

<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>	2: Material und Methoden, Untersuchungsgebiete
<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>**

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

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

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

## 2. Material und Methoden, Untersuchungsgebiete

### 2.1. Klimakammerversuche

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

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

Tab. 1. Vorgegebene Bedingungen in der Klimakammer

*Given conditions in the climate chamber*

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

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

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

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

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

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

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

### 2.1.1. Verwendete Arten und Stämme

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

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

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

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

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

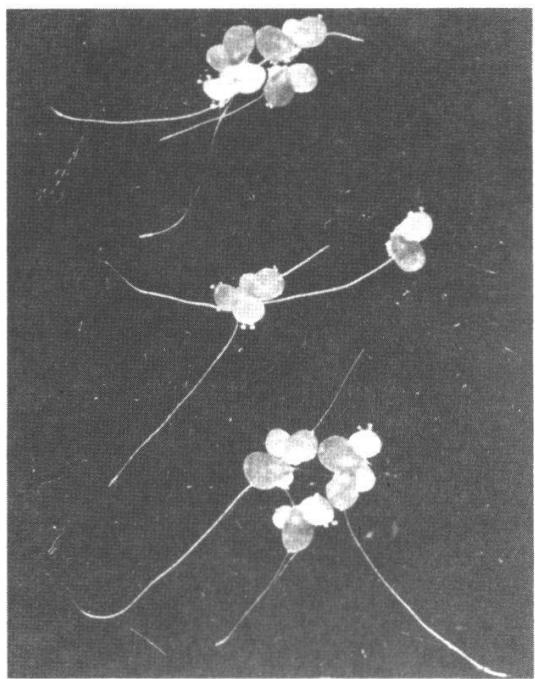
### 2.1.2. Nährlösung

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

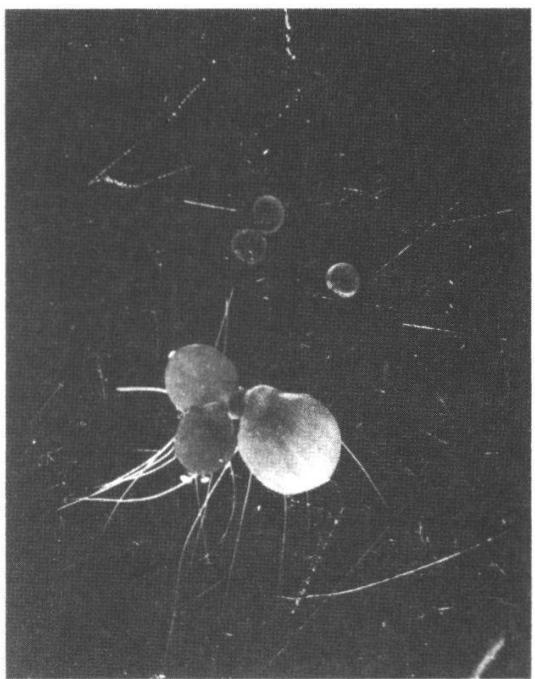
Tab. 2. Nährlösung nach HUTNER (1953)

Nutrient solution according to HUTNER (1953)

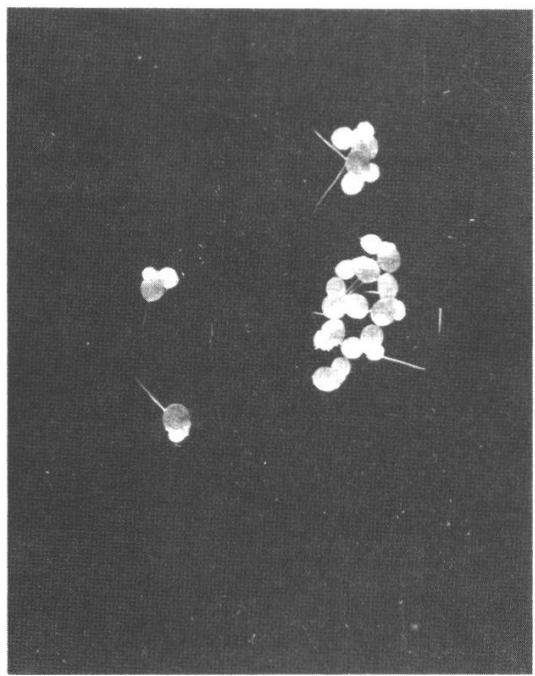
Chemikalien	mg/l	Mol/l	
$\text{CaCO}_3$ (gelöst in $\text{HNO}_3$ )	15.0	$3.0 \cdot 10^{-4}$	
EDTA	100.0	$2.7 \cdot 10^{-4}$	Lösung a)
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	80.0	$4.6 \cdot 10^{-4}$	
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	40.0	$5.0 \cdot 10^{-4}$	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13.2	$4.6 \cdot 10^{-5}$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



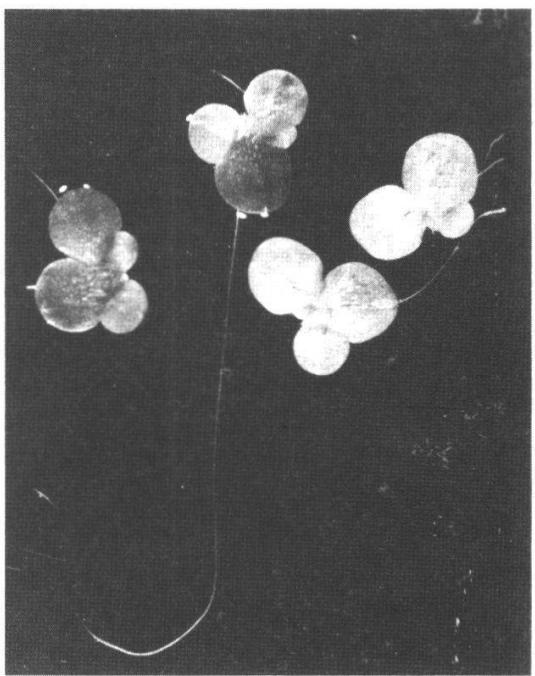
A



B



C



D

Abb. 2. Die untersuchten Arten

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

*The species studied*

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

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

*Variation des Stickstoffes und des Phosphors.* - Für die Untersuchungen mit den verschiedenen Stickstoffgaben wurde in der ausgehenden Lösung das  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  weggelassen. Dieses wurde dann in verschiedenen Konzentrationen zugesetzt (Versuchsreihe a-a; Tab. 3).

Tab. 3. Verwendete Stickstoffkonzentrationen

*Concentrations of nitrogen used*

$\text{NH}_4\text{NO}_3$ mg/l	N absolut mg/l	Mol/l	Nummerierung
0.0128	$4.48 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-7}$	1
0.064	$2.24 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	2
0.32	$1.12 \cdot 10^{-1}$	$8.0 \cdot 10^{-6}$	3
1.6	$5.6 \cdot 10^{-1}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$	4
8.0	2.8	$2.0 \cdot 10^{-4}$	5
40.0	14.0	$1.0 \cdot 10^{-3}*$	6
200.0	70.0	$5.0 \cdot 10^{-3}$	7
1000.0	350.0	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
5000.0	1750.0	$1.25 \cdot 10^{-1}$	9

\* Kontrolle: 1/5

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

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

Tab. 4. Verwendete Phosphorkonzentrationen

*Concentrations of phosphorus used*

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

\* Kontrolle: 1/5

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

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

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

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

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

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

*Bemerkungen zu pH und zum EDTA-Na<sub>2</sub>-Salz.*

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

Tab. 5. Veränderungen des pH-Wertes

*Changes in pH-value*

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

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

*EDTA-Na<sub>2</sub>-Salz:* Nach EYSTER (1966) wird die Wirkung von EDTA-Na<sub>2</sub>-Salz unter anderem durch folgende Faktoren verändert:

- durch das Autoklavieren nimmt der Chelateffekt ab
- durch Beleuchtung verschwindet das EDTA-Chelat innerhalb von acht Tagen fast ganz
- das Verschwinden von EDTA-Na<sub>2</sub>-Salz ist nicht mit der Anwesenheit von Pflanzen verbunden.

Falls aber EDTA-Na<sub>2</sub>-Salz in genügend hoher Konzentration ( $1 \cdot 10^{-3}$  M/l, EYSTER 1966) beigegeben wird, kann es Chelate mit Ionen bilden, die evtl. ohne EDTA giftig wirken könnten.

#### 2.1.3. Wachstumsrate

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

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

#### 2.1.4. Morphologie

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

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

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

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

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

#### 2.1.5. Auswertung

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

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

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

Da das für die Herstellung der Figuren verwendete Plotprogramm (Subroutine

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

## 2.2. Feldversuche

Folgende Faktoren wurden im Feld untersucht:

- Chemismus:  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N, o-P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$
- Physikalische Daten: pH-Wert, Leitfähigkeit
- Artenzusammensetzung und Deckungsgrad

Ferner wurden Beobachtungen über Beschattung, Windeinfluss und Bewirtschaftung gemacht.

### 2.2.1. Gewässeruntersuchungen

#### 2.2.1.1. Probenahmen und Aufbereitung der Proben

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

#### 2.2.1.2. Methoden und Analysen

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

*Chemische Analysen:*

- Nitrat-Stickstoff  $\text{NO}_3^-$ -N: Photometrische Bestimmung mit Natriumsalicylat.

- Ammonium-Stickstoff  $\text{NH}_4^+$ -N: Photometrische Bestimmung als Indophenol (WAGNER 1969).
- ortho-Phosphat o-P: Photometrische Bestimmung nach VOGLER (1965).

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

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

### 2.2.2. Deckungsgrad

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

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

Abb. 6. Verwendeter Deckungsgrad

*Cover data used*

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

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

Die lokalen Skalenwerte wurden tiefer eingestuft als die totalen.

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

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

### 2.3. Untersuchungsgebiete

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

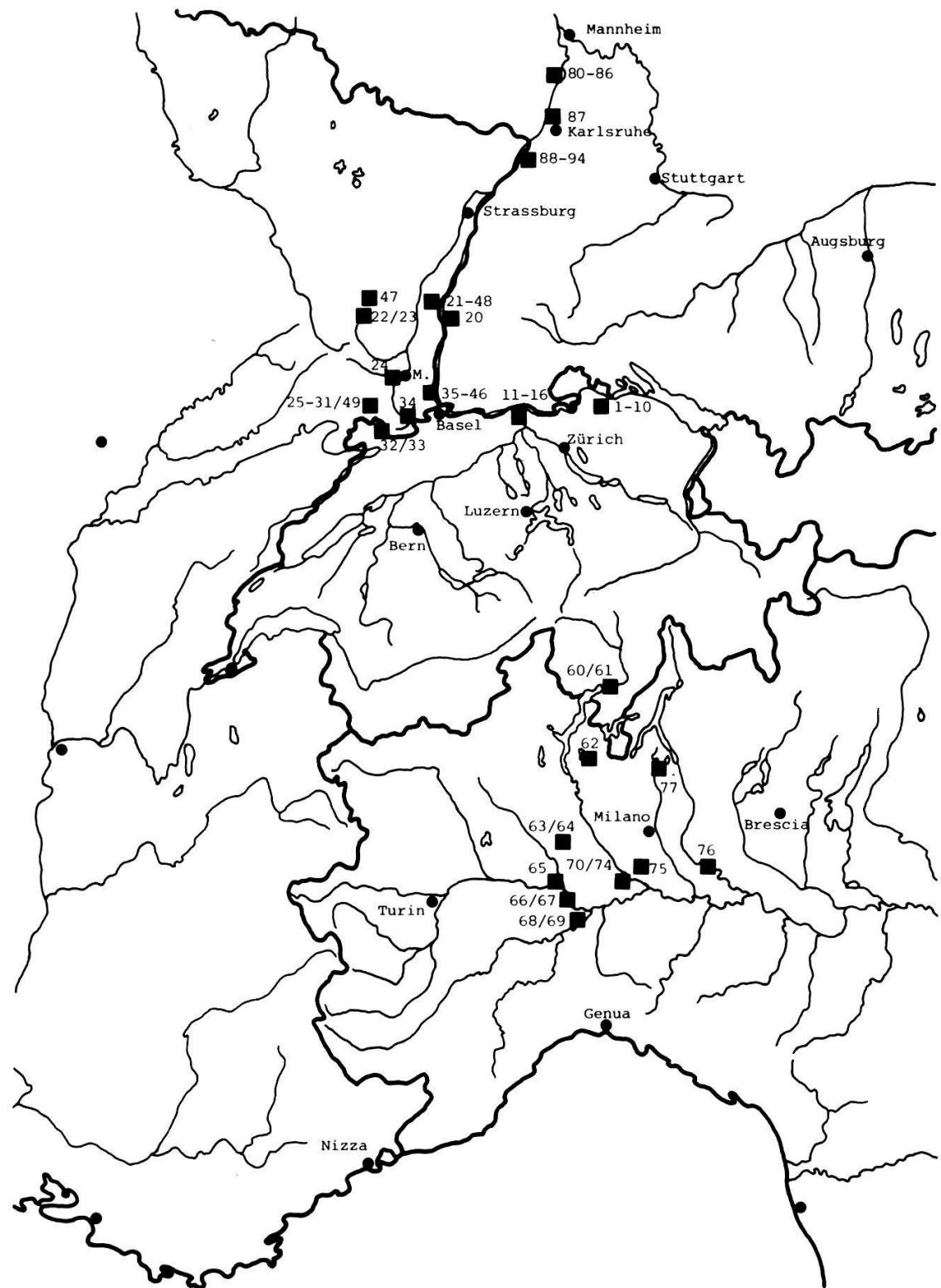


Abb. 3. Geographische Lage der Untersuchungsgebiete  
*Locations of the areas investigated*

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

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

### 2.3.1. Geologie

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

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

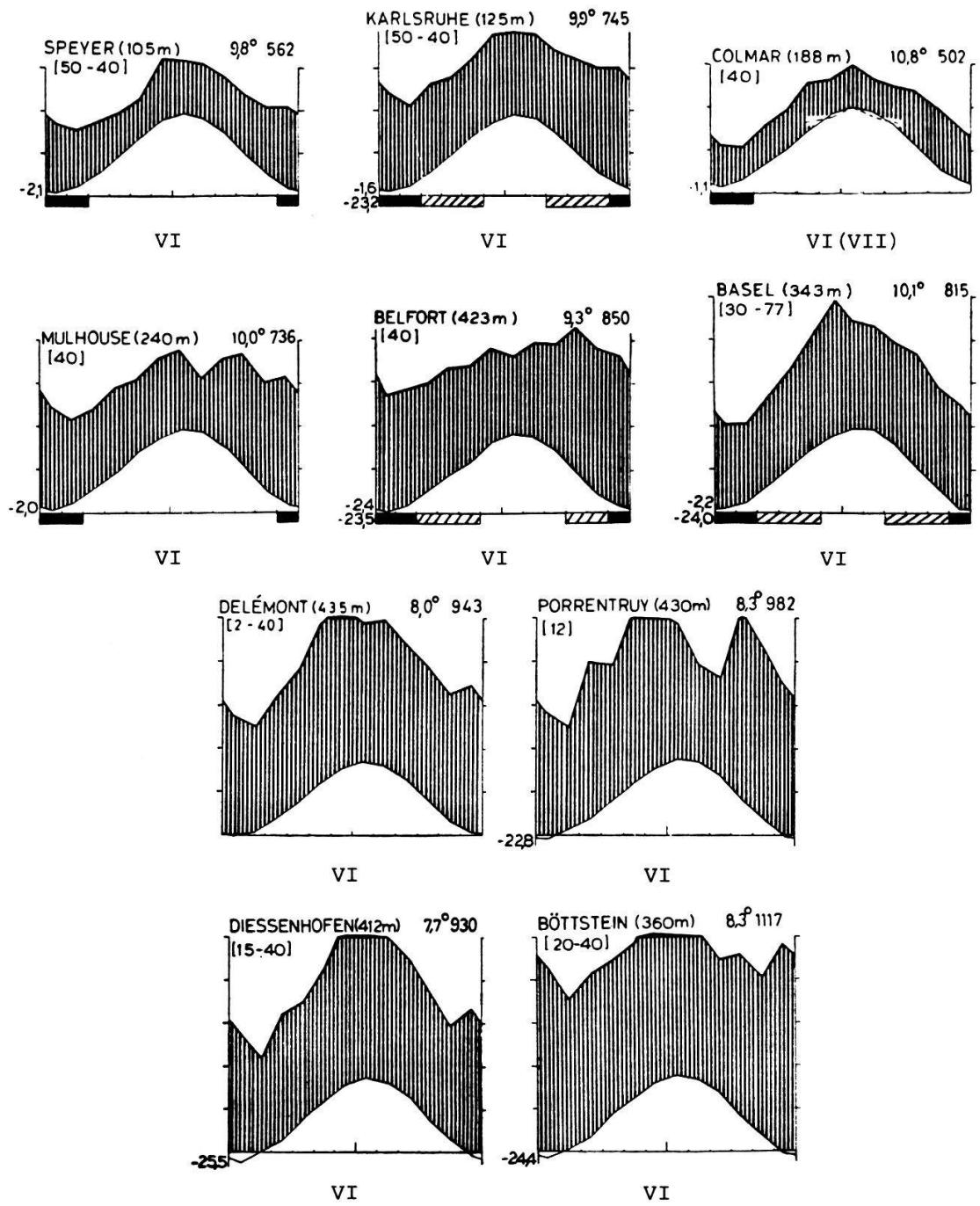


Abb. 4. Klimadiagramme der Untersuchungsgebiete I (a+b) und III (nach WALTER und LIETH 1960-1967).

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

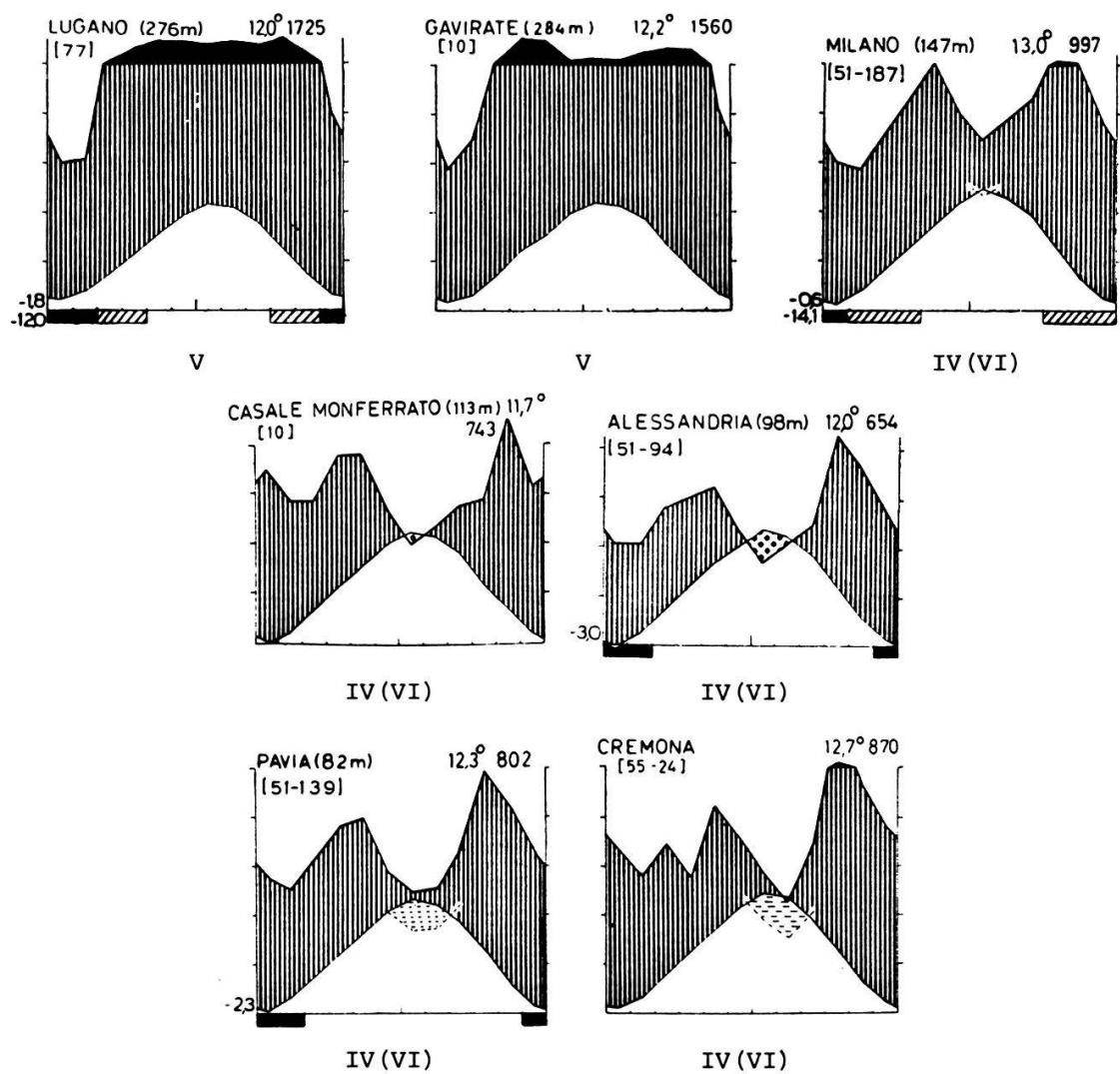


Abb. 5. Klimadiagramme des Untersuchungsgebietes II (nach WALTER und LIETH 1960-1967).

*Climatic diagrams of the investigated area II*

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

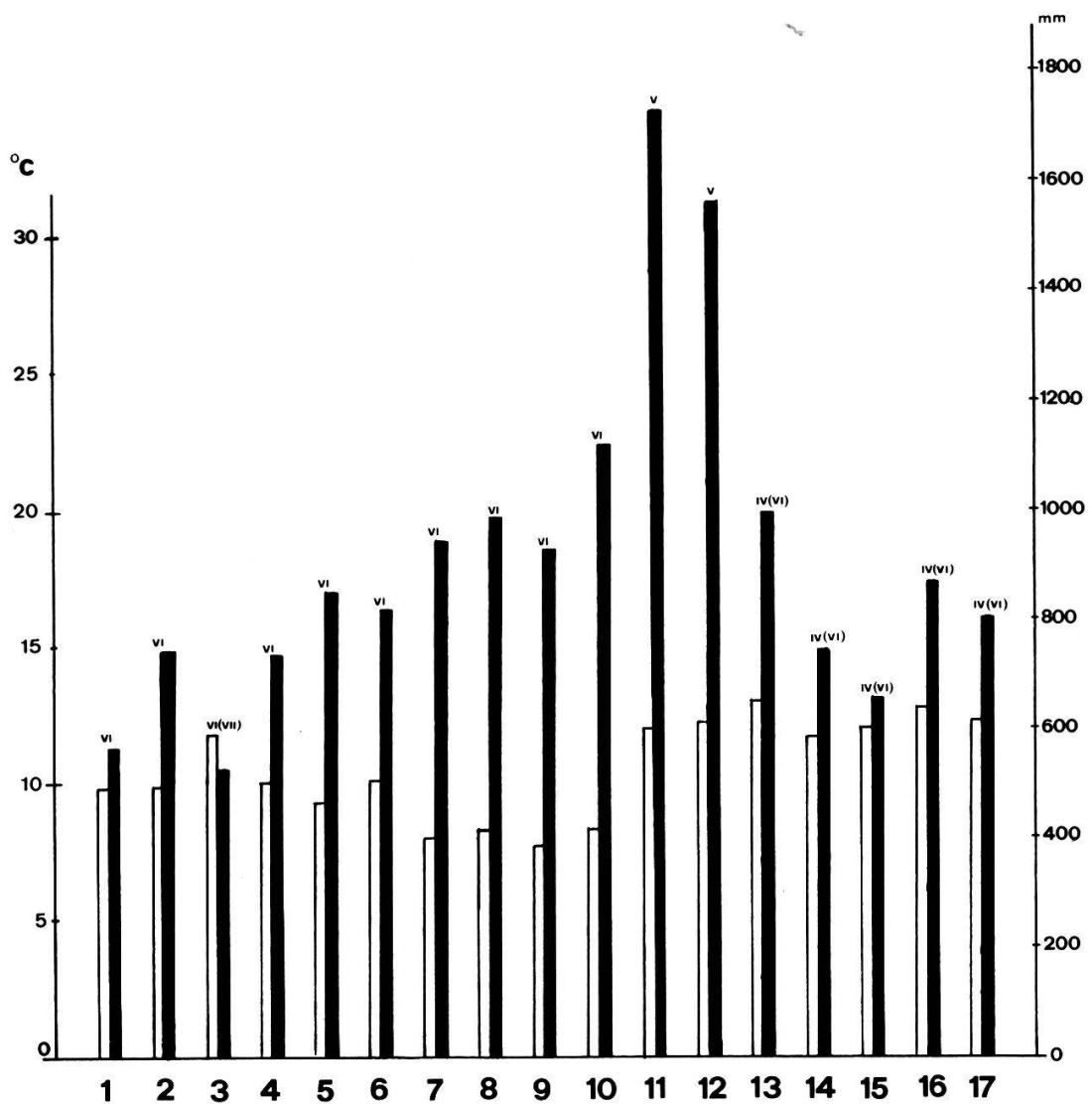


Abb. 6. Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (■), mittlere Jahrestemperatur (□), aus den entsprechenden Klimadiagrammen entnommen, geordnet von Norden nach Süden und von Osten nach Westen.  
Bedeutung der Zahlen 1-17 s. Abb. 11, Seite 56.

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

### 2.3.2. Klima

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

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

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

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Laboruntersuchungen

##### 3.1.1. Wachstumsraten

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