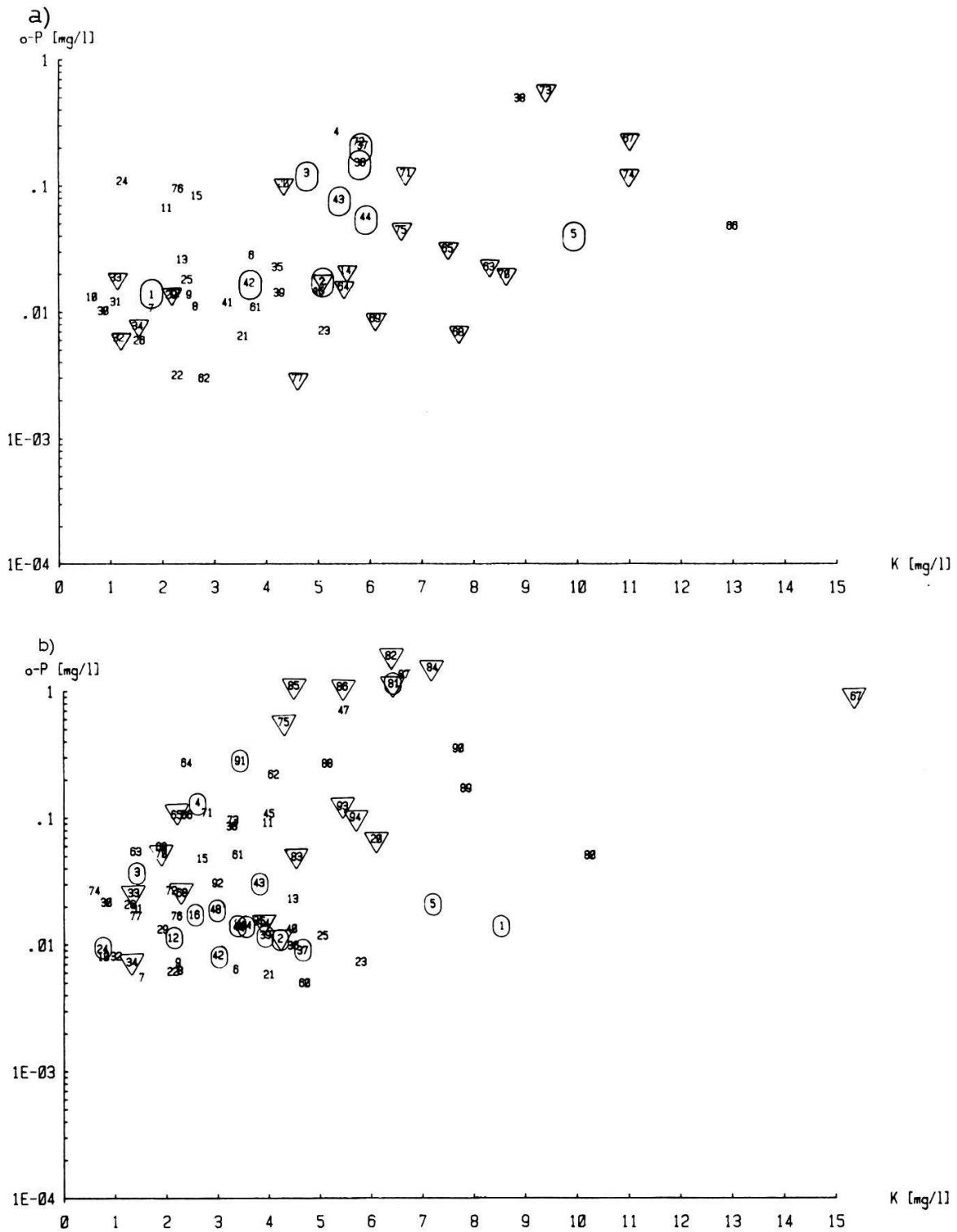
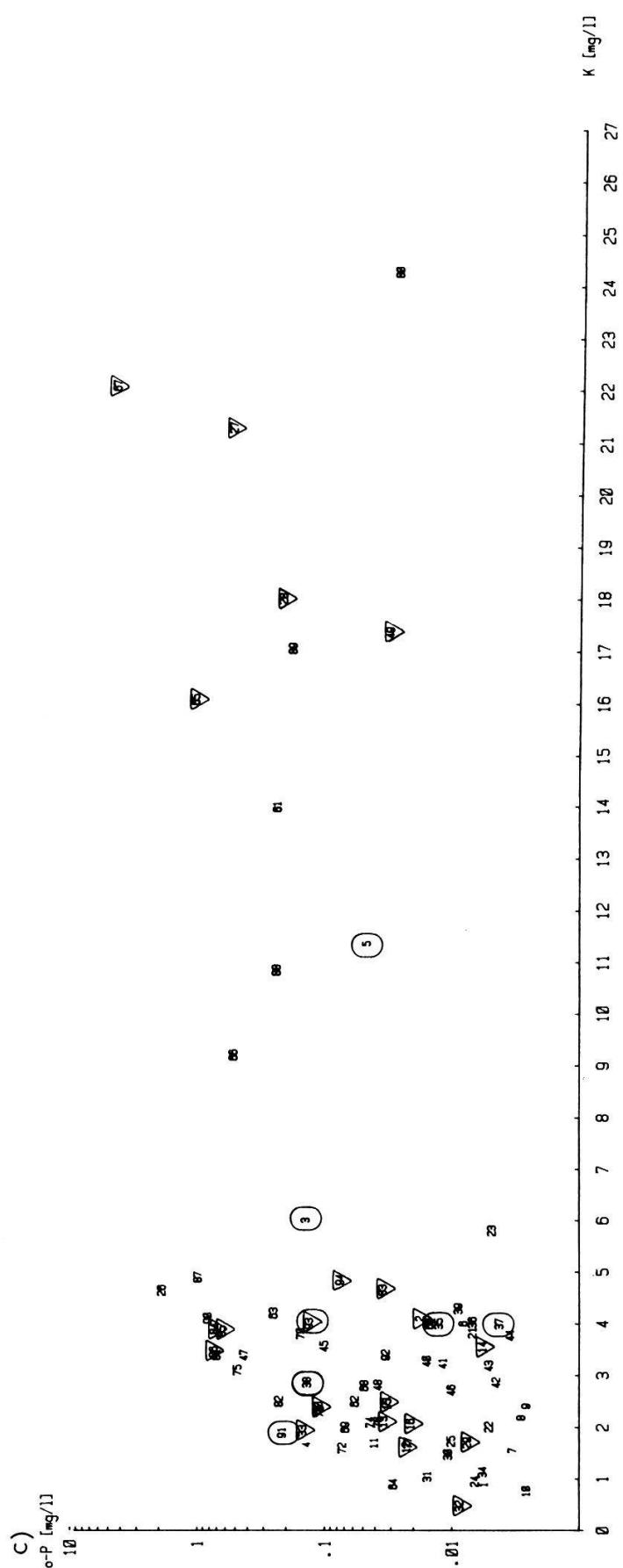


Abb. 24. Vorkommen von *S. polyrrhiza* ( $\nabla$ ) und *L. trisulca* (0) in Abhängigkeit der P- und K-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

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).



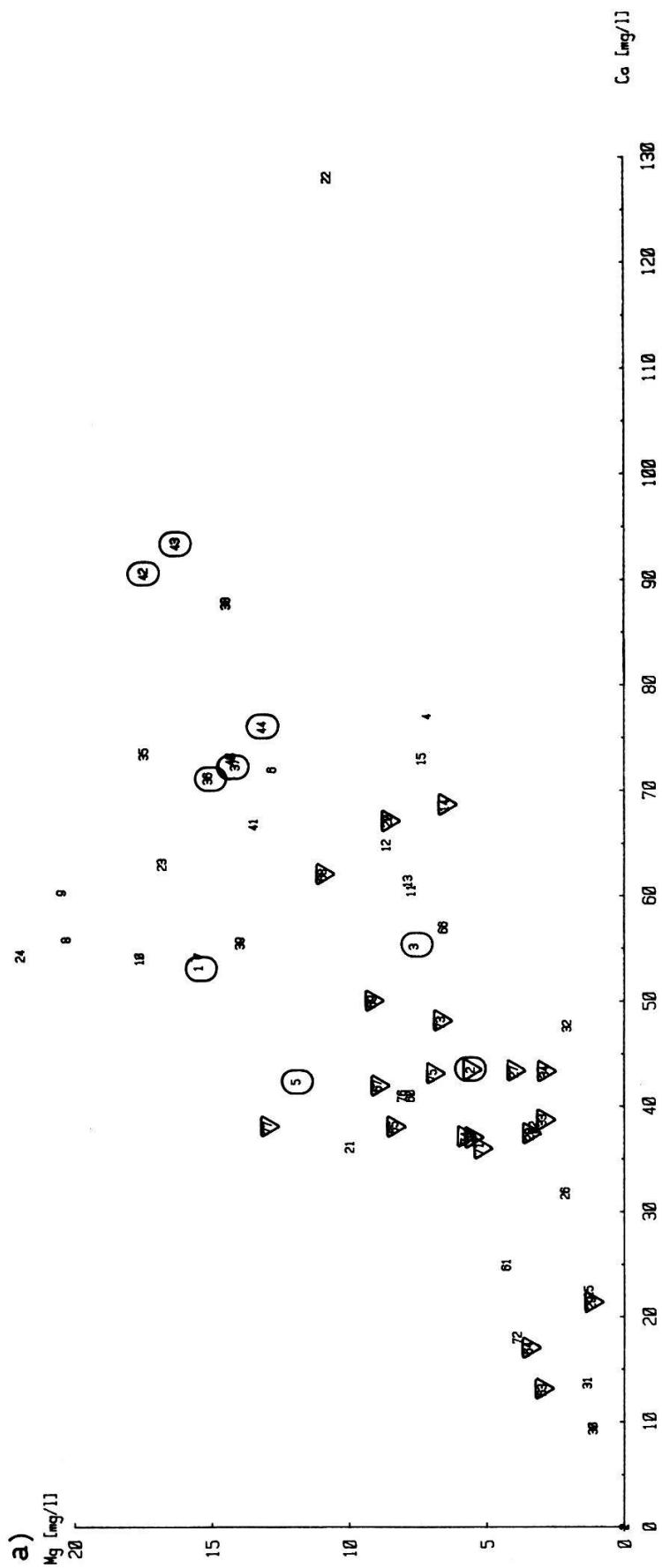
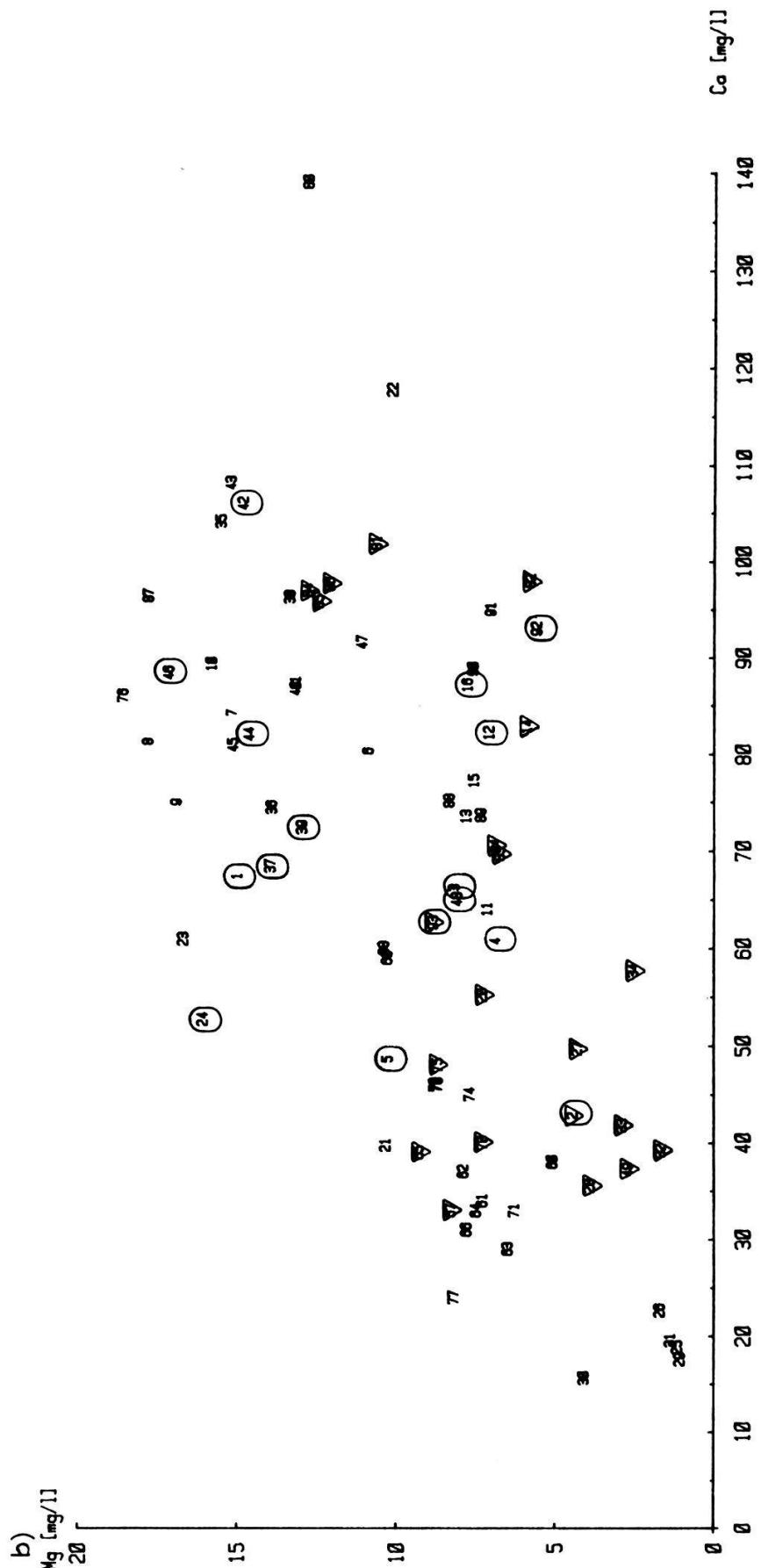
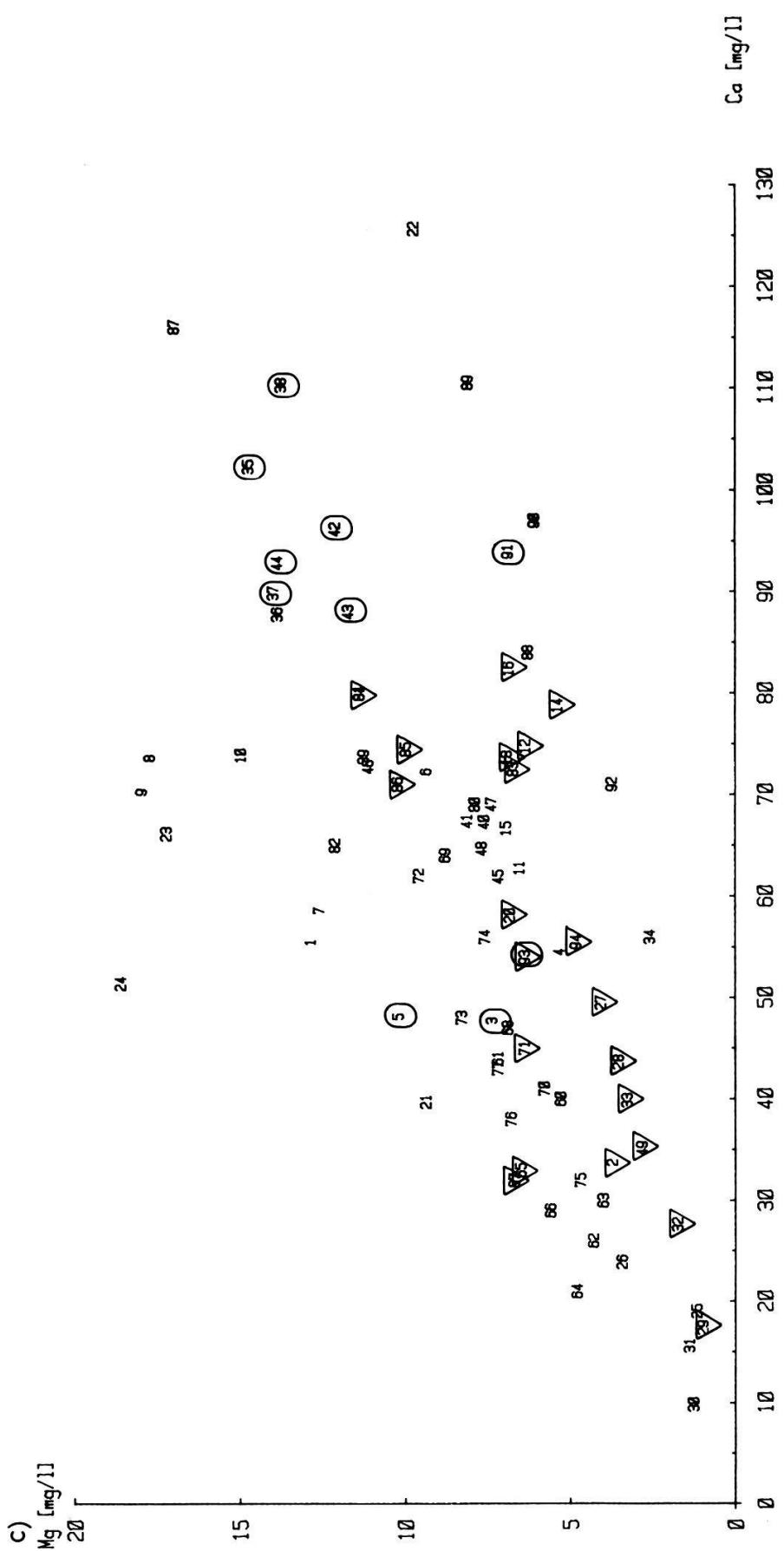


Abb. 25. Vorkommen von *S. polyrrhiza* ( $\nabla$ ) und *L. trisulca* ( $\circ$ ) in Abhängigkeit der Mg- und Ca-Konzentrationen in den Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).  
 Occurrence of *S. polyrrhiza* and *L. trisulca*, depending on concentrations of Mg and Ca in all waters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

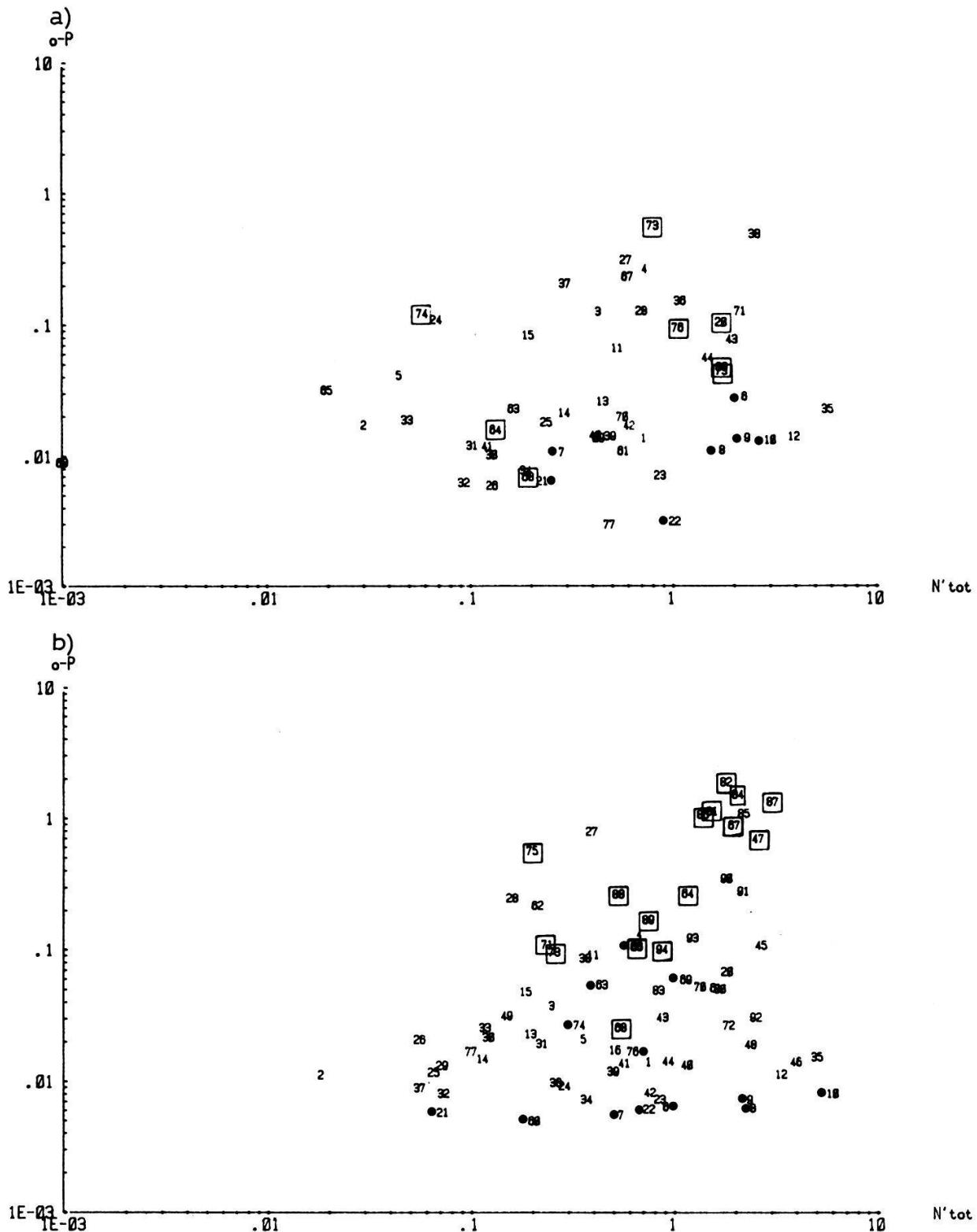
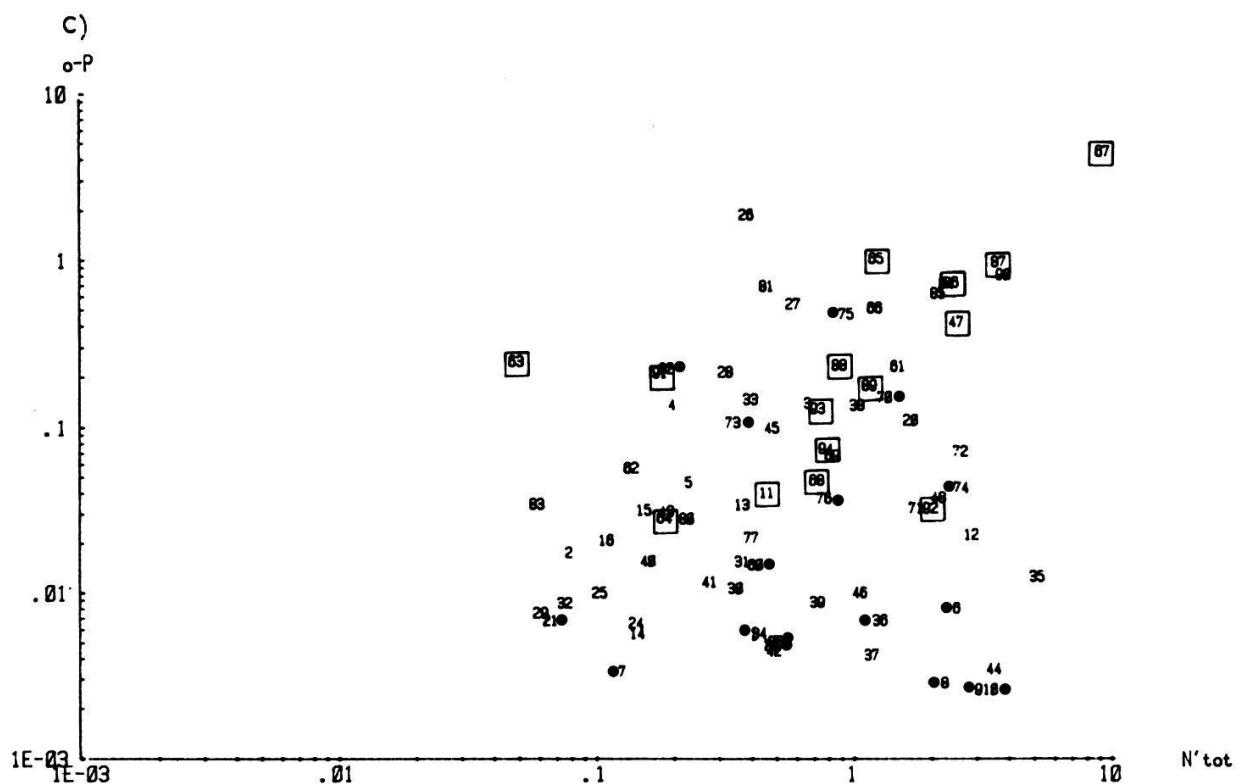


Abb. 26. Vorkommen von *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

*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. Lemnaceenfreie 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 anzu treffen 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).

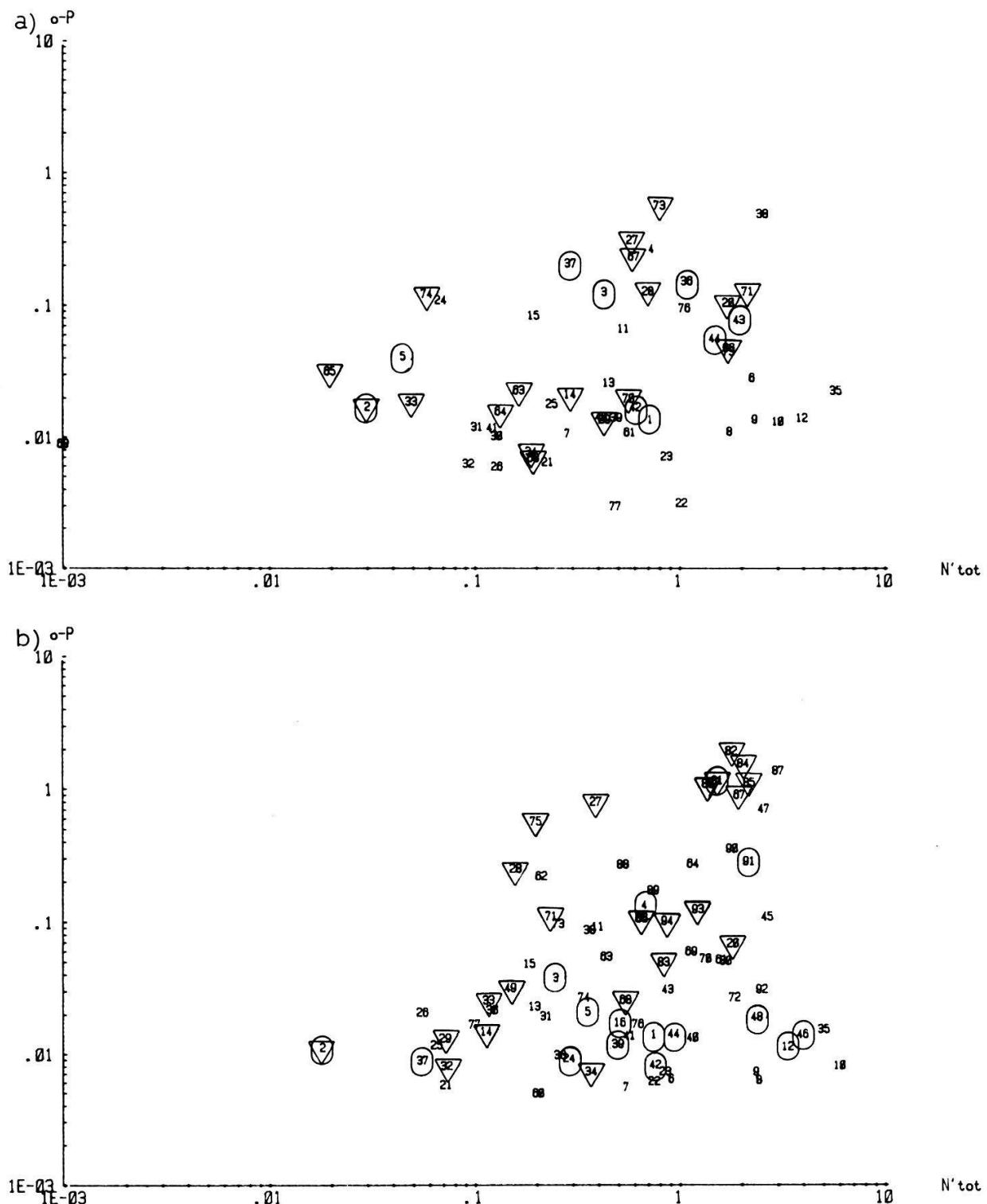
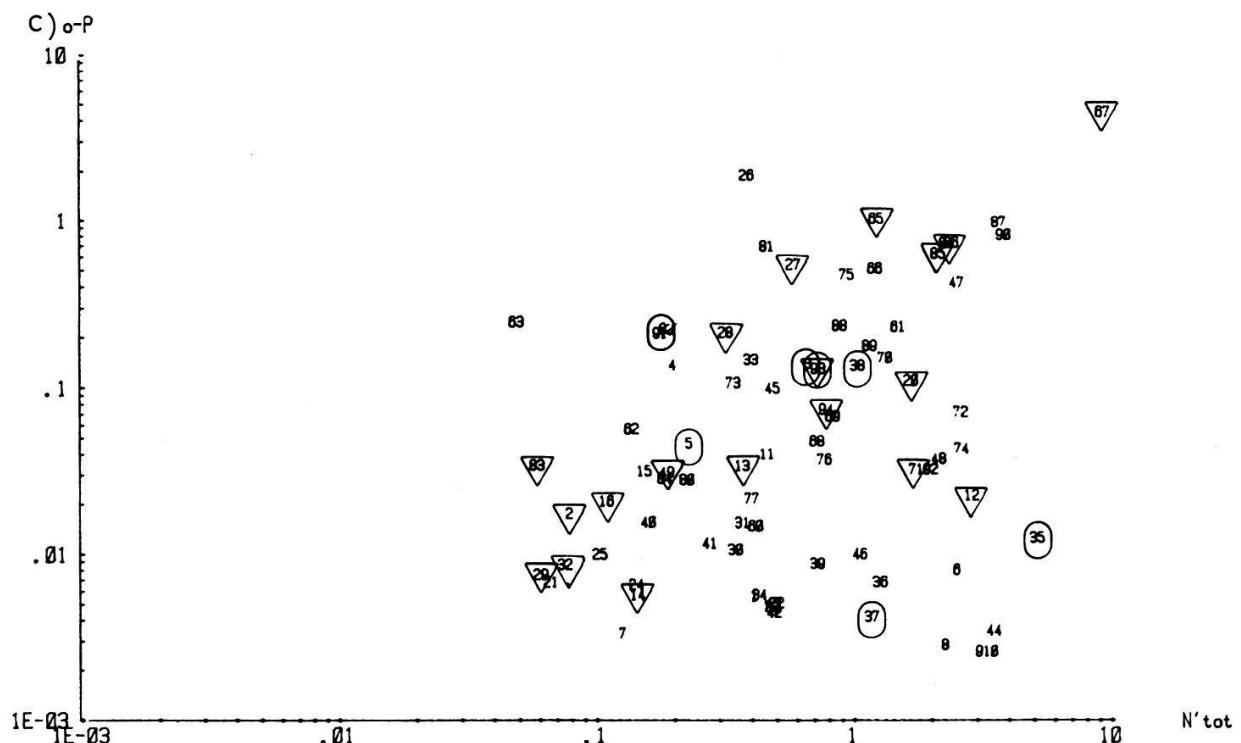


Abb. 27. Vorkommen von *S. polyrrhiza* ( $\nabla$ ) und *L. trisulca* ( $\circ$ ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

*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.

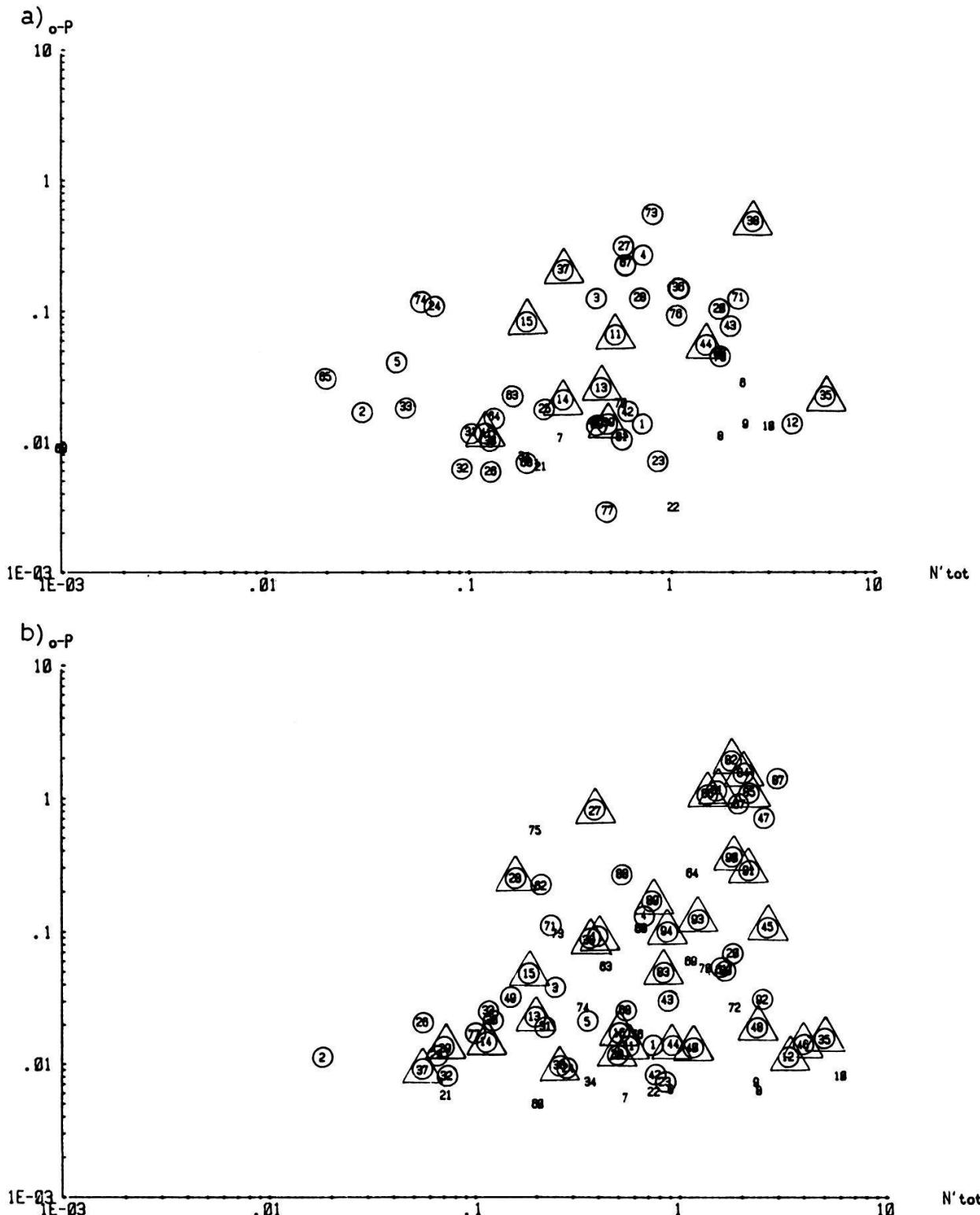
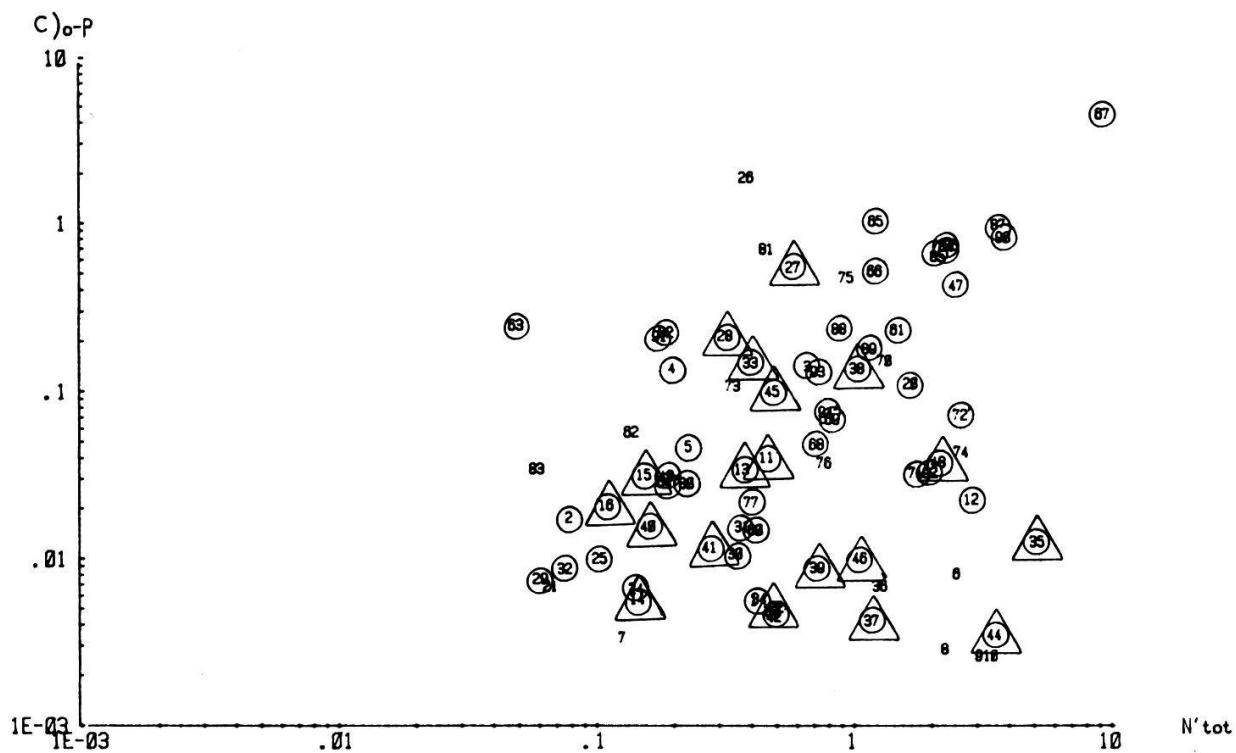


Abb. 28. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* ( $\Delta$ ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen in allen Gewässern während der Jahre 1979 (a), 1980 (b) und 1981 (c).

*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.

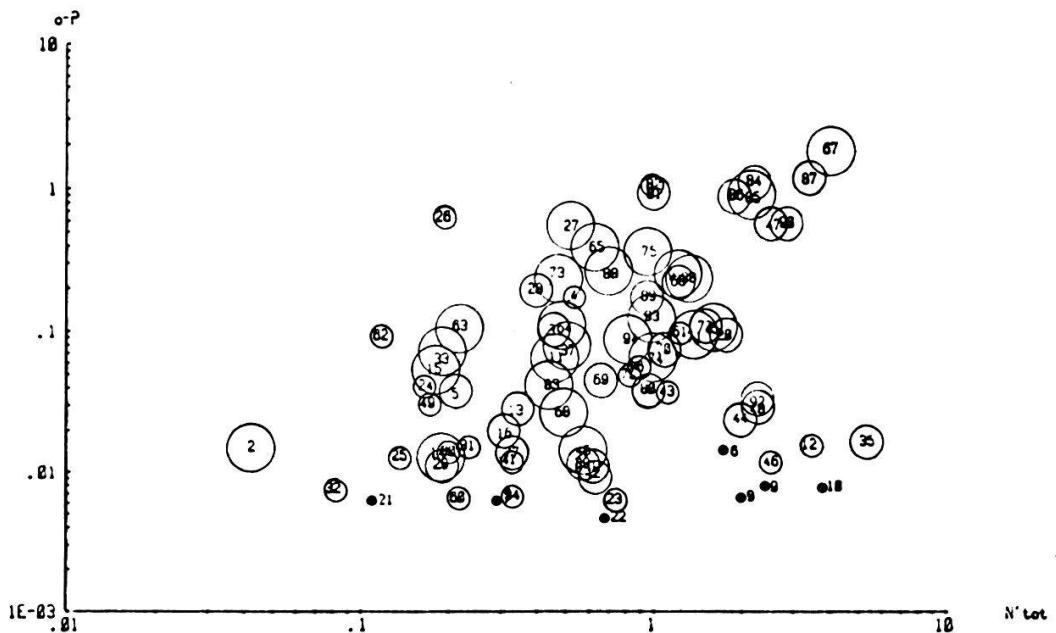


Abb. 29. Lemnaceenfreie (•) und artenarme (○) gegenüber artenreichen (grössere Kreise) Gewässern in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

*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.*

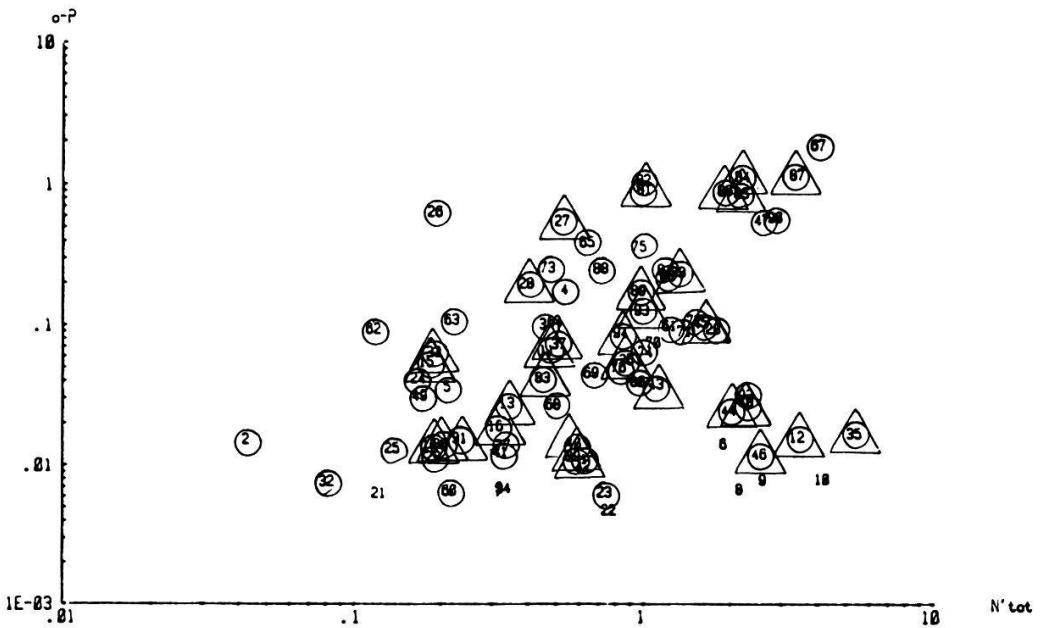


Abb. 30. Vorkommen von *L. minor* (○) und *L. minuscula* (Δ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

*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.*

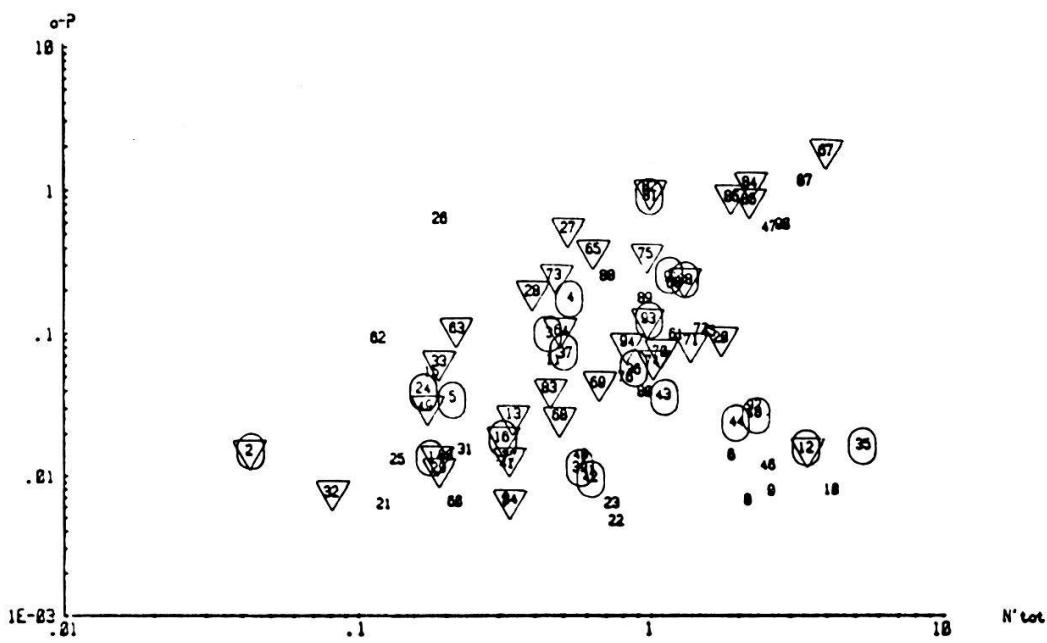


Abb. 31. Vorkommen von *S. polyrrhiza* ( $\nabla$ ) und *L. trisulca* ( $\circ$ ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

*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.*

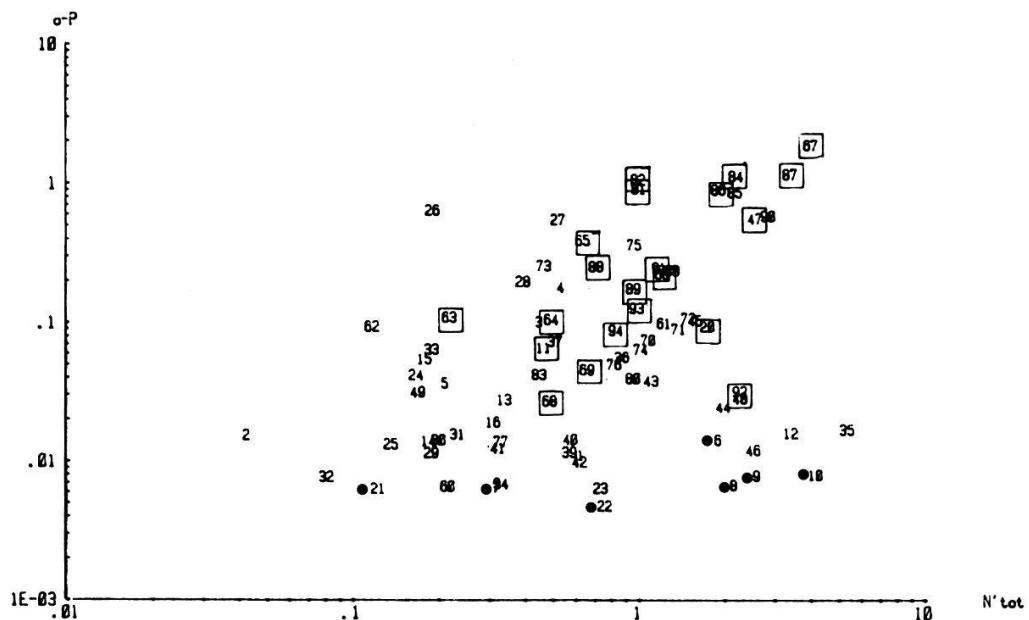


Abb. 32. Vorkommen von *L. gibba* ( $\square$ ) in Abhängigkeit der P- und N-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

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

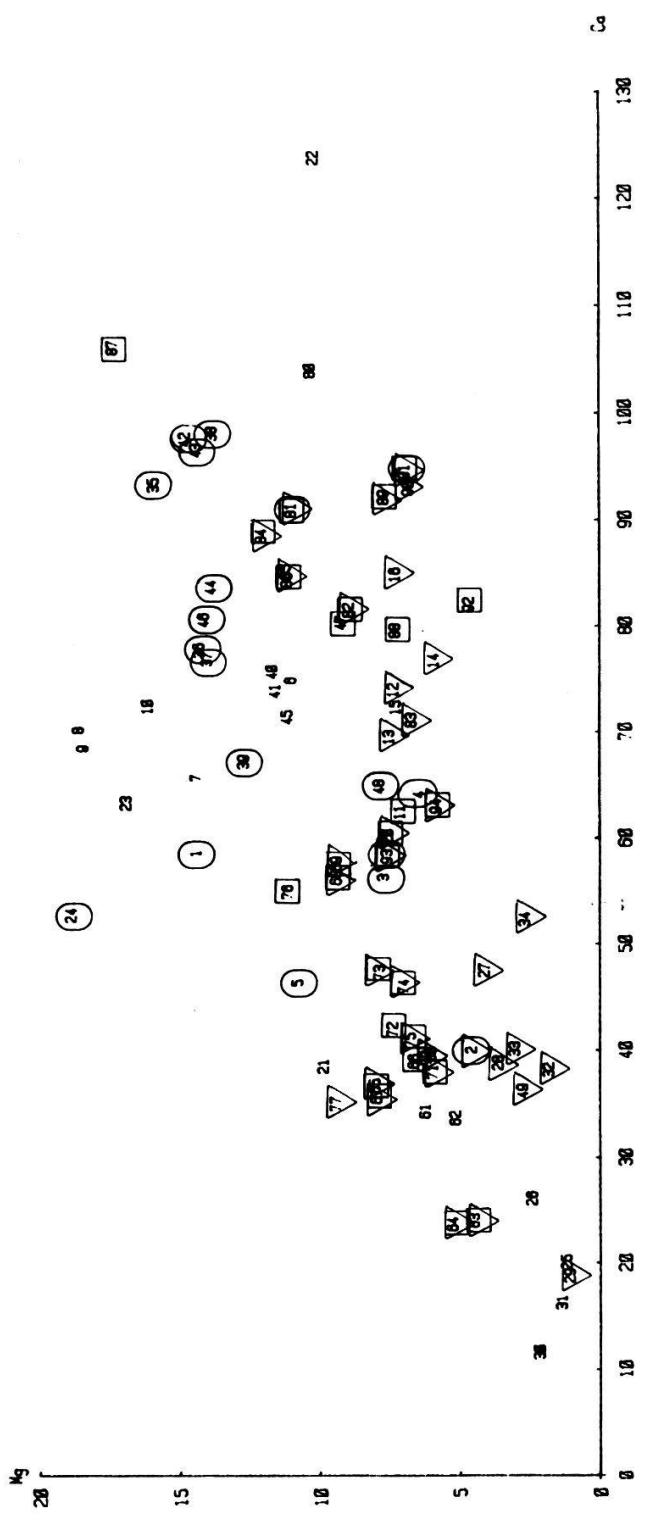


Abb. 33. Vorkommen von *S. polyrrhiza* ( $\nabla$ ), *L. trisulca* (○) und *L. gibba* (□) in Abhängigkeit der Ca- und Mg-Konzentrationen. Mittelwerte über alle drei Untersuchungsjahre.

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.