

Fische in einer Aquakultur zur Nährstoffrückgewinnung aus Prozesswasser einer Kompogas- Anlage

Fütterungsversuche mit Karpfen (*Cyprinus carpio*), Schleien (*Tinca tinca*), Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) und Tilapien (*Oreochromis niloticus*)

Master Thesis

Author(s):

Graber, Andreas

Publication date:

1998

Permanent link:

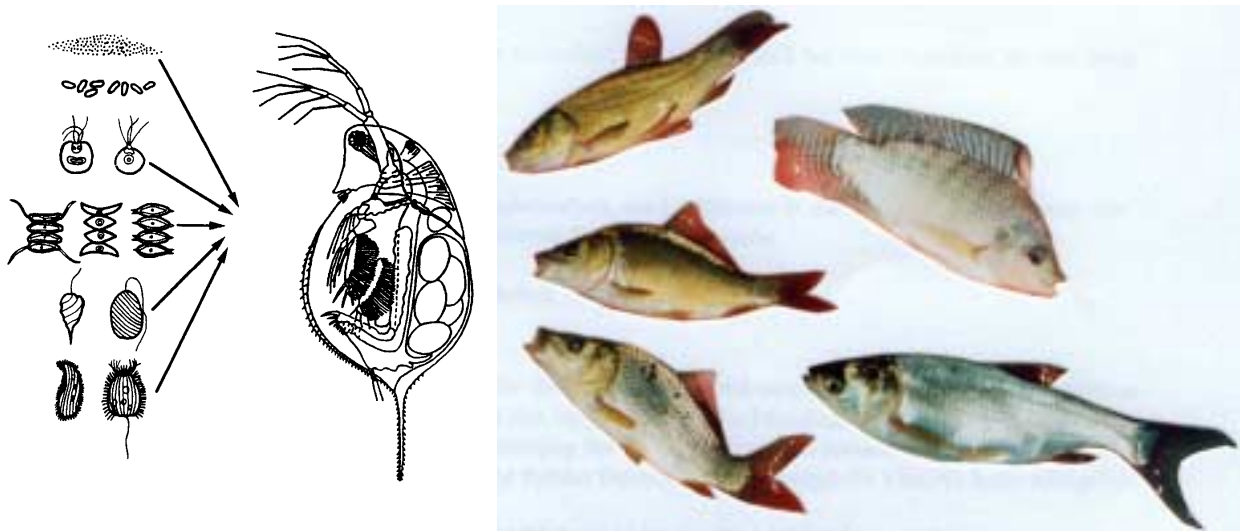
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004422975>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Fische in einer Aquakultur zur Nährstoffrückgewinnung aus Prozesswasser einer Kompogas®-Anlage

Fütterungsversuche mit Karpfen (*Cyprinus carpio*), Schleien (*Tinca tinca*),
Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) und Tilapien (*Oreochromis niloticus*)



Diplomarbeit an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften XB
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

In einem Aquakulturprojekt der Hochschule Wädenswil
in Zusammenarbeit mit W. Schmid AG Umwelttechnik
unterstützt durch die Kommission für Technologie und Innovation des Bundes (KTI)
durchgeführt vom 14. April bis 12. Oktober 1998

von Andreas Graber
Student XB mit Vertiefung in aquatischer Biologie

unter Leitung von Dr. Armin Peter
EAWAG, Forschungszentrum für Limnologie 6047 Kastanienbaum

Titelbild:

Die Nahrungskette in der Aquakultur Otelfingen.

Der Grosse Wasserfloh (*Daphnia magna*) ernährt sich von Bakterien, organischem Detritus, Mikroalgen und Einzellern. Er ist selbst ein Bindeglied in der Nahrungskette und wird seinerseits von Fischen gefressen.

aus: Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. (1995)

Vorwort

Auch in Wissenschaften kann man eigentlich nichts wissen,
es will immer getan sein.

Johann Wolfgang von Goethe

Es erging mir ähnlich wie Goethe. Heute muss ich feststellen, dass der enorme Arbeitsaufwand auf der Aquakultur Otelfingen nur teilweise nötig war. Das Zeitverhältnis von Feldarbeit und Auswertung steht sehr zu Ungunsten der Auswertung, was ich sehr bedaure. Trotz der verlängerten Diplomdauer von sechs Monaten konnten die Daten nur rudimentär aufgearbeitet werden. Dies liegt unter anderem daran, dass die ersten sechs Wochen der Arbeit darin bestanden, vor Ort die Installation der gesamten Aquakultur voranzutreiben, um mit den Versuchen beginnen zu können. Die Einrichtung der Fischbecken, insbesondere die Unterteilung mit Holzwänden beanspruchte nochmals eine Woche.

Mit vielen unvergesslichen Augenblicken bereichert, möchte ich mich bei allen bedanken, die mir diese Arbeit ermöglicht und erleichtert haben.

Mein Dank geht an

Dr. Armin Peter für die Betreuung der Diplomarbeit, die Einführung in das Markieren und Messen der Fische und die Übernahme der Versuchsleitung für die Tierversuche

Dr. Rudolf Müller für die Korrektur der Arbeit

Das Team der Aquakultur Otelfingen:

Dr. Ranka Junge und Jürg Staudenmann für die interessanten Diskussionen, die Korrekturen des Entwurfes und die gelungene Zusammenarbeit in den vergangenen sechs Monaten,
Blanka Müller und Daniel Todt für die Fütterung der Fische an manchen heissen Wochenenden,
Marlène Butz, meinen Vater Daniel, meine Brüder Dominik und Christoph für Mithilfe beim Abfischen

den Erfinder der Kompogas®-Technologie W. Schmid für die Projektinitiative und Realisierung der Aquakultur Otelfingen, die mir die vorliegende Diplomarbeit ermöglicht hat
die Mitarbeiter der Kompogas®-Anlage Otelfingen für die gute Zusammenarbeit während der Bauphase

Dr. Piet Spaak für die Einführung in die Literatursuche mit MacSPIRS und die Bereitstellung von Literaturdaten zu Daphnien und Fischen

Robert Bachofner für die Lieferung der Fische

Dr. Andreas Müller für die Hilfsbereitschaft bei der Beschaffung der Tilapien

Dr. Antonin Mares für die Analyse der Trockensubstanz von Daphnien und Wasserlinsen

Dominik Pérez und Franziskus Graber für die Korrektur des Entwurfes

Zürich, den 12. Oktober 1998

Andreas Graber

Andreas Graber
Wiggendorf
9404 Rorschacherberg

Tel. 071 855 30 86
angrab@swissonline.ch

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	6
Verzeichnis der Abkürzungen	7
Zusammenfassung	8
Summary	9
1. EINLEITUNG	10
1.1 Aquakulturprojekt Otelfingen	10
1.2 Ziele der Diplomarbeit	11
2. GRUNDLAGEN DER AQUAKULTUR	12
2.1 Auswahl und Charakterisierung der Fischarten	12
2.1.1 Karpfen (<i>Cyprinus carpio</i>)	12
2.1.2 Schleie (<i>Tinca tinca</i>)	14
2.1.3 Silberkarpfen (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	15
2.1.4 Tilapie (<i>Oreochromis niloticus</i>)	16
2.1.5 Weitere geeignete Arten	17
2.1.6 Begründung der Artenwahl	18
2.2 Abschätzung des Futterangebotes	19
2.2.1 Algenproduktion	19
2.2.2 <i>Daphnia magna</i> : Biologie und Produktion	19
2.3 Abschätzung der ernährbaren Fischbiomasse	21
2.4 Fragestellungen und Versuchsaufbau	22
2.4.1 Welche Fischart verwertet das produzierte Futter am besten?	22
2.4.2 Wächst der Silberkarpfen mit Algen als Alleinfutter?	22
2.4.3 Gibt es Synergieeffekte in Polykulturen?	22
2.4.4 Welchen Einfluss hat der verfügbare Raum auf die Polykultur?	22
2.4.5 Wieviel schneller wachsen Tilapien bei erhöhter Wassertemperatur?	23
2.4.6 Können Tilapien Wasserlinsen verwerten?	23
2.4.7 Wachsen Koi und gewöhnliche Karpfen gleich gut?	23
2.4.8 Wächst der Karpfen schneller bei höherem Futterlevel?	23
3. MATERIAL UND METHODEN	24
3.1 Beschreibung der Aquakultur Otelfingen	24
3.2 Monitoringkonzept	26
3.3 Wasseranalysen	26
3.4 Fischfutter	27
3.4.1 Algen	27
3.4.2 <i>Daphnia magna</i>	27
3.4.3 Wasserlinsen	30
3.5 Fische	31
3.5.1 Herkunft	31
3.5.2 Einfuhr-, Halte- und Versuchsbewilligung	31
3.5.3 Narkose	31
3.5.4 Längen- und Gewichtsmessung	32
3.5.5 Markieren	33
3.5.6 Abfischen	33

3.5.7 Töten	34
3.5.8 Kenngrößen	35
4. RESULTATE	36
4.1 Wachstum der Fische	36
4.2 Futterquotienten, Wachstumsraten, Fischproduktion	40
4.3 Verluste	41
4.4 Futterqualität	42
4.5 Hälterungsbedingungen	43
5. DISKUSSION	45
5.1 Antworten auf die Fragestellungen	45
5.1.1 Welche Fischart verwertet das produzierte Futter am besten?	45
5.1.2 Wächst der Silberkarpfen mit Algen als Alleinfutter?	46
5.1.3 Gibt es Synergieeffekte in Polykulturen?	46
5.1.4 Welchen Einfluss hat der verfügbare Raum auf die Polykultur?	47
5.1.5 Wieviel schneller wachsen Tilapien bei erhöhter Wassertemperatur?	47
5.1.6 Können Tilapien Wasserlinsen verwerten?	48
5.1.7 Wachsen Koi und gewöhnliche Karpfen gleich gut?	48
5.1.8 Wächst der Karpfen schneller bei höherem Futterlevel?	48
5.2 Fischproduktion	49
5.3 Fischkrankheiten	51
5.3.1 Karpfenlaus (<i>Argulus foliaceus</i>)	51
5.3.2 <i>Lernea cyprinacea</i>	52
5.3.3 Weisspünktchenkrankheit (<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>)	53
5.3.4 Pilzkrankheit (<i>Saprolegnia</i>)	54
5.3.5 Kiemenwurm (<i>Dactylogyrus sp.</i>)	55
5.3.6 Schwarzfleckenkrankheit	55
5.4 Beobachtungen und Bemerkungen	55
6. FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	57
6.1 Theoretisches Produktionspotential in der Aquakultur	57
6.2 Empfehlungen für die Fischkultur	57
6.3 Forschungsbedarf	58
7. LITERATURVERZEICHNIS	59
Weiterführende Literatur	62
ANHANG	63

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

<i>Abbildung 1: Wildkarpfen</i>	13
<i>Abbildung 2: Spiegelkarpfen</i>	13
<i>Abbildung 3: Farbkarpfen, Koi</i>	14
<i>Abbildung 4: Schleie</i>	14
<i>Abbildung 5: Silberkarpfen</i>	16
<i>Abbildung 6: Tilapie</i>	1
<i>Abbildung 7: Graskarpfen, Marmorkarpfen und Brachsen</i>	18
<i>Abbildung 8: Körperbau einer Daphnia sp.</i>	20
<i>Abbildung 9: Die aquatische Nahrungskette von der Alge zum Fisch</i>	20
<i>Abbildung 10: Gesamtanlage Aquakultur Otelfingen</i>	24
<i>Abbildung 11: Fischbecken: Besatz und Wasserflüsse</i>	24
<i>Abbildung 12: Anordnung der Aquarien</i>	25
<i>Abbildung 13: Planktonnetz und Secchi-Scheibe</i>	1
<i>Abbildung 14: Wägen der Daphnien</i>	28
<i>Abbildung 15: Fütterung der Wasserlinsen</i>	30
<i>Abbildung 16: Material für die Fischmessung</i>	32
<i>Abbildung 17: Markierungen an den Fischen</i>	33
<i>Abbildung 18: Wachstum der Schleien in Monokultur</i>	36
<i>Abbildung 19: Wachstum der Karpfen in Monokultur</i>	36
<i>Abbildung 20: Wachstum der Tilapien in Monokultur</i>	36
<i>Abbildung 21: Wachstum der Silberkarpfen in Monokulturen</i>	37
<i>Abbildung 22: Wachstum der Karpfen und Schleien in Polykultur</i>	37
<i>Abbildung 23: Wachstum der Karpfen, Schleien und Tilapien in Polykultur</i>	38
<i>Abbildung 24: Wachstum der Karpfen, Schleien und Silberkarpfen in Polykultur</i>	38
<i>Abbildung 25: Wachstum der Karpfen, Schleien, Silberkarpfen und Tilapien in Polykultur</i>	39
<i>Abbildung 26: Wachstumsraten nach Art und Becken</i>	40
<i>Abbildung 27: Wassertemperatur während der Versuchszeit</i>	43
<i>Abbildung 28: Wochengang der Wassertemperatur</i>	44
<i>Abbildung 29: Sichttiefen in den Fischbecken</i>	44
<i>Abbildung 30: Larvenstadien von Argulus japonicus</i>	51
<i>Abbildung 31: Entwicklungsstadien von Lerneä cyprinacea</i>	52
<i>Abbildung 32: Lebenszyklus von Ichthyophthirius multifiliis</i>	54
<i>Tabelle 1: Steckbriefe der eingesetzten Fischarten</i>	12
<i>Tabelle 2: Futterangebot in der Aquakultur</i>	21
<i>Tabelle 3: Bestellung der Fische</i>	21
<i>Tabelle 4: Kenndaten der Aquakultur Otelfingen</i>	24
<i>Tabelle 5: Monitoringkonzept</i>	26
<i>Tabelle 6: Vergleich von Daphnien und Wasserlinsen mit konventionellem Futter</i>	29
<i>Tabelle 7: Aminosäuren in Daphnien und konventionellem Futter</i>	29
<i>Tabelle 8: Futterquotient und Wachstumsrate</i>	40
<i>Tabelle 9: Produzierte Fischbiomassen</i>	41
<i>Tabelle 10: Bilanz der Anzahl Fische</i>	41
<i>Tabelle 11: Zusammensetzung des Futters</i>	42
<i>Tabelle 12: Mittelwerte der Wassertemperatur</i>	43
<i>Tabelle 13: Prozentuale Zusammensetzung der Futterdiäten</i>	45
<i>Tabelle 14: Wachstumsleistungen aus der Literatur</i>	46
<i>Tabelle 15: Futtermittel für den Karpfen</i>	49
<i>Tabelle 16: Futterquotienten und Wachstumsraten</i>	50
<i>Tabelle 17: Zusammensetzung des Fischkörpers</i>	50

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	[Einheit]	Name
	min	Minuten
	h	hour, Stunde
	d	day, Tag
Aq		Aquarium
cf.		lateinisch: confer, deutsch: siehe
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$	englisch: Electric conductivity, deutsch: Elektrische Leitfähigkeit
FG	g	Frischgewicht
FQ	-	Futterquotient, aufgenommene Nahrung · (Fischzuwachs) ⁻¹
KG	g	Körpergewicht
KI	-	Konditionsindex, $\text{KG} \cdot 100 \cdot (\text{Fischlänge})^{-3}$
K		Karpfen
OS	g	Organische Substanz
S		Schleie
SK		Silberkarpfen
SWR	$\% \text{KG} \cdot \text{d}^{-1}$	Spezifische Wachstumsrate
TG	g	Trockengewicht
TS	g	Trockensubstanz
vs		lateinisch: versus, deutsch: gegenüber

Zusammenfassung

Stichwörter: *Cyprinus carpio*, *Tinca tinca*, *Oreochromis niloticus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, Aquakultur, Kompogas, Nährstoffrückgewinnung, *Lemna ssp.*, *Daphnia magna*

Die W. Schmid AG Umwelttechnik betreibt in Otelfingen eine Kompogas®-Anlage zur Vergärung von Biomasse und Biogasproduktion. 1998 wurde neben der Anlage eine Aquakultur errichtet mit dem Ziel, die Nährstoffe dem anfallenden Prozesswasser zu entziehen. Mit dem Zusatzmodul Aquakultur soll die Nährstoffrückgewinnung des Kompogas®-Systems verbessert werden. Als wissenschaftlicher Partner betreut die Hochschule Wädenswil (HSW) die Aquakultur Otelfingen.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte die Frage geklärt werden, ob die Zwischenprodukte der Aquakultur durch Fische verwertet werden können. Damit sollten die anorganischen Nährstoffe über eine aquatische Nahrungskette in für den Menschen nutzbare Biomasse überführt werden.

Als Fischfutter standen Wasserflöhe (*Daphnia magna*) und Wasserlinsen (*Lemna ssp.*) zur Verfügung. Eingesetzt wurden Karpfen (*Cyprinus carpio*), Schleien (*Tinca tinca*), Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) und Tilapien (*Oreochromis niloticus*). Es wurde abgeklärt, welche Arten sich unter den gegebenen Umständen für den Einsatz in der Aquakultur eignen. Der Zuwachs der Fische in Monokulturen wurde mit dem in Polykulturen verglichen, und der Futterquotient verschiedener Diäten bestimmt.

Der durchschnittliche Futterquotient von Karpfen betrug 2.2 (Diät aus 38% Daphnien und 62% Wasserlinsen), von Schleien 2.3 (72% Daphnien, 28% Wasserlinsen) und von Tilapien 1.6 (59%, 41%). Tilapien zeigten unter guten Bedingungen die gleichen Zuwachsraten wie Karpfen (2.3 versus $2.4\% \cdot d^{-1}$), während die Schleien nur halb so schnell wuchsen ($1.0\% \cdot d^{-1}$). Bei tieferem Futterlevel ($13\% \cdot d^{-1}$ Frischgewicht) zeigten die Tilapien das beste Wachstum, gefolgt von Karpfen und Schleien (Zuwachsraten 1.8 , 0.6 , $0.1\% \cdot d^{-1}$).

Die Hälterung von Tilapien in 47° nördlicher Breite ist problematisch. Infolge einer Absenkung der Wassertemperatur von 22 auf $17^\circ C$ innert fünf Tagen waren hohe Verluste zu verzeichnen (93 von 105 Fischen). Die erwähnten Zuwachsleistungen wurden bei einer Wassertemperatur von $22^\circ C$ ermittelt. Es wurde somit belegt, dass Tilapien während der Sommermonate Juni bis September auch in der Teichhaltung konkurrenzfähige Alternativen zu den traditionellen Teichfischen Karpfen und Schleien darstellen.

Der Silberkarpfen wuchs in Polykultur mit den anderen Arten deutlich schneller als in Monokultur (1.3 versus $0.6\% \cdot d^{-1}$). Karpfen und Tilapien wuchsen in Poly- und Monokultur gleich. Schleien zeigten in Polykultur leicht reduzierte Wachstumsleistung (0.2 versus $0.1\% \cdot d^{-1}$).

Zweisömmrige Karpfen und Schleien nahmen stetig ab ($-0.25\% \cdot d^{-1}$). Offensichtlich konnten sie die Diät aus 17% Daphnien und 83% Wasserlinsen nicht verwerten, oder der Futterlevel war mit total $10\% \cdot d^{-1}$ Frischgewicht zu tief.

In der Versuchsperiode nahmen Karpfen, Schleien und Tilapien insgesamt um 4.36 kg an Frischgewicht zu. Bei der benötigten Futtermenge (Frischgewicht) von 63.4 kg Daphnien und 115 kg Wasserlinsen entspricht dies einem durchschnittlichen Futterquotient von 2.2 .

Summary

Keywords: *Cyprinus carpio*, *Tinca tinca*, *Oreochromis niloticus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, aquaculture, Kompogas, biogas-plant effluent, nutrient recycling, *Lemna ssp.*, *Daphnia magna*

W. Schmid Inc., Environmental Science Division runs several biogas-plants in Switzerland (Kompogas@-System). In 1998 an aquaculture pilot plant was built in Otelfingen near Zurich in order to improve the nutrient recycling efficiency of the combined plant. The aim was to remove inorganic nutrients from wastewater of the biogas-plant and to produce valuable goods. A research partnership with the University of Applied Sciences Wädenswil (HSW) was established. Its task was to design the plant and pursue scientific research in the aquaculture.

This diploma thesis questions the possibilities of using the primary products as fish food, and thus to convert inorganic nutrients through an aquatic food web into goods suitable for human consumption.

Fish food consisted of water fleas (*Daphnia magna*) and duckweed (*Lemna ssp.*). Fish species were introduced as follows: Common carp (*Cyprinus carpio*), tench (*Tinca tinca*), silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The suitability of these species under conditions given in the aquaculture were investigated. Fish were stocked both in mono- and polyculture, and growth rates and feed conversion was compared.

Feed conversion (FQ) of common carp reached 2.2 with a diet consisting of 38% daphnia and 62% duckweed. Tench showed a similar conversion efficiency (2.3, diet 72% daphnia, 28% duckweed) and tilapia incorporated the given feeds the best (1.6, 59%, 41%). Under favorable conditions, growth rates of tilapia and common carp were equal (2.3 and 2.4% · d⁻¹), whereas tench grew only half as fast (1.0% · d⁻¹). When feeding level was lower (13% · d⁻¹ fresh weight), tilapia showed the best growth rate, followed by common carp and tench (1.8, 0.6, 0.1% · d⁻¹).

Under conditions of site location (latitude 47 ° N), culture of tilapia can impose severe problems. As a result of a decrease in water temperature from 22 to 17°C within five days high mortality occurred (93 out of 105 fishes). Growth rates mentioned above were determined at 22 °C water temperature. Therefore it is stated that tilapia can be a competitive species with common carp and tench in pond culture during summer months (June to September).

Silver carp grew faster in poly- than in monoculture (1.3 versus 0.6% · d⁻¹). Common carp and tench showed no difference between the two treatments (0.2 versus 0.1% · d⁻¹). Two year old common carp and tench continuously lost weight (-0.25% · d⁻¹). Obviously, they could not digest the diet consisting of 17% daphnia and 83% duckweed, or the feeding level was simply too low (10% · d⁻¹ fresh weight).

During the experimental period of 115 days common carp, tench and tilapia together gained 4.36 kg fresh meat. Total feeds consumed (fresh weight) reached 63.4 kg daphnia and 115 kg duckweed, the average feed conversion of the three species equaled 2.2.

1. EINLEITUNG

1.1 Aquakulturprojekt Otelfingen

Der Fachbereich Freilandpflanzen der Hochschule Wädenswil (HSW) beschäftigt sich seit fünf Jahren mit der Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser in Aquakulturen. Im Frühjahr 1997 wurde ein von der Kommission für Technologie und Innovation des Bundes (KTI) unterstütztes Projekt in Zusammenarbeit mit der W. Schmid AG Umwelttechnik in Glattbrugg gestartet.

Das KTI-Forschungsprojekt Nr. 3487.2 trägt den Titel

«Entwicklung eines Aquakulturverfahrens
zur Nutzung des Prozesswassers einer Vergärungsanlage
zur Produktion von Biomasse»

und wird Ende Juni 1999 abgeschlossen.

Die W. Schmid AG betreibt in Otelfingen ZH eine Kompogas®-Anlage, in der kommunale Grünabfälle zu Biogas und Kompost vergärt werden. Dabei fallen jährlich rund 2'500 m³ Prozesswasser mit einem hohen Gehalt an Nährstoffen an. Ein Grossteil wird zusammen mit der Komposterde in die Landwirtschaft zurückgeführt. Überschüsse an Prozesswasser werden vorgereinigt in die Kanalisation entlassen. Schwankungen in der Abnahme dieses Flüssigdüngers, Fragen der Rest- und Überbelastung in der regionalen ARA sowie das Bestreben, die regionalen Stoffkreisläufe zu schliessen, veranlassten die W. Schmid AG, das laufende Forschungsprojekt zu lancieren.

Ziel des Projektes ist die Umwandlung der Nährstoffe in nutzbare Produkte. Dazu gehört die Auswahl und das Testen verschiedener aquatischer Organismen sowie Aspekte der Dimensionierung, Steuerung und Überwachung der Prozesse. Hinter dem Ansatz der Abwasserbehandlung durch Einleiten in produktive Aquakultursysteme steht die Idee des «ecological engineering».

Parallel zur vorliegenden Arbeit führten zwei weitere Studierende ihre Diplomarbeit auf der Anlage in Otelfingen durch. Blanka Müller (Zoologie an der Universität Zürich, Betreuer Dr. Georg Ribi) untersuchte die Einsatzmöglichkeiten und das Wachstum des Edelkrebses (*Astacus astacus*). Die Arbeit hatte die Aufzucht zu Speisekrebsen und deren Vermehrung zum Ziel.

Daniel Todt (Gartenbau an der Hochschule Wädenswil, betreut von Dr. Ranka Junge-Berberovic und Jürg Staudenmann) prüfte die Nährstoffelimination mittels Wasserpflanzen (Todt 1998). Seine Arbeit konzentrierte sich auf die schwimmenden Wasserpflanzen Wasserhyazinthe (*Eichhornia crassipes*), Wassersalat (*Pistia stratiotes*) und Wasserlinsen (*Lemna sp.*). Ziel war die Elimination von Stickstoff und Phosphor bei gleichzeitiger Produktion von vermarktbareren Zierpflanzen.

1.2 Ziele der Diplomarbeit

Die trophische Stufe der Fische war ein Bestandteil des Grundkonzeptes des Projektes. Die Absicht bestand darin, die Zwischenprodukte der Aquakultur effizient in Speisefische umzusetzen. Auf zusätzliches Handelsfutter sollte nach Möglichkeit verzichtet werden. Durch den Aufbau einer aquatischen Nahrungskette sollten die anorganischen Nährstoffe in für den Menschen nutzbare Biomasse überführt werden. Diese Nahrungskette verläuft vom Prozesswasser als Dünger für Pflanzen und Algen über Wasserflöhe als deren Konsumenten bis hin zu Fischen

Als Fischfutter standen somit Wasserflöhe (*Daphnia magna*) und Wasserlinsen zur Verfügung. Aus dem übergeordneten Ziel ergaben sich drei Fragekomplexe:

- Welche Fischarten eignen sich unter den gegebenen Umständen in der Aquakultur?
- Sind Monokulturen sinnvoll, oder zeigen Polykulturen wünschbare Synergieeffekte?
- In welcher Dichte sollen die Fische gehalten werden?

Die detaillierten Fragestellungen werden in Kapitel 2.4 beschrieben.

2. GRUNDLAGEN DER AQUAKULTUR

2.1 Auswahl und Charakterisierung der Fischarten

Tabelle 1: Steckbriefe der eingesetzten Fischarten

	Karpfen <i>Cyprinus carpio</i>	Schleie <i>Tinca tinca</i>	Silberkarpfen <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Tilapie <i>Oreochromis niloticus</i>
Familie	Cyprinidae	Cyprinidae	Cyprinidae	Cichlidae
Englischer Name	Common carp	Tench	Silver carp	Tilapia
Verbreitungsgebiet	Asien, Europa	Europa und in Asien bis zum Baikalsee	Flüsse in Ostasien	Afrika Asien
Schweiz	einheimisch	einheimisch	nicht einheimisch	nicht einheimisch
Aussehen	Vier Bartfäden, lange Rückenflosse, Hartstrahl an Rücken-, Brust- und Afterflossen	Zwei kurze Bartfäden, runde Flossen, olivgrüner Rücken und Seiten, winzige Schuppen, rote Augen	Seitlich abgeflacht, silbrige Seiten, kleine Schuppen. oberständiges Maul, Bauchlinie bildet Kiel	Hartstrahlen an Rücken-, Brust- und Afterflossen Seitenlinie versetzt
Schuppen entlang der Seitenlinie	33-40	95-120		
Durchschnittliche Grösse	1 m, 15 kg	30 cm, 1 kg	20 kg	
Maximale Grösse	137 cm, 24 kg	70 cm, 8 kg		50 cm, 3kg
Erreichbares Alter [J]	30-50	30		
Laichzeit	Mai/Juni Juli/August	Mai- Juli		Ganzjährig
Laichtemperatur [°C]	>20	>20	>24	> 21 (25-30)
Laichsubstrat	Überflutete Wiesen, Wasserpflanzen	Schilf, Wasserpflanzen	(Eier schwimmen im Fluss)	Kies, Sand (Maulbrüter)
Anzahl Eier	100'000 / kg Fisch	100'000 / kg Fisch		100-2'000 / Gelege
Eidurchmesser [mm]	1	0.8-1.0		2.3-2.8
Nahrung	Bodentiere, Pflanzen	Bodentiere, Pflanzen	Planktische Schwebalgen	Allesfresser
Temperatur [°C]	1-33	1-30	1-35	13-40
pH-Bereich	5-11			
Weltproduktion 1991 [1000 t], Rang	1'184 2	1.6 -	1'462 1	253 8

2.1.1 Karpfen (*Cyprinus carpio*)

Der Karpfen wird seit Jahrhunderten als Nutzfisch gehalten und ist heute nach der Regenbogenforelle der wichtigste Teichfisch Europas. In der Schweiz wird er heute kaum noch gezüchtet, der Bedarf wird mit Importfischen aus Deutschland und Österreich gedeckt. Weltweit ist er der zweitwichtigste Nutzfisch (Tacon und De Silva 1997). Durch Züchtung entstanden viele Rassen, die zum Teil beträchtlich von der Wildform abweichen. Davon haben sich lediglich zwei Formen etabliert: der Spiegelkarpfen und der Schuppenkarpfen (Haas 1997). Der Körperbau des Schuppenkarpfens entspricht am ehesten dem des ursprünglichen Wildkarpfens. Der Spiegelkarpfen ist hochrückiger gebaut, seine Haut ist schuppenlos. Nur an den Flossenansätzen befinden sich wenige, dafür grössere Schuppen. In Japan wurden in den letzten 200 Jahren verschiedene Farbvarianten gezüchtet. Diese Koi unterscheiden sich nebst ihrer

auffälligen Körperfarbe nicht von normalen Karpfen. Bei gewissen Varianten hatte die Selektion auf Farbschönheit negative Folgen auf die Wachstumsleistung (Pers. Mitteilung Sigi Lehmann).

Die nachtaktiven Karpfen leben in kleinen Gruppen in stehenden und langsam fließenden Gewässern mit schlammigem Grund und reichem Pflanzenbestand. Am Unterlauf von Strömen kommen sie auch im Brackwasser bei Salzkonzentrationen von 2 ‰ vor (Haas 1997). Sinkt die Wassertemperatur unter 8 °C, stellen sie die Nahrungsaufnahme ein und überdauern den Winter am Grund des Gewässers. Bis zum Frühling verlieren sie so 5-15% ihres Gewichtes. Deshalb ist es wichtig, dass sie im Sommer und Herbst genügend Fettreserven anlegen.

Das Maul mit den dicken Lippen ist vorstülpbar und zum Aufsaugen von Bodenschlamm geeignet. Als Allesfresser ernährt sich der Karpfen von Fischbrut, Wasserpflanzen und Bodentieren. Notfalls wird der Darm mit Detritus gefüllt. Viele Teichwirte betreiben gleichzeitig Landwirtschaft, so dass die Verwendung von Landwirtschaftsprodukten als Futtermittel auf der Hand liegt (cf. Tab. 16).



Abbildung 1: Wildkarpfen



Abbildung 2: Spiegelkarpfen



Abbildung 3: Farbkarpfen, Koi

2.1.2 Schleie (*Tinca tinca*)

Die Schleie kommt als eurasische Art in ganz Europa und in Asien bis zum Baikalsee vor. Sie erträgt Salzkonzentrationen bis 12 ‰ und kommt deshalb auch im Brackwasser der Ostsee vor. In Australien, Neuseeland, Afrika, Nordamerika und Südostasien wurde sie eingeführt (Steffens 1995). Ihre Erkennungsmerkmale sind zwei kurze Bartfäden an der Oberlippe, runde Flossen und eine olivgrüne Färbung des Rückens und der Seiten. Die Schuppen sind winzig und kaum erkennbar. Der ganze Fisch ist sehr schleimig und mit blossen Händen schwierig zu fassen. Die Bauchflossen haben bei den Männchen einen verdickten zweiten Flossenstrahl und ragen meist über die Afterregion hinaus (Haas 1997).

Die Schleie ist ein typischer Teichfisch und bevorzugt stehende Gewässer mit schlammigem Grund. Sie ernährt sich von Bodentieren und verschmäht auch Pflanzendetritus nicht. Ihr Nahrungsspektrum ähnelt dem des Karpfen. Wie dieser hält sie in der kalten Jahreszeit im Schlamm vergraben Winterruhe. Ausführliche Informationen über Fortpflanzung, Ernährung, Wachstum, Anfälligkeit auf Krankheiten und Vermarktung sind in Steffens (1995) enthalten.



Abbildung 4: Schleie

Sukop und Adamek (1995) untersuchten das Verhalten von Schleien in Polykultur mit Karpfen, Silberkarpfen, Marmorkarpfen und Graskarpfen. Sie fanden, dass die Schleie die grösste Anpassungsfähigkeit in der Futterwahl zeigt und fast alle im Teich vorhandenen Futterarten annimmt.

Schleien sind delikate Speisefische. Meist werden sie dreisömrig angeboten und wiegen dann 200-300 g. Da Zuwachs und Futterquotient bedeutend schlechter sind als beim Karpfen und sie für diesen eine Nahrungskonkurrentin darstellt, wird sie immer seltener gehalten (Haas 1997, Steffens 1995).

2.1.3 Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*)

Der Silberkarpfen, auch Tolstolob oder Silberamur genannt, stammt aus den Unterläufen der grossen Ströme Huangho, Jangtse und Amur in Ostchina (Müller 1995). Seine Körperform ist seitlich stark zusammengedrückt. Der mit kleinen Schuppen bedeckte Körper glänzt silbrig, was dem Fisch seinen Namen gab. Die Bauchlinie bildet von den Kiemen bis zur Afterflosse einen ausgeprägten Kiel. In der Mundhöhle des oberständigen Maules befinden sich Leitleisten, die das Wasser zu den Kiemen führen. An den inneren Kiemenbögen hat der Silberkarpfen eine Siebfläche. Damit filtert der Fisch Algen, kleines Zooplankton und Detritus aus dem Wasser (Haas 1997).

Zahlreiche Untersuchungen befassten sich mit dem Nahrungsspektrum dieses weltweit am meisten produzierten Fisches. Seine Fähigkeit, Schwebalgen zu verwerten, machen ihn zu einem idealen Begleitfisch in der traditionellen Teichwirtschaft. Die mit der Intensivierung der Landwirtschaft einhergehende Eutrophierung vieler Gewässer förderte die Entwicklung von unangenehmen Algenblüten. Da diese eine optimale Futterquelle für den Silberkarpfen darstellen, wurde die Möglichkeit der Seesanieung durch diesen Fisch mehrfach diskutiert. Auch in der Schweiz wurde er eingesetzt (Müller 1995).

Vörös, Oldal et al. (1997) fanden, dass Silberkarpfen Algen unter 10 µm nicht mehr aufnehmen können. Smith (1989) kam zum selben Schluss, als er die Filtrierrate in Abhängigkeit der Partikelgrösse mass. Er stellte fest, dass 32 g schwere Silberkarpfen Partikel mit einem Durchmesser von mehr als 70 µm mit der maximalen Rate von 18.3 l/h filtern. Kleinere Partikel werden mit abnehmender Grösse weniger gefressen, unter 10 µm liegt die Rate bei Null. Spataru, Wohlfarth et al. (1983) verglichen die Nahrungspräferenzen von Silberkarpfen und Marmorkarpfen (*Hypophthalmichthys nobilis*) und deren Hybrid (*H. molitrix* x *H. nobilis*) in gedüngten Polykulturteichen. Magenanalysen zeigten, dass der Silberkarpfen 88-95 % Phytoplankton frass, der Marmorkarpfen 75-95 % Zooplankton und der Hybrid seinen Magen mit je etwa der Hälfte von beidem füllte. Die Maschenweite der Kiemensiebe lag bei 36, 84 und 56 µm.

Cremer und Smitherman (1980) untersuchten die Nahrungswahl und das Wachstum von Silber- und Marmorkarpfen. Sie fanden, dass der Marmorkarpfen wie der Silberkarpfen Phytoplankton frass, zusätzlich aber grosse Mengen Zooplankton und Detritus aufnahm. Die Fische hatten sich auf eine verschiedene Partikelgrösse spezialisiert: Der Marmorkarpfen filterte grössere Partikel (17-3'000 µm) als der Silberkarpfen (8-100 µm). Beiden Arten wurden schwimmende Pellets gefüttert: Der Marmorkarpfen frass und wuchs dementsprechend besser, der Silberkarpfen liess sie unbeachtet. Dong und Li (1994) bestätigten, dass Silberkarpfen kleinere Partikel (Phytoplankton) effizienter filtern als der Marmorkarpfen, der grössere Partikel (Zooplankton) besser aufnahm. Bei Planktongrössen von 70 µm hatten die Fische etwa ähnliche Filtrierraten.

Bitterlich und Gnaiger (1984) stellten fest, dass sich kleines Zooplankton, Rotatorien und Nauplien im Magensaft des Silberkarpfens rasch auflösten, während Algenzellen unbeschädigt blieben. Daraus schlossen sie, dass der Silberkarpfen möglicherweise ein Allesfresser sein müsse, um eine positive Energiebilanz zu erreichen, aufgrund von Magenanalysen aber irrtümlicherweise angenommen wurde, er sei ein streng phytoplanktivorer Fisch.

Der Silberkarpfen ist beim Abfischen schonend zu behandeln. Seine Haut ist sehr empfindlich und der geringste Druck ruft Blutungen hervor. Im verschmutzten Restwasser bei Teichabfischungen verschlammten die Kiemensiebe sehr schnell und die Fische können ersticken (Haas 1997). Ein weiterer Nachteil des Silberkarpfens liegt in seinem Verhaltenstyp. Er ist sehr nervös und erschrickt leicht, was

seine Handhabung erschwert. Bei ziellosen Sprüngen können sich die Fische ernsthaft verletzen. Dieses Verhalten kann durch Hybridisieren mit dem Marmorkarpfen korrigiert werden (Horvath und Tamas 1984). Ein weiterer Vorteil des Hybridfisches liegt in der weniger druckempfindlichen Haut (Haas 1997).

Der Fisch eignet sich gut zum Grillieren und Braten, da das Fleisch trocken ist. Das Fett wird konzentriert im Bauchkiel abgelagert und kann deshalb vor der Zubereitung entfernt werden (Haas 1997).



Abbildung 5: Silberkarpfen

2.1.4 Tilapie (*Oreochromis niloticus*)

Die Tilapie gehört zur artenreichen Familie der Buntbarsche (*Cichlidae*). Typisches Kennzeichen dieser Familie ist die lange Rückenflosse, bei der das erste Dutzend Flossenstrahlen als Hartstrahlen (Stacheln) ausgebildet ist. Die Seitenlinie ist auf Höhe der Afterflosse unterbrochen und nach unten versetzt.

Das Verbreitungsgebiet des Nilbarsches erstreckt sich neben dem Ursprungskontinent Afrika mittlerweile auf alle tropischen und subtropischen Regionen, begrenzt durch die 20 °C Winterisotherme (Balarin 1979). Tilapien sind revierbildend und in der Laichzeit sehr aggressiv gegenüber Artgenossen. Andere Männchen werden vertrieben und die Weibchen heftig umworben. Die Fische sind ovophile Maulbrüter. Die Männchen graben Laichgruben und locken Partnerinnen aus ihrer Umgebung an. Diese legen ihre Eier ab und nehmen sie sofort nach der Befruchtung ins Maul. Nach fünf Tagen schlüpfen die Fischlarven im Maul der Mutter und verlassen es zur Nahrungssuche. Während sieben Tagen dient es ihnen noch als Zufluchtsort bei drohender Gefahr. Die Mutter fastet in dieser Zeit. Eine Woche später ist sie bereits wieder laichreif.

Die Geschlechter können während der Laichzeit bestimmt werden. Dominante Männchen haben spitz ausgezogene Rücken- und Afterflossen, die bei den Weibchen abgerundet sind. Balzende Männchen tragen ein ausgeprägtes Farbenkleid, die Weibchen sind meist unscheinbar silbrig oder grau gefärbt.

Nach mündlicher Auskunft von Dr. Andreas Müller-Belecke, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik an der Universität Göttingen, sind Tilapien untereinander verträglich und nicht kannibalisch. So können 40 cm grosse Tiere zusammen mit ihrem Nachwuchs gehalten werden. Nur das Territorialverhalten während der Balz verursacht Probleme. Wenn den Tieren nicht genug Platz zur Verfügung steht, können sie einander töten. Die optimale Temperatur liegt bei 28 °C, unter 20 °C fressen die Fische nicht mehr. Fällt die Temperatur unter 8 °C, gehen sie auch nach Eingewöhnung ein. Die Tiere am Institut werden mit Karpfenfutter versorgt, welches mit 30% Proteingehalt am nächsten beim Bedarf der Tilapien (25%) liegt. In den Tropen können sie sich von Schweinekot ernähren.

Tilapien sind Allesfresser. Es wurden schon Fütterungsversuche mit *Eichhornia crassipes* (Ofojekwu, Keke et al. 1994, Keke, Ofojekwu et al. 1994), Kamel- und Kuhfladen (Alhadhrami und Yousif 1994), *Lemna gibba* (Gaigher, Porath et al. 1984), *Lemna minor* (Zaher, Begum et al. 1995) und pelletiertem Ausfluss von Kuhmist-Biogas-Anlagen (Gopal, Prabakaran et al. 1996) unternommen.

Die Fähigkeit, suspendierte Partikel ab einer Grösse von etwa 100 µm zu filtern, verbreitert ihr Nahrungsspektrum auf grössere Algen. Fütterungsversuche mit ungiftigen und giftigen Blaualgen führten (Beveridge, Baird et al. 1993) und (Northcott, Beveridge et al. 1991) durch.

Der hohe Verbreitungsgrad Afrikanischer Buntbarsche ist auf die positiven Produktionseigenschaften dieser Fische zurückzuführen. Sie sind robust gegen Krankheiten und anspruchslos bezüglich der Wasserparameter Sauerstoff, Nitrit, pH und Salzgehalt. Einzig an die Wassertemperatur stellen sie engere Ansprüche als die Cypriniden.

Ihr breites Nahrungsspektrum ermöglicht es den Tilapien, nebst der Naturnahrung im Wasserkörper günstige landwirtschaftliche Beiprodukte auszunutzen. Das weisse Fleisch ohne Zwischenmuskelgräte findet eine grosse Akzeptanz beim Konsumenten (Puckhaber 1992). In der Schweiz ist die Tilapie noch relativ unbekannt.



Abbildung 6: Tilapie

Die weltweite Jahresproduktion von *O. niloticus* in Aquakulturen war 1991 mit 253'000 Tonnen etwa gleich gross wie die der Regenbogenforelle oder des Atlantischen Lachses (Tacon und De Silva 1997).

2.1.5 Weitere geeignete Arten

a) Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*)

Dieser ostasiatische Fisch ist ein reiner Pflanzenfresser. Jungfische fressen Fadenalgen, Laichkräuter und andere weiche Pflanzen, mit zunehmendem Alter werden immer härtere Pflanzen bevorzugt. Grosse Graskarpfen fressen gerne Schilf, Rohrkolben, Seggen und Binsen und können gegen die Verlandung und Verkrautung von Teichen eingesetzt werden. Von den einheimischen Pflanzen werden nur wenige verschmäht (*Ranunculus aquatilis*, *R. circinatus*, *R. fluitans*, *Stratiotes aloides*, *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum*) oder ungern angenommen (*Equisetum sp.*, *Polygonum amphibium*, *Trapa natans*) (Haas 1997, Müller 1995). Der Graskarpfen kann täglich mehr als sein eigenes Körpergewicht an Pflanzen vertilgen, sein Futterquotient liegt mit 45-48 aber sehr hoch (Stott und Orr 1970). Der Grossteil der Pflanzen wird in zerkleinerter und nur teilweise verdauter Form wieder ausgeschieden und kann dadurch die Algenproduktion anregen (Müller 1995). Der Graskarpfen steht am Anfang der Nahrungskette in der klassischen Polykultur. Er kann intakte Pflanzenzellen nicht verdauen, weil ihm das Enzym Cellulase fehlt. Die Exkremente düngen das Wasser stark, und das entstehende Plankton bildet die Nahrungsgrundlage für Silber- und Marmorkarpfen. Ein chinesisches Sprichwort legt das Zahlenverhältnis in der Polykultur fest: «Ein Graskarpfen ernährt drei Silberkarpfen» (Lin 1982).

b) Marmorkarpfen (*Hypophthalmichthys nobilis*)

Der Marmorkarpfen kann als nächster Verwandter des Silberkarpfens betrachtet werden. Wie in Kapitel 2.1.3 ausgeführt, ernährt sich der Marmorkarpfen ebenfalls filternd. Seine Hauptnahrung besteht jedoch aus Zooplankton. Danebst stehen grössere Algen, alle Arten von driftendem organischem Material (Pflanzen) und Detritus auf seinem Speiseplan. Bei Überbesatz besteht die Gefahr, dass er den Karpfen

konkurrenziert, welcher meist als Hauptfisch gehalten wird. Sein Vorteil liegt darin, dass er die unverdaulichen Bestandteile aus dessen Kot verdauen kann und so die Nahrungsverwertung verbessert (Horvath und Tamas 1984).

c) Brachsen (*Abramis brama*)

Der Brachsen kommt in der Schweiz im Einzugsgebiet des Rheins und in Mitteleuropa und Asien bis zum Aralsee vor. Im Bodensee leben schätzungsweise 10 Millionen Brachsen (Schmid 1992). Der Fisch aus der Familie der Cypriniden wird bis zu 60 cm lang und 3 kg schwer (Quartier 1980). Seine Ansprüche sind mit denen des Karpfens vergleichbar. Van Den Berg, Van Den Boogaart et al. (1994) untersuchten die Filtermechanismen bei Brachsen (*Abramis brama*), Blicke (*Blicca björkna*) und Rotaugen (*Rutilus rutilus*). Sie fanden, dass Brachsen die Maschenweite ihrer Kiemenreusen verändern können und deshalb Zooplankton effizienter nutzen als die beiden anderen Arten. In jeder Körpergrösse zwischen 10-50 cm erreichen sie dadurch energetische Vorteile und können sich zeitlebens von Zooplankton ernähren.

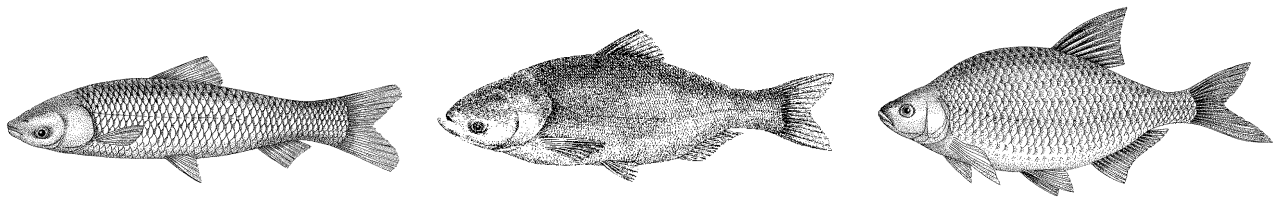


Abbildung 7: Graskarpfen, Marmorkarpfen und Brachsen

2.1.6 Begründung der Artenwahl

Bei der Auswahl der Fischarten standen drei Kriterien im Vordergrund:

- vegetarische Arten
- optimale Verwertung von Wasserlinsen und Daphnien
- ein nützliches (vermarktbares) Endprodukt

Karnivore Fische ernähren sich von lebenden Fischen. Weil sie diese nur teilweise in eigene Körpermasse umsetzen können, reduzieren sie den Gesamtertrag auf einen Zehntel (Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. 1995).

Der Karpfen wurde als erster Fisch gewählt. Für ihn sprechen mehrere Gründe: Er ist einheimisch, anpassungsfähig, verträglich mit anderen Arten und er ist der «Standardfisch» in der Teichwirtschaft. Die Schleie stammt ebenfalls aus unseren Gewässern und ist sehr anpassungsfähig in der Futterwahl. In einer früheren Diplomarbeit in einer Aquakultur an der HSW wurde festgestellt, dass sie Wasserlinsen frisst und zumindest teilweise verwerten kann (Scheurer 1996).

Der Marmorkarpfen erfüllt im natürlichen Ökosystem eine ähnliche Funktion wie der Silberkarpfen. Dieser wurde dem Marmorkarpfen vorgezogen, weil er ein besserer Algenverwerter ist. Zooplanktivore Fische waren mit Karpfen und Schleien schon vertreten.

Der Graskarpfen wurde nicht gewählt, weil er ein schlechter Futterverwerter ist und ausser Wasserlinsen keine weiteren Futterpflanzen produziert werden. Zwar würde sein Kot von Karpfen gefressen und nochmals verdaut, doch sollte die Nahrungsverwertung in jeder Stufe möglichst gut sein und die Nahrungsketten kurz gehalten werden.

Beim Fang eines Brachsen zeigen die wenigsten Sportfischer Freude. Die grossen Zwischenmuskelgräte machen ihn als Speisefisch unbeliebt, obwohl das Fleisch geräuchert gut schmeckt (Selbstdegustation des

Verfassers). Jedes Jahr werden jedoch tonnenweise Brachsen aus unseren Seen zu Fischmehl verarbeitet, so dass eine zusätzliche Aufzucht sinnlos erscheint (Schmid 1992).

Mit der getroffenen Wahl liessen sich zudem zwei einheimische Arten mit zwei exotischen vergleichen.

2.2 Abschätzung des Futterangebotes

Um das Ziel zu erreichen, ausschliesslich in der Aquakultur produziertes Futter zu verwenden, musste abgeschätzt werden, wieviele Fische ernährt werden können.

2.2.1 Algenproduktion

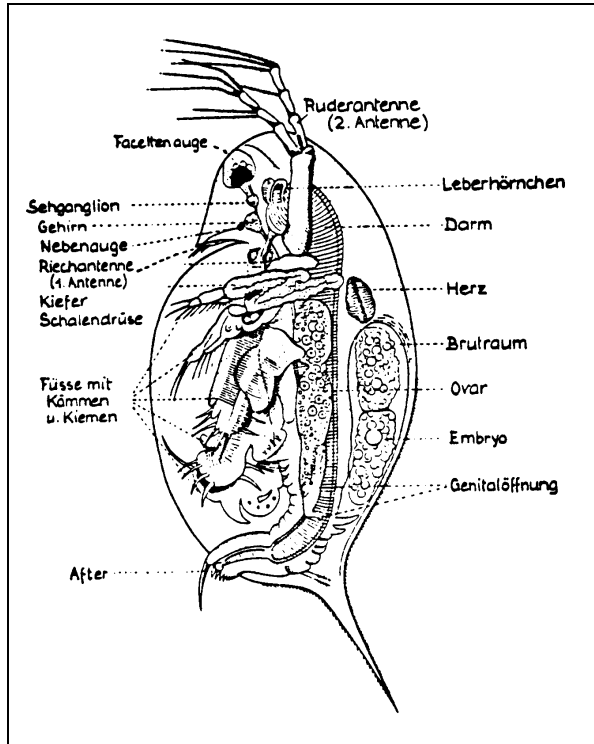
Vorversuche an der Hochschule Wädenswil (Hofmann 1998) haben gezeigt, dass verschiedene Algenarten zwar gleiche Dichten von rund 2 Mio Zellen/ml erreichen, entsprechend ihrer Grösse aber unterschiedliche Biomassen aufbauen. Die in den Vorversuchen ermittelte Biomasse an Frischgewicht (FG) beträgt für *Scenedesmus falcatus* $4 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, *Scenedesmus subspicatus* $3 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ und für *Ankistrodesmus falcatus* $18 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$.

In der Aquakultur Otelfingen sollen $7 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ Algensuspension geerntet werden. Bei einer Mischkultur von 60 % *Scenedesmus* und 40 % *Ankistrodesmus* entspräche dies einer Algenbiomasse von $65 \text{ kg FG} \cdot \text{d}^{-1}$ oder $6 \text{ kg TG} \cdot \text{d}^{-1}$ (TG = Trockengewicht). Diese Zahlen basieren auf der Annahme, dass in Otelfingen die gleichen Algenarten dieselben Zelldichten erreichen wie in den Vorversuchen.

2.2.2 *Daphnia magna*: Biologie und Produktion

Der Grosse Wasserfloh (*Daphnia magna*) ist ein Blattfusskrebs (Klasse *Crustacea*, Unterklasse *Cladocera*) und gehört zum einheimischen Zooplankton. Die Art reagiert sehr empfindlich auf chemische Verunreinigungen. Berühmtheit erlangte sie durch die Einführung standardisierter Zulassungstest für Umweltchemikalien. Der Grosse Wasserfloh wächst zeitlebens mit jeder Häutung und erreicht eine Grösse von 5-6 mm. Die Lebenserwartung liegt bei acht Wochen (Ten Berge 1978). Die Nahrung setzt sich aus einzelligen Algen, Einzellern, Bakterien und Detritus zusammen. Mit ihrem Filterapparat durchkämmen die Wasserflöhe ihr Umgebungswasser ($50\text{-}80 \text{ ml} \cdot \text{d}^{-1}$) und filtern Partikel zwischen $0.5\text{-}40 \mu\text{m}$ heraus (Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. 1995, Bürgi 1996).

Die Fortpflanzung ist an wechselnde Verhältnisse in Gewässern adaptiert. Unter guten Bedingungen produzieren die Weibchen durch diploide Parthenogenese bis 50 Eier pro Gelege. Daraus schlüpfen Weibchen, welche nach acht Tagen die nächste Generation hervorbringen und danach alle drei Tage ein neues Gelege austragen. Diese Zeitintervalle variieren bei unterschiedlicher Wassertemperatur. In eigenen Versuchen produzierte ein Weibchen innert dreizehn Tagen 201 Nachkommen, alle drei Tage ein Brut mit 31, 45, 30, 49, 46 Jungen. Verschlechtern sich die Bedingungen, entstehen Männchen (Hunger, Wasserqualität, Populationsdichte, Austrocknen des Tümpels, Absinken der Temperatur). Die befruchteten Eier werden zu Dauereiern (*Ehippien*). Diese sind von blossem Auge als schwarze Ovale im Brutraum der Daphnien gut zu erkennen. Die Dauereier sind resistent gegen Frost und Austrocknung und schlüpfen erst, wenn die Bedingungen wieder günstig sind. Dauereier sinken entweder auf den Grund oder schwimmen auf dem Wasser, wo sie im Federkleid von Vögeln hängen bleiben und so in andere Gewässer getragen werden. Diese Fähigkeit erklärt die weiträumige Verbreitung der Daphnien.



Die Produktion von Daphnien ist stark saisonalen Schwankungen unterworfen. Im Sommer ist eine Populationsentwicklung von 10 auf 400-500 Daphnien $\cdot l^{-1}$ in zwei Wochen möglich. Unter guten Bedingungen liegt die Produktion bei $30-60 \text{ g FG} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, unter optimalen Bedingungen kann die Ernte bis auf $360 \text{ g FG} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ gesteigert werden. Von November bis März sinkt der Ertrag durch das verlangsamte Wachstum auf $4-7 \text{ g FG} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Bei ausreichender Versorgung mit Mikroalgen werden Dichten von 3000-4000 Daphnien $\cdot l^{-1}$ erreicht. Im Sommer kann täglich ein Siebtel der Population nachhaltig geerntet werden (Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. 1995).

Abbildung 8: Körperbau einer Daphnia sp.
aus: Bürgi (1994)

Um eine gute Produktion zu erhalten, muss die zugeführte Algensuspension möglichst schadstofffrei sein. Besonders Nitrit verursacht bedeutende Verluste: Ab $5 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ werden Adulte getötet, Juvenile sind empfindlicher und sterben schon bei $1.7 \text{ mg} \cdot l^{-1}$. Ammonium wird bis $10 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ toleriert, solange der pH unter 9 bleibt und kein Ammoniak entsteht. Mit einer Belüftung der Daphnienbecken während der Sommermonate kann die Produktion aufs Zehnfache gesteigert werden (Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. 1995).

Die Umwandlung der Algen in Daphnienbiomasse beträgt 40 % auf Basis der Trockengewichte. Die Algenernte von $6 \text{ kg TG} \cdot \text{d}^{-1}$ ernährt demnach $2.4 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ getrocknete oder $16 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ frische Daphnien (Trockensubstanz 15 %). Bei einem Beckenvolumen von 86 m^3 (cf. Tab. 4) entspricht dies einer Produktion von $190 \text{ g FG} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, was dem bestmöglichen Fall entspricht. Die erwartete Ernte liegt tiefer, vermutlich zwischen $3.6 \text{ kg FG} \cdot \text{d}^{-1}$ ($60 \text{ m}^3 \cdot 60 \text{ g FG} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) und $16 \text{ kg FG} \cdot \text{d}^{-1}$.

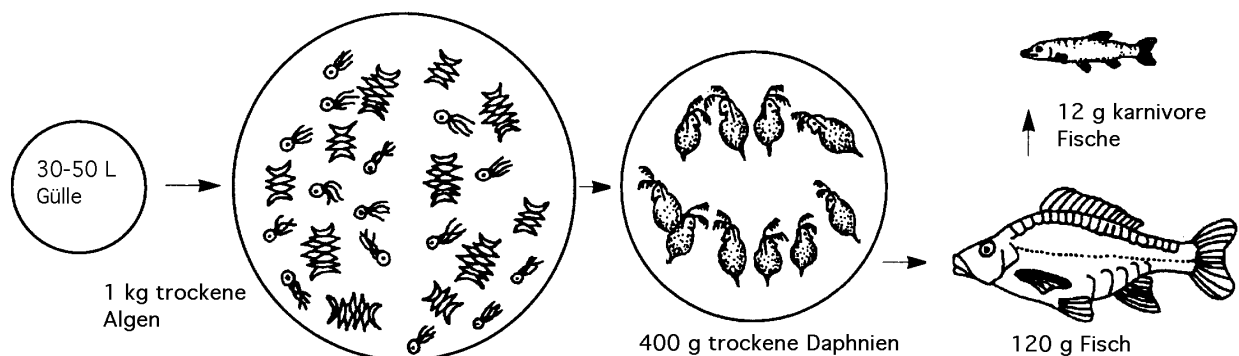


Abbildung 9: Die aquatische Nahrungskette von der Alge zum Fisch
aus: Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. (1995)

2.2.3 Produktion von Wasserlinsen

Wasserlinsen (meist *Lemna minor*) werden in der Nachreinigung und auf den Wasseroberflächen anderer Becken angesetzt und bedecken insgesamt eine Fläche von etwa 80 m². Bei mittlerem Wachstum von 10 g TG · m⁻² · d⁻¹ (Landolt 1995) beträgt die Ernte 800 g TG · d⁻¹ oder rund 8 kg FG · d⁻¹ bei einer Trockensubstanz von 90% (Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. 1995).

2.3 Abschätzung der ernährbaren Fischbiomasse

Tabelle 2: Futterangebot in der Aquakultur

Futter	Algen	Daphnien	Wasserlinsen
Angebot [kg FG · d ⁻¹]	65	3-16	8

Die Silberkarpfen werden vermutlich nur kleine Daphnien fressen, da sie grössere Partikel meiden (Cremer und Smitherman 1980). Die tägliche Nahrungsration 250-500 g schwerer Silberkarpfen beträgt bei 18-22 °C etwa 10-16 % der Körpermasse (Barthelmes und Jähnichen 1978). Es wird angenommen, dass die Jährlinge täglich 20 % ihres Körpergewichtes (KG) fressen, also brauchen 150 Fische à 20 g KG total 0.6 kg FG Algen. Die benötigte Daphnienmenge wird vernachlässigt.

Tilapien sind Allesfresser, da sie aber das gleiche Futter erhalten wie Karpfen und Schleien, werden alle drei Arten gleich behandelt. Omar (1984) verglich den Einfluss verschiedener Fütterungsraten auf das Wachstum von Spiegelkarpfen. Er zeigte, dass diese optimale Zuwachsleistung und Futtermittelverwertung bei einer Pelletfütterung von 2.0 % KG · d⁻¹ erreichen. Umgerechnet auf Daphnien (15% Trockensubstanz) entspricht dies etwa 14 % KG als tägliche Ration an frischen Daphnien. Der Energieinhalt von kommerziellem Futter (Omar 1984) entspricht mit 20 kJ/g Trockensubstanz etwa dem von Daphnien (Berberovic 1990). Da kommerzielles Futter jedoch optimal verdaulich ist, wurde die tägliche Ration an Daphnien auf 20 % KG angesetzt.

Es wurde eine anfängliche Ernte von 5 kg · d⁻¹ Daphnien angenommen. Damit können 25 kg Fische ernährt werden. An einem Wochentag werden Wasserlinsen gefüttert, womit ein Siebtel mehr Fische ernährbar sind, theoretisch also 28 kg Fisch. Die Daphnienernte könnte anfangs noch geringer ausfallen und erst nach einigen Wochen auf 5 kg · d⁻¹ oder mehr steigen. Innert vier Wochen erhöht ein Karpfen, der täglich 2 % wächst, sein Gewicht um den Faktor 1.74 (Verdoppelung in 35 d). Der Besatz kann daher rund die Hälfte betragen (15 kg Fisch), weil dann die Fische parallel mit der Daphnienernte wachsen. 15 kg Fisch bedeuten eine Bestellung von 400-700 Jährlingen (KG 20-40 g). Weil für die statistische Auswertung nicht allzu viele Einzelwerte nötig sind, werden zehn zweisömmrige Wildkarpfen eingesetzt.

Tabelle 3: Bestellung der Fische
(effektiver Besatz cf. Anhang 14)

	Anzahl	Gewicht [g]	Total [kg]
Silberkarpfen	150	20	3
Silberkarpfen 3j.	2	500	1
Tilapien	100	10	1
Karpfen	150	30	4.5
Karpfen 2j.	10	300	3
Schleien	150	30	4.5
Schleie 2j.	1	400	0.4
Total			
Daphnienfresser			13.4

2.4 Fragestellungen und Versuchsaufbau

2.4.1 Welche Fischart verwertet das produzierte Futter am besten?

Je eine Monokultur von Karpfen, Schleien und Tilapien wurde mit der gleichen Diät aus Anlageprodukten gefüttert. Die Futtermenge an Daphnien war auf täglich 20 % der Fischbiomasse begrenzt, Wasserlinsen werden ad libitum gefüttert. Die Fische haben entweder eine Tagesration Daphnien oder Wasserlinsen erhalten. Die Silberkarpfen erhielten als einziges Futter Algenwasser aus der Algenzucht.

Dieser Ansatz sollte einen Vergleich der Arten bezüglich ihrer Wachstumsrate und Futtermittelnutzung erlauben. Die Fische verändern zudem die Wasserqualität durch die gefressene Futtermenge, die Futtermittelnutzung und durch die Fähigkeit, suspendierte Partikel (Algen, Futterreste, Detritus) aus der Wassersäule zu filtern. Allgemein sollte die Eignung der Arten für den Einsatz in der Aquakultur untersucht werden: Robustheit im Umgang und genügsame Ansprüche an Futter- und Wasserqualität.

2.4.2 Wächst der Silberkarpfen mit Algen als Alleinfutter?

Mit dem Silberkarpfen würde die Nahrungskette verkürzt und die Futtermittelnutzung theoretisch um den Faktor zehn verbessert. In drei Parallelbecken werden Monokulturen von Silberkarpfen mit Algensuspension gefüttert.

2.4.3 Gibt es Synergieeffekte in Polykulturen?

Die Arten wurden zu Polykulturen zusammengesetzt. Mögliche Nischen in der Futterwahl, im Ort der Nahrungsaufnahme und weitere Synergieeffekte sollten zur Geltung kommen können. Es ist denkbar, dass in der Polykultur eine Fischart in ihre natürliche Nische gezwungen wird, während sie in Monokultur ihre optimale Nische wählen kann. Auswirkungen auf das Wachstum können durch Vergleich der beiden Becken ermittelt werden.

Karpfen und Schleien werden in der Teichwirtschaft meist gemischt gehalten. Deshalb setzte sich jede Polykultur aus diesen beiden Arten und einer zusätzlichen dritten zusammen. Karpfen und Schleien sollten Daphnien und Pflanzen fressen. Als dritter Fisch wurde ein «Filterer» zugesetzt, um Schwebstoffe zu verwerten. Im ersten Becken waren dies Tilapien, im zweiten Silberkarpfen, das dritte diente als Kontrollbecken und wurde nur mit Karpfen und Schleien besetzt.

2.4.4 Welchen Einfluss hat der verfügbare Raum auf die Polykultur?

In einem dreimal grösseren Becken wurden die verbliebenen Karpfen, Schleien, Silberkarpfen und Tilapien kombiniert. Zusätzlich wurden die zweisömmrigen Tiere dazugesetzt. Die Aufgabe dieses Beckens bestand darin, eine vollständige Verwertung der Daphnien zu gewährleisten. Es diente als Puffer bei schwankender Futterproduktion. Wenn zu wenig Daphnien produziert wurden, erhielten diese Fische weniger Daphnien und mehr Wasserlinsen.

Die Fischdichte war gegenüber den anderen Becken um den Faktor sieben erhöht. Ergaben sich daraus kritische Akkumulationen von Giftstoffen (Ammonium, Nitrit)? Waren die Fische unverträglich? Vermochten sich die Tilapien gegenüber den viel grösseren zweisömmrigen Fischen durchzusetzen?

2.4.5 Wieviel schneller wachsen Tilapien bei erhöhter Wassertemperatur?

Tilapien werden in vielen Aquakulturen in aller Welt eingesetzt. Ihr einziger Anspruch ist eine hohe Wassertemperatur. Es war unklar, ob die Fische eine Aussenhaltung in unseren Breiten ertragen und wenn ja, ob sie in dem kühlen Wasser überhaupt wachsen. Diese Fragen sollten beantwortet werden.

Im Gewächshaus wurde ein Glasfaserbecken mit Tilapien bestückt. Die Resultate wurden mit der Entwicklung der Tilapien in den Aussenbecken verglichen und lieferten einen Anhaltspunkt, wie das Modul Fische funktioniert hätte, wenn die ganze Anlage unter dem Gewächshaus gewesen wäre.

2.4.6 Können Tilapien Wasserlinsen verwerten?

Ein Aquarium wurde mit Tilapien besetzt, welche Wasserlinsen als Alleinfutter erhielten. Daraus konnte der Futterquotient von Wasserlinsen errechnet werden. Der Vergleich mit den Tilapien aus dem Temperaturversuch erlaubte zudem einen Vergleich der Futterqualität von Daphnien mit Wasserlinsen.

2.4.7 Wachsen Koi und gewöhnliche Karpfen gleich gut?

In jedes Becken mit Karpfen wurden je zwei Koi dazugesetzt und die Wachstumsraten verglichen.

2.4.8 Wächst der Karpfen schneller bei höherem Futterlevel?

Im Karpfen-Aquarium (K-Aq) wurden zehn Karpfen mit der doppelten Futtermenge an Daphnien gemästet. Durch Vergleich mit der Monokultur in F1b sollte abgeklärt werden, wie sich der Futterquotient und die Wachstumsraten verändern.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Beschreibung der Aquakultur Otelfingen

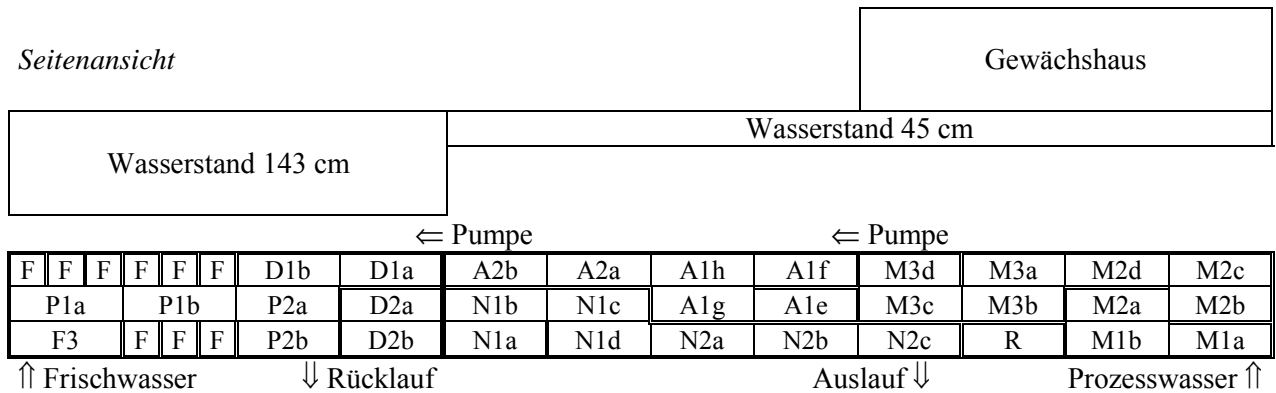


Abbildung 10: Gesamtanlage Aquakultur Otelfingen

Tabelle 4: Kenndaten der Aquakultur Otelfingen

	Anzahl Becken	Fläche [m ²]	Tiefe [m]	Volumen [m ³]	Verweilzeit [d]
Pflanzen M	10	100	0.45	45	9
Algen A	6	60	0.45	27	6
Daphnien D + P2	6	60	1.43	86	D 10, P2 7
Polykultur P1	2	20	1.43	29	20
Fische F	10	40	1.43	57	38
Pflanzen N	7	70	0.45	33	17
Reserve R	1	10	0.45	5	-
Total	42	360	-	282	> 47

F1a	F1b	F1c	F2a	F2b	F2c
30 Schleien	30 Karpfen 2 Koi	30 Tilapien	35 Silberkarpfen	35 Silberkarpfen	35 Silberkarpfen
↓	↓	↓	↓	↓	↓
P1a			P1b		
↑			↑		
F3			F4a	F4b	F4c
76 kleine + 10 Grosse Karpfen, 2 Koi 87 kleine + 1 Grosse Schleie 65 Tilapien 25 kleine + 2 Grosse Silberkarpfen			10 Karpfen 2 Koi 10 Schleien 10 Tilapien	10 Karpfen 2 Koi 10 Schleien 8 Silberkarpfen	15 Karpfen 2 Koi 15 Schleien

|| Aussenmauer Beton hoch || Aussenmauer Beton || Backsteinmauer | Holzwand

Abbildung 11: Fischbecken: Besatz und Wasserflüsse

Die Aussenmauer und der Boden der Anlage waren aus 25 cm Stahlbeton, die Zwischenwände aus Backsteinen (12 cm) gemauert. Ritzen wurden grösstenteils mit Silikon zugedichtet. In jeder Zwischenwand war ein Durchlassrohr (PVC \varnothing 12.5 cm) eingebaut, das mit Deckeln verschlossen werden konnte.

Die Aquakultur wurde standardmässig mit Prozesswasser ($500 \text{ l} \cdot \text{d}^{-1}$) und Frischwasser ($1500 \text{ l} \cdot \text{d}^{-1}$) gespiesen. Im Sommer musste zusätzlich Verdunstungswasser ersetzt werden, im Herbst wurde der Frischwasserbedarf teilweise durch Niederschläge gedeckt. Das Frischwasser wurde in der Fischstufe eingespiesen und erfolgte durch ein Verteilsystem gleichmässig in alle zehn Fischbecken (NAN-TIF® System, Gärtnereibewässerungstechnik, GVZ- Bolltec, Zürich). Die Fischbecken entwässerten durch Überläufe (PVC-Rohre \varnothing 12.5 cm, Filtersieb 1.5 mm) in die P1-Becken. Das Wasser floss anschliessend nach P2a und wurde von dort als Verdünnungswasser nach M2a gepumpt.

Für die Fischversuche wurden drei Becken mit Holzwänden aus einzelnen Gerüstländen (Dicke 55 mm) unterteilt. Der Wasserspiegel lag 20 cm unter der Oberkante Backsteinmauer, die Holzwände 7-9 cm. Die Holzwand zwischen F1b und F1c reichte nur 3 cm über den normalen Wasserstand. Jedes Fischbecken war gleich ausgestattet. Der Boden war frei, die Seitenwände bestanden aus Stahlbeton, Backsteinen oder Holz. Entlang den Seitenwänden angrenzend an die P1-Becken wurde Druckluft eingeblasen (Belüftungssystem «aeration pipe» von Precision Porous Pipe (Division of Colorite Plastics Co.), Tennessee 38201 USA). Der Kompressor stand über den Becken F3 und P1a, so dass diese auf einer Breite von 0.8 m beschattet waren. Die östliche Aussenmauer der Aquakultur ragte 1.5 m über den Wasserspiegel hinaus, so dass die Becken F3, P1a und F1a am Abend früher beschattet wurden als die Parallelbecken. Nebst den Belüftungsschläuchen und dem Überlaufrohr befanden sich keine weiteren Installationen in den Fischbecken.

Der tiefe Teil der Anlage und somit auch die Fischbecken wurden am 26. Mai mit Leitungswasser erstmals gefüllt. Jedes Fischbecken wurde mit 10 l Prozesswasser aufgedüngt, um die Nitrifikation in Gang zu setzen. Die Fische wurden am 9. Juni eingesetzt, also zwei Wochen später. Für Fischteiche sagt eine Faustregel, dass eine Fischdichte von 1 % eingesetzt werden kann, ohne dass Probleme mit der Wasserqualität auftauchen (Pers. Mitteilung Sigi Lehmann). Diese Grenze von 10 kg lebenden Fische auf 1 m^3 Wasser wurde als oberste Besatzdichte angenommen. Die erreichten Fischdichten lagen jedoch weit darunter: im Durchschnitt betrug sie in F2 $70 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, in F1ab und F4abc $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, in F3 $1500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ und im Karpfen-Aquarium $2000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Im Gewächshaus wurden drei Aquarien installiert. Auf der untenstehenden Abbildung ist links das GFK-Rundbecken zu sehen (Besatz 15 Tilapien, T-Aq) und daneben zwei identische Stahlrahmenbecken (Mitte SK-Aq, Besatz 9 Tilapien, rechts K-Aq, Besatz 10 Karpfen). Die Aquarien wurden ebenfalls mit Druckluft versorgt. Einrichtungsgegenstände in jedem Aquarium waren ein Unterstand (halbiertes PVC-Rohr auf dem Boden), eine Tonvase und ein Backstein (Besiedlungsfläche für denitrifizierende Bakterien). In der letzten Versuchsperiode wurde die Wassertemperatur durch Stabheizer angehoben (Aquarientechnik, 200 W). Alle zwei Wochen wurden die Sedimente abgesaugt und die Hälfte des Aquarienwassers durch Frischwasser ersetzt.

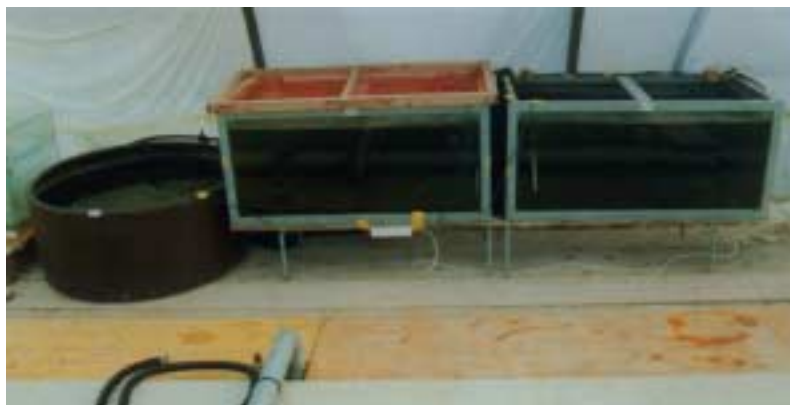


Abbildung 12: Anordnung der Aquarien

3.2 Monitoringkonzept

Tabelle 5: Monitoringkonzept

Parameter	Messintervall	Geräte
Temperatur	Stündlich	Datenlogger
Sauerstoff pH EC	täglich bis wöchentlich ausgewählte Messpunkte	Sonde
Ammonium Nitrit	In Startphase alle zwei Tage, dann nach Bedarf	Photometer
Phosphat Nitrat	wöchentlich in F3 monatlich F1-4	Photometer
Sichttiefe	Alle drei Tage	Secchi-Scheibe
Fische	Alle vier Wochen Totallänge, Gewicht, Verfassung	Kescher, Waage, Messlatte, Betäubungsmittel, Behälter
Futter	Daphniendichte alle drei Tage täglich Daphnien und Wasserlinsen	Planktonnetz Waage

Ziel der Wasseranalyse war, den Verlauf schädlicher Substanzen (Nitrit, Ammonium, Nitrat) bei den Fischen zu verfolgen, um notfalls rechtzeitig eingreifen zu können. Die Fische wurden alle vier Wochen abgefischt, so dass nach sechzehn Wochen fünf Messpunkte vorlagen.

3.3 Wasseranalysen

Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt wurden mit dem Feldmessgerät Multiline P4 (Universal Meter) der Firma wtw gemessen (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, D-82362 Weilheim).

Die Sichttiefe wurde nach Secchi erhoben. Die Secchi-Scheibe (schwarz/weiße Scheibe mit 25 cm Durchmesser) wurde nach Schwoerbel (1986) selbst gebaut. Der Messpunkt lag in der Beckenmitte im körpereigenen Schatten.

Die chemischen Parameter Ammonium-Stickstoff NH_4^+ -N, Nitrat-Stickstoff NO_3^{2-} -N, Phosphat-Phosphor PO_4^{3-} -P und Chemischer Sauerstoffbedarf CSB wurden mit Küvettestests der Dr. Lange AG, CH-8604 Hegnau bestimmt. Die wöchentlichen Wasserproben wurden im Labor mit dem Photometer (CADAS 30, Dr. Lange AG) analysiert, vor Ort wurden Ammonium-Stickstoff NH_4^+ -N und Nitrit-Stickstoff NO_2^- -N mit dem Feldphotometer LASA 20 (Dr. Lange) gemessen. Die Werte wurden auf die gesamten Molmassen umgerechnet und als Ammonium NH_4^+ , Nitrat NO_3^{2-} etc. angegeben.

Der Temperaturverlauf in den Fischbecken wurde mit zwei Temperatursonden (Minilog-T, VEMCO, Kanada) erfasst. Diese wurden in F1a und in F4c auf 1 m Tiefe installiert und speicherten die Wassertemperatur stündlich auf ± 0.1 °C. Ein Punktdrucker (Jumo Comp PD, Jumo Mess- und Regeltechnik AG, CH-8712 Stäfa mit Synco-Temperaturfühlern) zeichnete die Temperatur des Karpfen-Aquariums und der Aussentemperatur mit einer zeitlichen Auflösung von etwa 20 Sekunden auf.

3.4 Fischfutter

Die Karpfen und Schleien litten bei der Anlieferung unter einer nicht näher identifizierten bakteriellen Infektion. Der Lieferant hatte deshalb Futterpellets mit Medikamentenzusatz geliefert, und die Fische mussten 10 Tage lang damit gefüttert werden (Futtermenge 10.-23. Juni total 930 g). Danach erhielten die Fische ausschliesslich Daphnien und Wasserlinsen aus der Aquakultur.

Vor der Abfischung wurden die Fische 1-2 d nicht gefüttert. Die Wasserlinsen wurden abgefischt, gewogen und von der Futtermenge abgezogen. Nach Steffens (1985) beträgt die Entleerungszeit des Karpfendarmes bei 30 °C 15 h und bei 20 °C 20 h, bei 10 °C steigt sie auf 50 h an. Durch den Einschub eines Fastentages wurde der Einfluss des Fütterungszustandes auf die Gewichtsmessung reduziert.

3.4.1 Algen

Die Silberkarpfen wurden mit Algensuspension aus A2b gefüttert. Über die gesamte Versuchszeit wurden 1450 l mit Eimern in die drei Silberkarpfenbecken F2a, F2b, F2c geschüttet. Weil das Algenwachstum unter den Erwartungen zurückblieb, wurde am 13. August eine Pumpenleitung von P1b in die Fischbecken F2abc installiert. Eine Tauchpumpe (Fördermenge $1.2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) beförderte das Algenwasser durch eine Verteilerleitung (NAN-TIF® System, Gärtnereibewässerungstechnik, GVZ-Bolltec, Zürich) zu den Fischen. In den folgenden zehn Tagen erhielten die Fische 18 m^3 Algen. Nach dem 25. August wurden keine Algen mehr zugefüttert, weil die Becken eine permanente Grünfärbung aufwiesen.

3.4.2 *Daphnia magna*

a) Monitoring

Die Daphniendichte und der Zustand der Population wurden bestimmt, um die Futterquelle nicht zu übernutzen und optimales Nachwachsen zu gewährleisten. Im untersuchten Becken wurden in jeder Ecke und der Beckenmitte je zehn Liter Wasser geschöpft und durch ein Planktonnetz abgeleert (Einlassdurchmesser 29 cm, Länge 60 cm, Maschenweite 100 μm , Metallbecher mit Drehverschluss). Das Filtrat wurde in einen 500 g Yoghurtbecher entleert. Der Metallbecher wurde verschlossen, nochmals eingetaucht und in den Yoghurtbecher abgelassen, um anhaftende Daphnien auszuspülen.

Aus den Yoghurtbechern liessen sich Wasserlinsen und Schnecken gut mit den Fingern abschöpfen. Die Daphnien wurden durch ein Sieb (Maschenweite 335 μm) filtriert und auf $\pm 0.1 \text{ g}$ genau gewogen. Werte unter 0.3 g wurden geschätzt. Der Zustand der Population wurde visuell eingestuft. Auffällige Kriterien waren Anteil der Jungen, schwangere Adulte oder *Ehippien*. Bei Alarmzeichen wie *Ehippien* wurde die Population radikal geerntet und den Fischen verfüttert.



Abbildung 13: Planktonnetz und Secchi-Scheibe

b) Ernten, Wägen, Verfüttern

Die Daphnien wurden mit dem Planktonnetz gefangen. Dazu wurde das Netz horizontal in den obersten 50 cm im Daphnienbecken hin- und hergezogen. Die starke Belüftung der tiefen Becken sorgte für eine gute Durchmischung und spülte die Daphnien immer nach oben. In einer Viertelstunde wurden so 200-600 g Daphnien geerntet. Geerntet wurde in den Becken mit der grössten Daphniendichte, meist in P2a oder N1d.

Die von Wasserlinsen gereinigte Ernte wurde durch ein 1.0 mm Sieb (Durchmesser 14.2 cm) geschüttet. Diese Maschenweite hat den Vorteil, juvenile Daphnien durchzulassen. Diese waren mengenmässig als Fischfutter nicht interessant und wurden jeweils in die Ursprungsbecken zurückgesetzt. Das Sieb wurde selbst hergestellt, indem ein Styroporring halbiert und das Netz mit Silikon festgeklebt wurde. Mit der Zeit konnten die benötigten Mengen auf rund 20 g genau geschätzt werden. Waren genug Daphnien gefiltert, wurde das Sieb während 10-20 Sekunden schräg gehalten, um das Wasser abtropfen zu lassen. Mit den Fingern wurde Haftwasser vom Styroporring abgestreift und das gefüllte Sieb mit einer Waage (Mettler-Toledo PB 602, $d = 0.01 \text{ g}$) auf $\pm 1 \text{ g}$ gewogen. Tariert wurde mit dem nassen Sieb: Die Differenz zwischen trockenem und nassem Sieb betrug $5.8 \pm 0.7 \text{ g}$ ($n = 10$). Pro Wägevorgang konnten 10-300 g Daphnien verarbeitet werden.

Die Wägegenauigkeit wird wegen des variierenden Wasseranteils auf 2 % geschätzt. Grösseren Einfluss übten Verunreinigungen wie Wurzeln der Wasserlinsen oder suspendierter Bodenschlamm aus. Meist bestand die Ernte jedoch aus reinen Daphnien.

Die abgewogene Menge wurde vom Sieb in Eimer mit Wasser des Bestimmungsbeckens gespült. Die Überlebensrate nach dieser Abwägeprozedur wurde mehrmals bestimmt. Der einfache Test bestand darin, dass rund 5 g Daphnien (etwa 500 Individuen) anstatt ins Fischbecken im Eimer stehen gelassen wurden. Am nächsten Tag schwamm ein «Algengel» obenauf und mehr als 98 % der Daphnien lebten noch, nur einzelne lagen tot am Boden.

Daphnien wurden nachmittags zwischen 14 und 18 Uhr verfüttert. An manchen Tagen erreichte die Ernte nicht die benötigte Mindestmenge von 1.5 kg Daphnien. In diesem Fall wurde die Ration halbiert.



Abbildung 14: Wägen der Daphnien

c) Bestimmung der Biomassequalität

Es wurden Trockensubstanz (TS), Organischer Anteil der TS (OS), Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt untersucht. Die Trockensubstanz wurde durch Eintrocknen von 10-20 g Probematerial bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ während 5 h ermittelt. Der Organischer Anteil der Trockensubstanz ergab sich aus dem Glühverlust bei $550 \text{ }^\circ\text{C}$ während 30 min.

Der Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz wurde von Antonin Mares an der EAWAG Kastanienbaum gemessen. Die Proben wurden mit dem CHNS-Analyzer Vario EL von der Firma Elementar Analysensysteme GmbH in Hanau, Deutschland analysiert.

d) Eignung von *Daphnia magna* als Fischfutter

Nach dem Wissensstand des Verfassers wurden bisher noch keine Fütterungsversuche mit *Daphnia magna* an grösseren Fischen (ab 10 cm) durchgeführt. Es ist bekannt, dass Jungfische vieler Arten in den ersten Lebenswochen Zooplankton fressen und erst danach auf ihre arttypische Ernährungsweise umstellen (Sobolev 1970). Aus der Literatur ist jedoch ersichtlich, dass die Zusammensetzung von Daphnien dem Proteinbedarf des Karpfens recht nahe kommt. Wichtigster Bestandteil des Karpfenfutters sind nach Omar (1984) die Proteine. Versuche mit variierendem Fettgehalt haben gezeigt, dass Karpfen mit fettfreien Diäten normal wachsen können, allerdings etwas langsamer. Der Grossteil der aufgenommenen Energie in der Nahrung stammt aus den Kohlenhydraten. Bei diesen gilt die Devise, dass der Karpfen umso besser wächst, je grösser der Gehalt im Futter ist. Wasserlinsen haben einen sehr hohen Proteingehalt und eignen sich ebenfalls als Fischfutter.

Tabelle 6: Vergleich von Daphnien und Wasserlinsen mit konventionellem Futter

[% Trockensubstanz]	Daphnia ¹⁾ magna	Daphnia ²⁾ galeata	Wasser- linsen ³⁾	Karpfenfu- tter ⁴⁾	Forellen- futter ⁴⁾	Bedarf des Karpfens ⁴⁾
Trockensubstanz	89.2			92.3	92.5	
Stickstoff total	9.1					
Protein	56.9	33-48	39	40.9		35-45
Fett	10.4	7-18	5	9.8	8.3	nicht erforderlich
Kohlenhydrate	12.5	3-5		37.7	32.5	Je mehr, umso besser
Calcium	3.0		1.4			
Phosphor	1.2		1.5			
Asche			15	11.6	13.5	
Energie [kJ/g TS]		21		20.14	20.08	

¹⁾ Sevrin-Reyssac, La Noüe et al. (1995)³⁾ Hillmann, W., D. Dudley, et al. (1978)²⁾ Berberovic (1990)⁴⁾ Omar (1984)

Der Vergleich der essentiellen Aminosäuren zeigt, dass Daphnien ein geeignetes Naturfutter für den Karpfen sind. Tryptophan wurde in Daphnien nicht nachgewiesen und könnte eine wachstumshemmende Rolle spielen.

Tabelle 7: Aminosäuren in Daphnien und konventionellem Futter

Aminosäuren	Daphnien ¹⁾ [g · kg ⁻¹]		Bedarf des Karpfens [% Proteinbedarf]		Verhältnis Daphnien / ø Bedarf
	Frisch	Getrocknet	Nose (1979)	Ogino (1980)	
Threonin	1.9	26.8	3.3	3.9	3.7
Cystein	0.5	7.0	0.8	2.0	2.5
Valin	2.5	35.2	2.9	3.6	5.4
Methionin	1.0	14.1	1.6	2.1	3.8
Isoleucin	1.8	25.4	2.3	2.5	5.3
Leucin	3.0	42.3	4.1	4.3	5.0
Tyrosin	1.8	25.4	2.0	2.9	5.2
Phenylalanin	1.9	26.8	2.9	3.4	4.3
Lysin	3.0	42.3	5.3	5.7	3.8
Histidin	0.9	12.7	1.4	2.1	3.6
Arginin	1.4	19.7	3.8	4.3	2.4
Tryptophan	-	-	0.6	0.8	-
Serin	0.8	11.3			
Glutaminsäure	5.3	74.6			
Prolin	2.0	28.2			
Glycin	2.2	31.0			
Alanin	3.1	43.7			

3.4.3 Wasserlinsen

Wasserlinsen (*Lemna minor*) wurden mit einem Kescher (Maschenweite 2mm) abgeschöpft und im Netz von Hand ausgepresst, bis kein Wasser mehr abfloss. Anfangs wurden die Wasserlinsen zusätzlich in einer Salatschleuder durch fünfmaliges Schleudern getrocknet. Es zeigte sich, dass sie gut ausgepresst fast kein Wasser mehr verloren und sich der Mehraufwand erübrigte. Geerntet wurde zu Beginn in M2abc, später wurden die Wasserlinsen auf den tiefen Becken (D1ab, D2ab, P2ab) kultiviert und verfüttert. Die Futtermengen wurden auf einer elektronischen Waage abgewogen (TEFAL Sensitive Computers, France, d=1g). Bei der Verfütterung wurden die zusammengepressten Wasserlinsen von Hand im Fischbecken verteilt.

Die Laboranalyse erfolgte analog derjenigen der Daphnien.

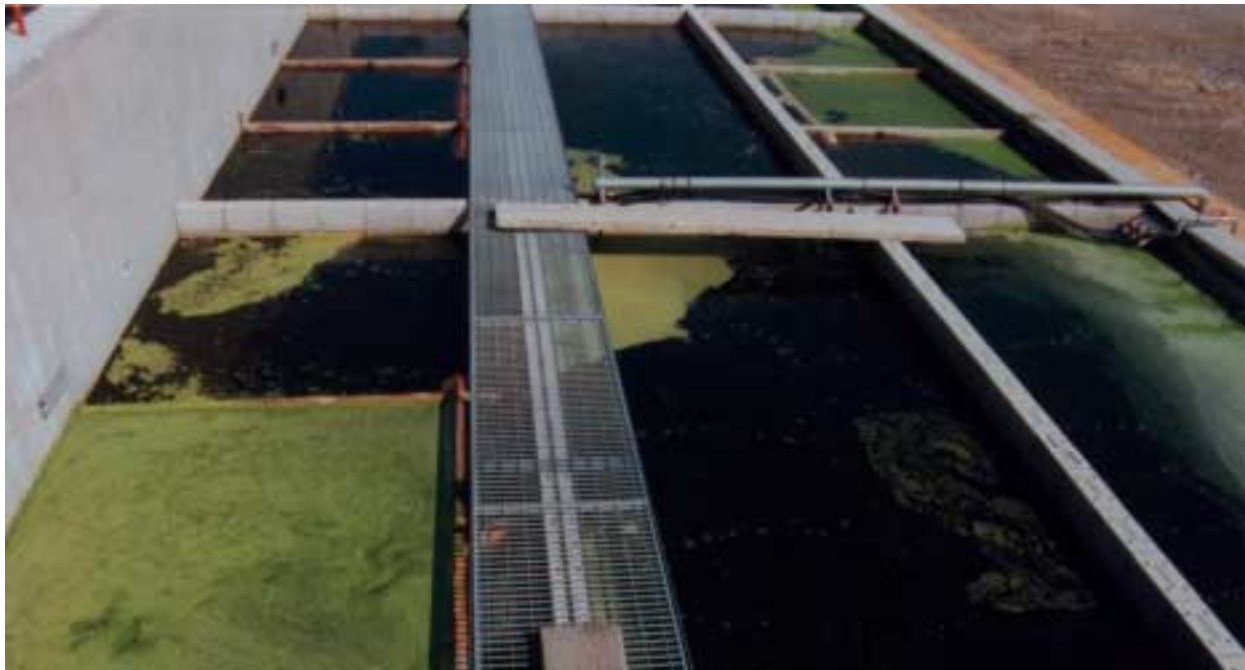


Abbildung 15: Fütterung der Wasserlinsen

Abbildung 15 zeigt die Fischbecken nach der Fütterung von Wasserlinsen. Unten links befindet sich Becken F1a, oben rechts Becken F4c. Neben dem Laufsteg sind die Wasserüberläufe aus orangen PVC-Rohren zu sehen. Das Becken am linken Bildrand (F1b) ist mit etwa 1 kg Wasserlinsen bedeckt. Diese Menge wurde von 30 Karpfen (Total 1200 g) innert zwei Tagen verzehrt.

3.5 Fische

3.5.1 Herkunft

Die Beschaffung der Versuchsfische war nicht immer leicht, weshalb ausführlich auf den Bezug der Fische eingegangen wird.

Karpfen, Schleien und Silberkarpfen wurden bei Robert Bachofner, CH-3302 Moosseedorf bestellt und von diesem aus Österreich importiert. Die zweisömmrigen Karpfen stammten aus seinen eigenen Beständen. Die 159 Schleien und 157 Karpfen wurden in Plastikbeuteln zu je 40 Fischen geliefert und überlebten alle den Transport. In katastrophalem Zustand wurden die Silberkarpfen angeliefert. 60 Fische pro Beutel trieben in braunem, stinkigem Teichwasser. Von 317 importierten Silberkarpfen waren 232 schon bei der Ankunft tot, in der folgenden Woche starben alle bis auf zwei. Im Gegensatz zu Schleien und Karpfen, die man vor dem Transport fasten lässt, kann man die Silberkarpfen nicht auf Diät setzen. Zu den Ausscheidungen während dem Transport kam noch eine starke Erwärmung der Beutel hinzu.

Die einjährigen Karpfen waren aus zwei Rassen zusammengesetzt: Wildkarpfen und Spiegelkarpfen. Um den Verlust der Silberkarpfen auszugleichen, wurde eine zweite Lieferung von 100 Stück bestellt. Der Züchter (A. Menzel, Wettmannstätten in der Steiermark) schickte die Fische am 19. Juni frühmorgens mit der Bahn an den Güterbahnhof Wohlfurt in Vorarlberg. Dort wurden sie um 9 Uhr selbst abgeholt und um 12 Uhr in die Becken eingesetzt. Im Gegensatz zu den bisherigen Fischen wurden diese Silberkarpfen vorbeugend in einem Salzbad behandelt (1 % NaCl während 10 min). Von 106 importierten Silberkarpfen starben innert einer Woche sechs Fische.

Der Bezug von Tilapien erwies sich als beinahe unmöglich. Mehrere Zoofachgeschäfte in der Schweiz konnten keine Tilapien anbieten. Schliesslich wurde der Verfasser im Internet auf der homepage der Universität Göttingen fündig. Die Arbeitsgruppe Aquakultur am Institut für Tierzucht und Haustiergenetik arbeitet mit *Oreochromis niloticus* aus dem Lake Manzala in Ägypten. Dr. Andreas Müller-Belecke erklärte sich bereit, die benötigten Versuchsfische zu züchten. Am 12. Juni holte der Verfasser mit der Bahn 135 Tilapien in Göttingen ab. Diese Fische waren alle triploid und somit unfruchtbar.

Die zehn eingesetzten Koi wurden von Sigi Lehmann in CH-9404 Rorschacherberg gezüchtet.

3.5.2 Einfuhr-, Halte- und Versuchsbewilligung

Nach Art. 6 Abs. 1 des Bundesgesetzes über die Fischerei benötigt das Einführen und das Einsetzen landesfremder Fischarten eine Bewilligung des Bundes. Die Haltebewilligung für Tilapien und Silberkarpfen wurde vom BUWAL am 6. April mit vier Auflagen erteilt (cf. Anhang 20). Die Importbewilligung für die beiden Arten erteilte das Bundesamt für Veterinärwesen am 13. Mai (cf. Anhang 21). Darin wurde auf eine grenztierärztliche Untersuchung verzichtet.

Nach eidgenössischem Tierschutzgesetz Art. 13 sind Tierversuche bei der kantonalen Behörde meldepflichtig. Art. 60 Abs. 1f der Tierschutzverordnung schreibt zudem eine Bewilligungspflicht vor, wenn mit betäubten Tieren gearbeitet wird. Die Versuchsbewilligung erteilte das Veterinäramt des Kantons Zürich am 19. Mai (cf. Anhang 22).

3.5.3 Narkose

Vor jeder Messung und vor der Markierung wurden die Fische narkotisiert. Ziel der Narkose war eine Beruhigung, damit sich die Tiere bei der Messung nicht verletzen. Jeweils 4-6 Fische wurden während 3-5 Minuten in ein Bad mit 2-Phenoxy-ethanol (0.33 ml l^{-1}) gesetzt (Peter 1992). Das 2-Phenoxy-ethanol

(weitere Namen: Phenylglykol, Phenyl cellosolve, Ethylenglykolmonophenylether, Schmelzpunkt 14 °C, Dichte 1.11 kg · l⁻¹) ist eine farblose, ölige Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch. Einatmen der Dämpfe kann Halsweh, Husten und Kopfweh bewirken, die Flüssigkeit rötet die Haut (1991). Der LD₅₀-Wert für Ratten liegt bei 1.26 g · kg⁻¹ Körpergewicht (Peter 1992). Aufgrund der Verdünnung und um die Fische besser handhaben zu können, wurde mit blossen Händen gearbeitet. Es traten keine körperlichen Beschwerden auf.

Sobald der erste Fisch Symptome einer Narkotisierung zeigte, wurde er gemessen, gewogen und allenfalls markiert. Die Symptome sahen je nach Fischart unterschiedlich aus. Gemeinsame Kennzeichen waren eine reduzierte Schwimmaktivität und Atmung. Die Fische wichen der Hand nicht mehr aus und liessen sich anfassen. Die Silberkarpfen reagierten am empfindlichsten: Schon nach 30 Sekunden lagen die ersten auf dem Rücken und regten sich kaum. Am zähesten zeigten sich die Schleien: Einzelne spritzten noch nach 5 Minuten Wasser aus der Waage. Karpfen drehten sich nach 1 Minute langsam in die Seitenlage. Die Tilapien fächelten mit den Brustflossen und verharrten ruhig oder trieben langsam umher, waren aber tatsächlich betäubt. Es wäre fatal, in diesem Fall zu warten, bis die Fische sich nicht mehr bewegen. Die Fische sollten maximal fünf Minuten im Narkosebad bleiben.

Die Fische erholten sich gut. Tilapien wichen nach 5 Minuten im Normalwasser wieder den Fingern aus. Die Silberkarpfen verhielten sich nach dem Zurücksetzen aufgeregt, sie schwammen im Schwarm nahe der Wasseroberfläche und einzelne sprangen an den Wänden hoch. Am 7. August erhielten die Fische 4-11 h nach der Narkose Daphnien zugefüttert. Die beiden Koi in F1b verhielten sich wie gewöhnlich und jagten eifrig ihrem Futter nach.

3.5.4 Längen- und Gewichtsmessung

Die Messlatte wurde aus einem aufgetrennten Kunststoffrohr (ø 12.5 cm) und Kunststoffdeckeln selbst zusammengebaut. In die Rohrmulde wurde ein Messband gelegt und mit Silikon überzogen, damit sich die Fische nicht aufschürfen konnten. Gemessen wurde die Totallänge der Fische, das ist die Distanz zwischen der Kopfspitze und dem Hinterende der natürlich ausgebreiteten Schwanzflosse. Die Ablesegenauigkeit betrug 1 mm, was jedoch nicht der Messgenauigkeit entspricht. Einige Schleien hatten verkrümmte Schwanzwurzeln oder gar Deformationen der Wirbelsäule. Daraus ergaben sich Abweichungen bis 4 mm, je nachdem wie die Schleien hingelegt wurden.

Das Lebendgewicht wurde auf einer elektronischen Waage auf 0.1 g genau bestimmt. (Mettler-Toledo PB 602, d = 0.01 g). Die Fische wurden von der Messlatte hochgehoben und auf die nasse Waagschale gelegt. Dabei waren sie 2-5 Sekunden in der Luft und konnten abtropfen. Nach jeder Messung zeigte die Waage etwa + 0.3 g an (Wasser von den Händen und vom Fisch) und wurde jedesmal neu tariert. Um die Messgenauigkeit zu überprüfen, wurde ein toter Fisch zehn Mal nacheinander gewogen. Mittelwert und Standardabweichung betragen 37.1 ± 0.3 g (n = 10). Die kleinen Fische in F2 und F3 wurden gesamthaft gewogen. Die Fische wurden in die feuchte Waagschale oder in einen Eimer mit 4 dl Wasser gelegt.



Abbildung 16: Material für die Fischmessung

3.5.5 Markieren

Jeweils die Hälfte der Fische in Monokulturen wurde markiert, um individuelle Wachstumskurven zu erhalten. In den Polykulturen F4abc wurden alle Fische markiert, in F3 nur die zweisömmrigen. Die Tilapien waren zu klein und wurden nicht markiert.

Die Fische wurden mittels Farbmarken markiert. Mit einer nadellosen Injektionsspritze (Panjet) wurde Alcyanblau unter die Fischhaut geschossen. Die blaugrünen Punkte werden rund 1 mm² gross und bleiben mehrere Monate bis Jahre sichtbar (Peter 1992).

Ein Binärcode mit vier Punkten ergibt $2^4 = 16$ verschiedene Marken. Da die markierten Fische aber mit nicht markierten gemischt werden, ist der Code 0000 unbrauchbar. Somit lassen sich mit vier Farbpunkten 15 Fische individuell markieren. Als Markierungspunkt wurde meist ein Flossenstrahl möglichst nahe der Flossenbasis gewählt. Bei einigen Spiegelkarpfen wurde der Punkt auf die nackte Körperhaut geschossen. Die Schleien haben an der Basis der Rückenflosse ein besonders breites Fettpolster und wurden darauf punktiert. Um das spätere Ablesen zu erleichtern wurden alle Fische auf der linken Körperseite markiert.

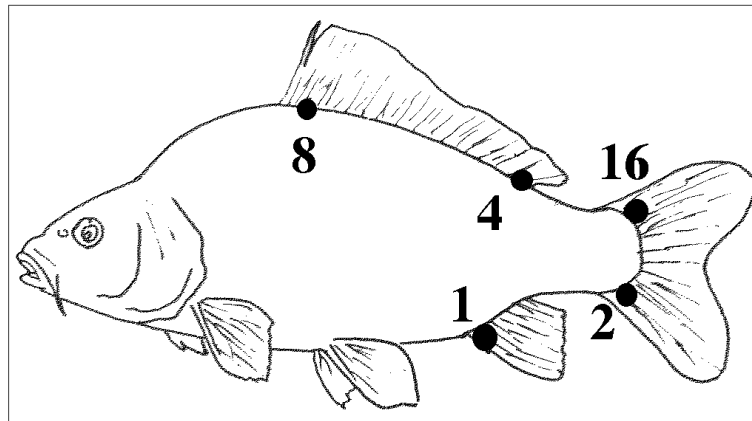


Abbildung 17: Markierungen an den Fischen

1 Afterflosse, 2 Schwanzfl. unten, 4 Rückenfl. hinten, 8 Rückenfl. vorne, 16 Schwanzfl. oben

3.5.6 Abfischen

Alle Fische wurden von Hand mit Netzen gefangen. Entsprechend den Beckenmassen wurden zwei Netze von 1.86 m Länge und 1.3 m Höhe gebaut. Das erste wurde als flache Trennwand eingesetzt und sollte die Fische von den Belüftungsleitungen und dem Abflussrohr fernhalten. Das zweite Netz wurde als Sacknetz konstruiert und an der Betonwand gegenüber der Trennwand eingetaucht. Zu zweit wurde es durch das freie Wasser gezogen, bis die beiden Holzrahmen der Netze dicht aneinander lagen. Dann wurde das Sacknetz an der Trennwand hochgezogen und der Fang mit einem Kescher in Eimer gefischt. Theoretisch sollten spätestens nach zwei Durchgängen alle Fische gefangen sein, da die Netze auf allen drei Seiten abdichten. In der Praxis wurde auch nach sechs Durchgängen erst ein Teil des Besatzes erwischt.

Eine raschere und effizientere Abfischung wurde mit einer einfacheren Methode erreicht. Auf einem U-förmigen Holzrahmen wurde ein Netz lose fixiert. An der unteren Holzleiste wurde es gerafft, so dass die obere Netzkante durchhängend einen Sack von einem halben Meter Tiefe bildete. Dieses handlichere Fanggerät wurde ebenfalls zu zweit vor den Belüftungsschläuchen senkrecht eingetaucht und dicht am Boden entlanggezogen. An der hinteren Wand wurde es beim Hochziehen flacher gelegt, so dass die Fische von der Wand wegschwammen und schliesslich in der Mitte des horizontalen Netzes aus dem Wasser gehievt werden konnten. Mit dieser weiterentwickelten Technik konnten einige Becken in vier Durchgängen vollständig abgefischt werden.

Bei der letzten Abfischung wurde die sicherste Methode gewählt: Mit einer Tauchpumpe wurden die Becken trockengelegt. Dadurch lieferte die letzte Datenerhebung Gewissheit über den Verbleib der nicht erwishten oder vielleicht unbemerkt verendeten Fische.

3.5.7 Töten

Gleich zu Beginn wurde je Art ein Fisch als Belegexemplar für spätere Untersuchungen getötet und eingefroren. Hoffnungslos erkrankte Fische wurden ebenso getötet.

Als schonendste Tötungsweise empfiehlt sich der Genickschnitt (Gohr und Block 1998, Untergasser 1989). Diese Methode wird auch vom Verein Deutscher Aquarianer (VDA) befürwortet. Der Fisch wird flach hingelegt und eine scharfe Messerklinge (Bürocutter) von hinten unter den Kiemendeckel geführt. Die Klinge wird senkrecht aufgestellt und mit einem raschen Druck die Wirbelsäule direkt hinter dem Kopf durchtrennt. Dadurch wird das Rückenmark zerschnitten und das Gehirn vom restlichen Körper abgekoppelt. Alle Fische blieben nach diesem Tötungsschnitt bewegungslos liegen.

3.5.8 Kenngrößen

In der Fischbiologie haben sich einige Kenngrößen als praktische Analysehilfen bewährt. Die verwendeten werden kurz vorgestellt.

Der Futterquotient, Verwertungskoeffizient oder Konversionsfaktor ist ein langjähriger Erfahrungswert. Er gibt an, wieviel kg Futter benötigt werden, um einen Zuwachs von 1 kg Fisch zu erreichen. (Typische Werte cf. Tab. 16).

$$\text{Futterquotient [-]} = \frac{\text{aufgenommene Nahrung [kg]}}{\text{Zuwachs [kg]}} \quad (\text{Steffens 1985})$$

Der Konditionsindex oder Korpulenzfaktor setzt das Körpergewicht in Beziehung zur Fischlänge und liefert dadurch eine Information über den Ernährungszustand oder die Fitness des Fisches.

$$\text{Konditionsindex KI [-]} = \frac{\text{KG} \cdot 100}{L^3} \quad \text{Fultonsche Formel (Steffens 1985)}$$

KG = Körpergewicht des Fisches [g]

L = Gesamtlänge des Fisches [cm]

Schwankungen im Konditionsindex sind durch den Füllungsgrad des Verdauungskanals, die geschlechtliche Entwicklung und den Ernährungszustand bedingt. Normalwerte für Karpfen schwanken zwischen 2.0 und 2.5 (Steffens 1985).

Die Spezifische Wachstumsrate (engl. SGR) gibt den durchschnittlichen täglichen Zuwachs eines Fisches in Prozent seines Körpergewichtes an.

$$\text{Spezifische Wachstumsrate SWR [\% KG} \cdot \text{d}^{-1}] = \frac{\ln \text{KG}_2 - \ln \text{KG}_1}{T_2 - T_1} \quad \text{Omar (1984)}$$

KG_{1,2} = Anfangs-, Endgewicht [g]

T₂ - T₁ = ΔT = Zeitraum [d]

In der vorliegenden Arbeit wurde die «Zinseszinsformel» angewandt:

$$\text{KG}_2 = \text{KG}_1 \cdot (1 + \text{SWR})^{\Delta T} \quad \text{SWR} = \left(\frac{\text{KG}_2}{\text{KG}_1}\right)^{1/\Delta T} - 1$$

Die Formeln sind gleichwertig, wenn SWR << 1 ist. Typische Werte liegen bei 1-3 %, womit die Voraussetzung erfüllt ist.

Ein Fisch wächst umso schneller, je mehr Futter er aufnimmt. Deshalb ist es bei Wachstumsvergleichen unumgänglich, den Futterlevel zu kennen. Die Einheit ist gleich wie bei der Spezifischen Wachstumsrate.

$$\text{Futterlevel [\% KG} \cdot \text{d}^{-1}] = \frac{\text{tägliche Futtermenge [g} \cdot \text{d}^{-1}] \cdot 100}{\text{Körpergewicht [g]}}$$

4. RESULTATE

4.1 Wachstum der Fische

Es werden die Daten aus Anhang 1-11 im Box & Whisker Plot dargestellt.

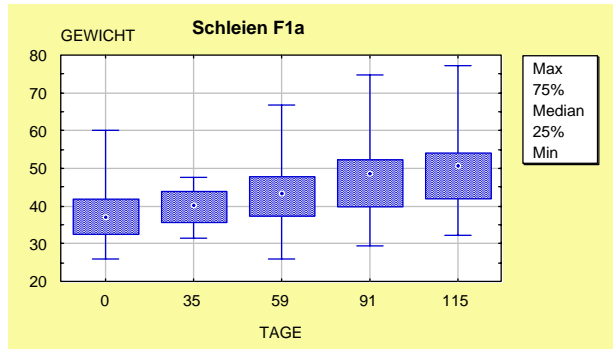


Abbildung 18: Wachstum der Schleien in Monokultur

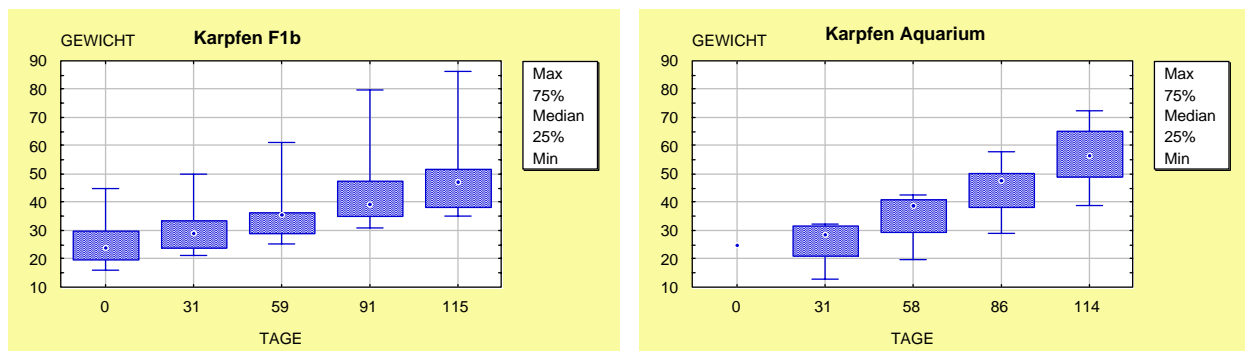


Abbildung 19: Wachstum der Karpfen in Monokultur

Die Karpfen im Aquarium erhielten die doppelte Menge an Daphnien gefüttert und die Wassertemperatur lag schätzungsweise 5 °C höher.

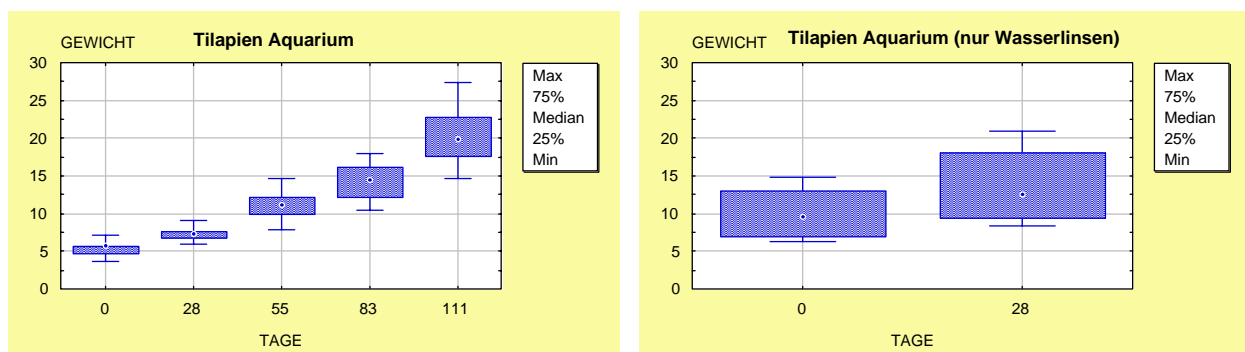


Abbildung 20: Wachstum der Tilapien in Monokultur

Die Grafik links zeigt die Gewichtszunahme der Tilapien in T-Aq, in der Grafik rechts sind die Daten aus SK-Aq dargestellt. Letzterer Versuch dauerte 28 Tage, die Fische erhielten Wasserlinsen als Alleinfutter.

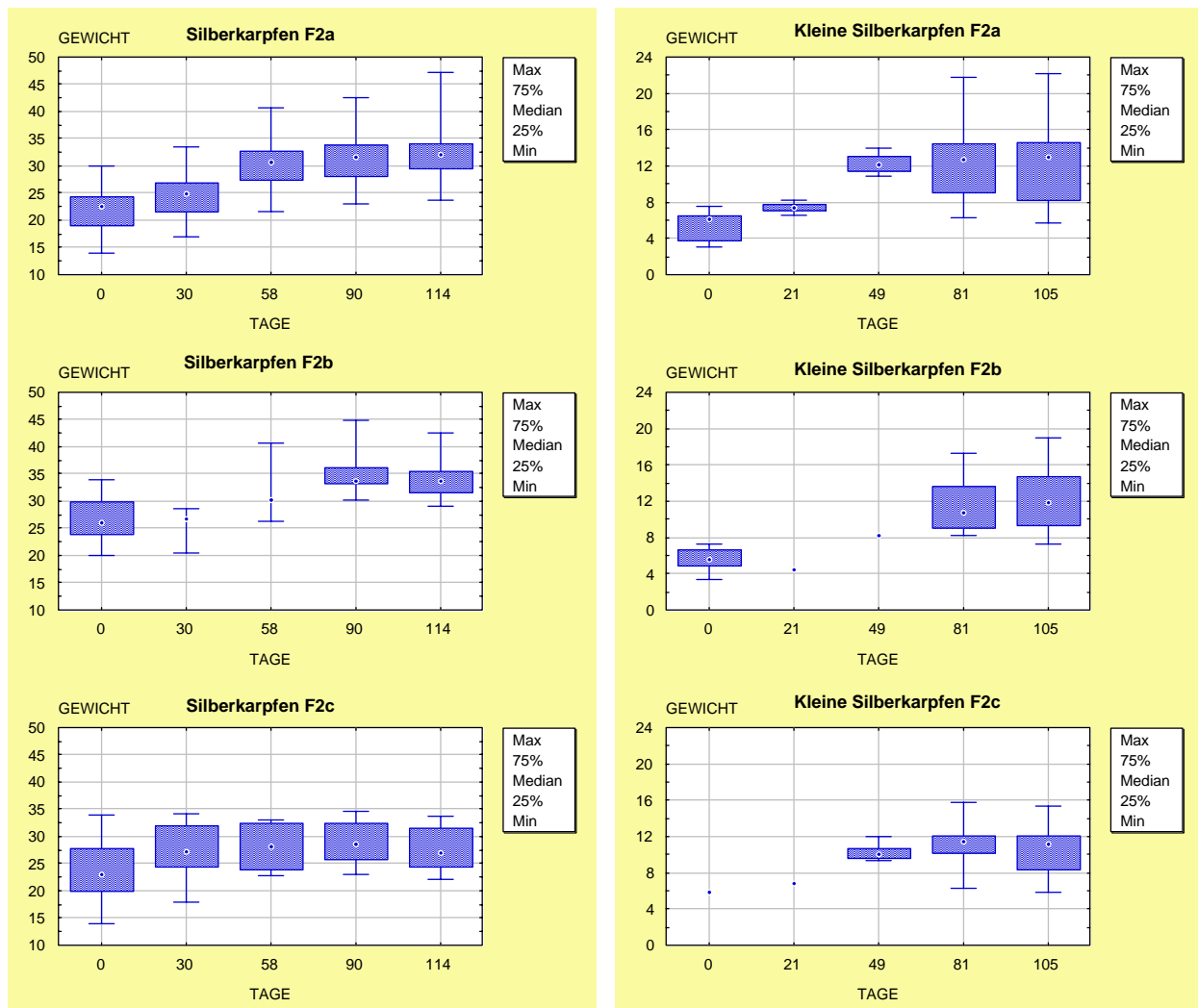


Abbildung 21: Wachstum der Silberkarpfen in Monokulturen

Es wurden nicht bei jeder Messung alle Silberkarpfen gefangen. Daraus erklären sich Schwankungen der Minimum/Maximum-Werte. In F2b und F2c wurden bei zwei Messungen nur die Gesamtmassen erhoben, dargestellt sind die Durchschnittsgewichte.

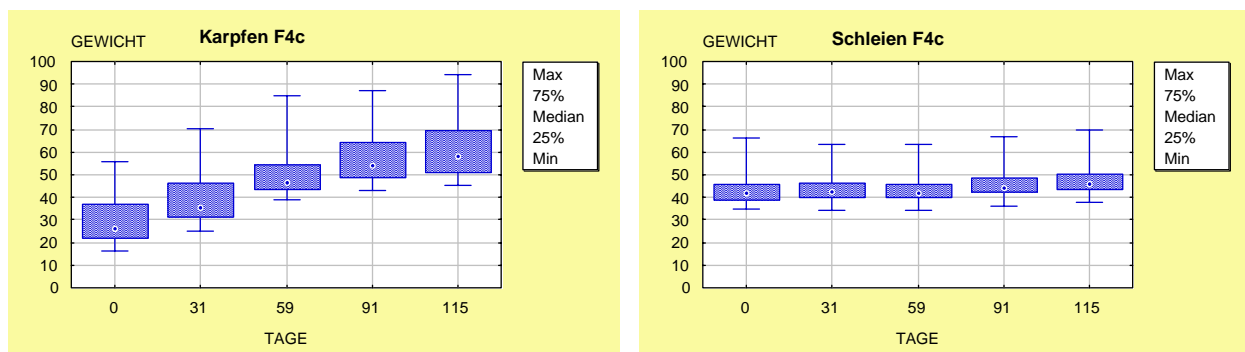


Abbildung 22: Wachstum der Karpfen und Schleien in Polykultur

Ein charakteristisches Bild der beiden Fischarten: Unter gleichen Bedingungen verdoppelten die Karpfen ihr Körpergewicht, während die Schleien lediglich ihr Gewicht halten konnten.

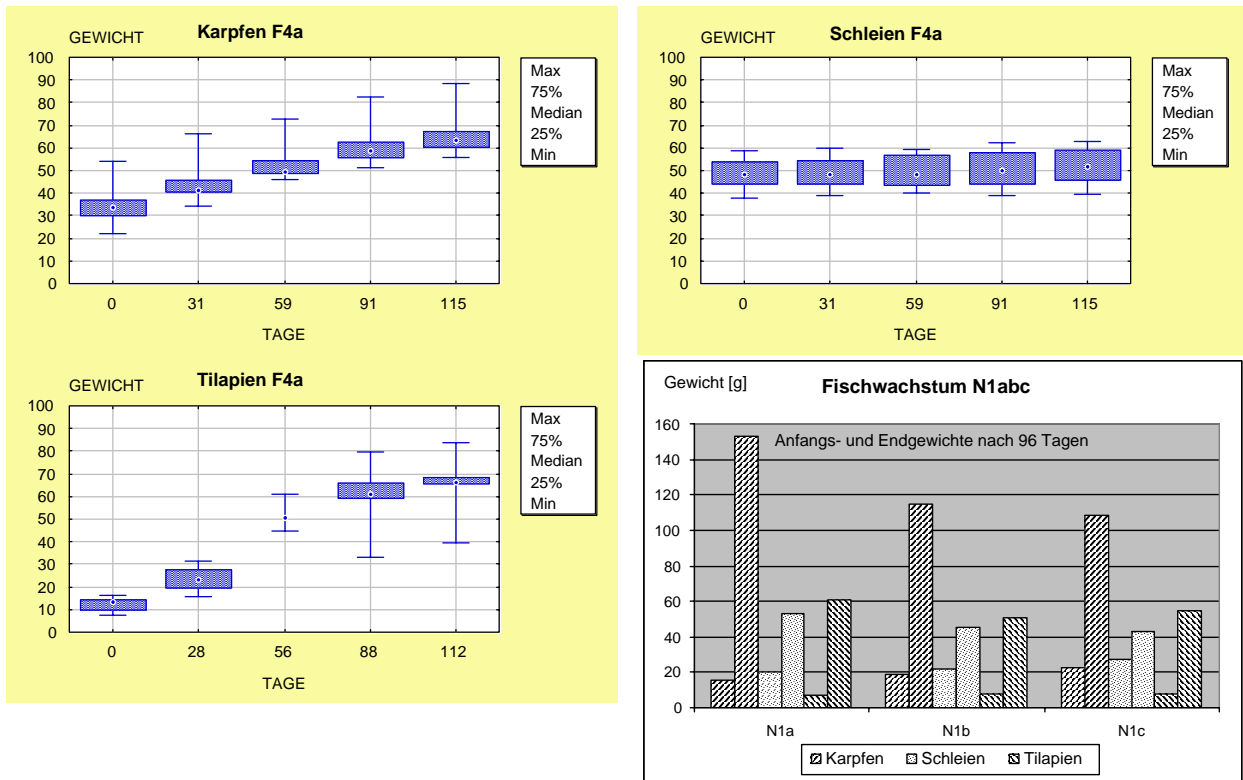


Abbildung 23: Wachstum der Karpfen, Schleien und Tilapien in Polykultur

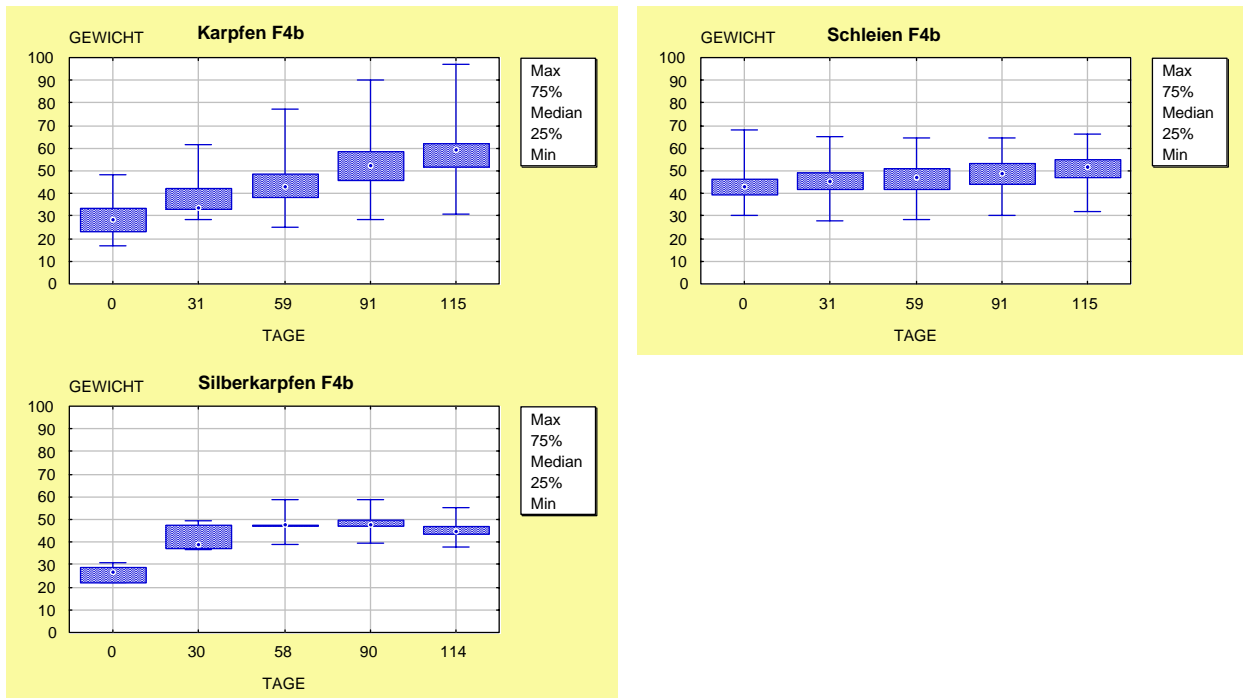


Abbildung 24: Wachstum der Karpfen, Schleien und Silberkarpfen in Polykultur

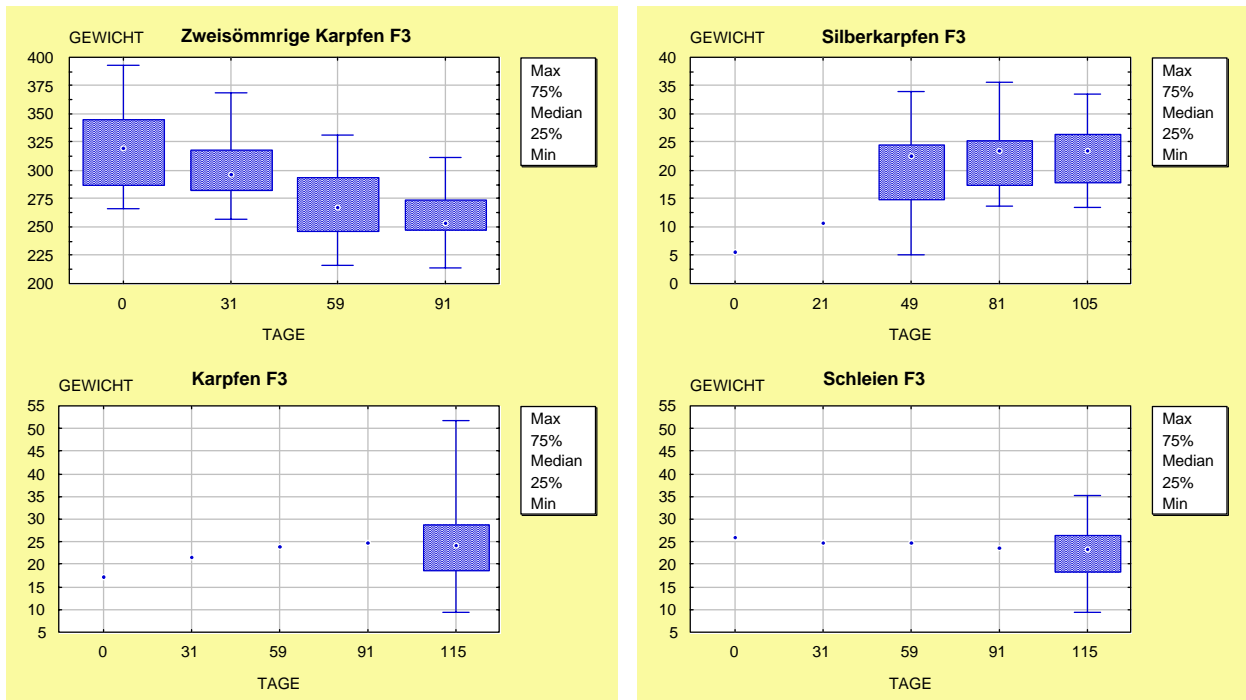


Abbildung 25: Wachstum der Karpfen, Schleien, Silberkarpfen und Tilapien in Polykultur

Das Wachstum der Tilapien ist nicht dargestellt, weil von 65 eingesetzten Fischen nur 2 überlebten.

4.2 Futterquotienten, Wachstumsraten, Fischproduktion

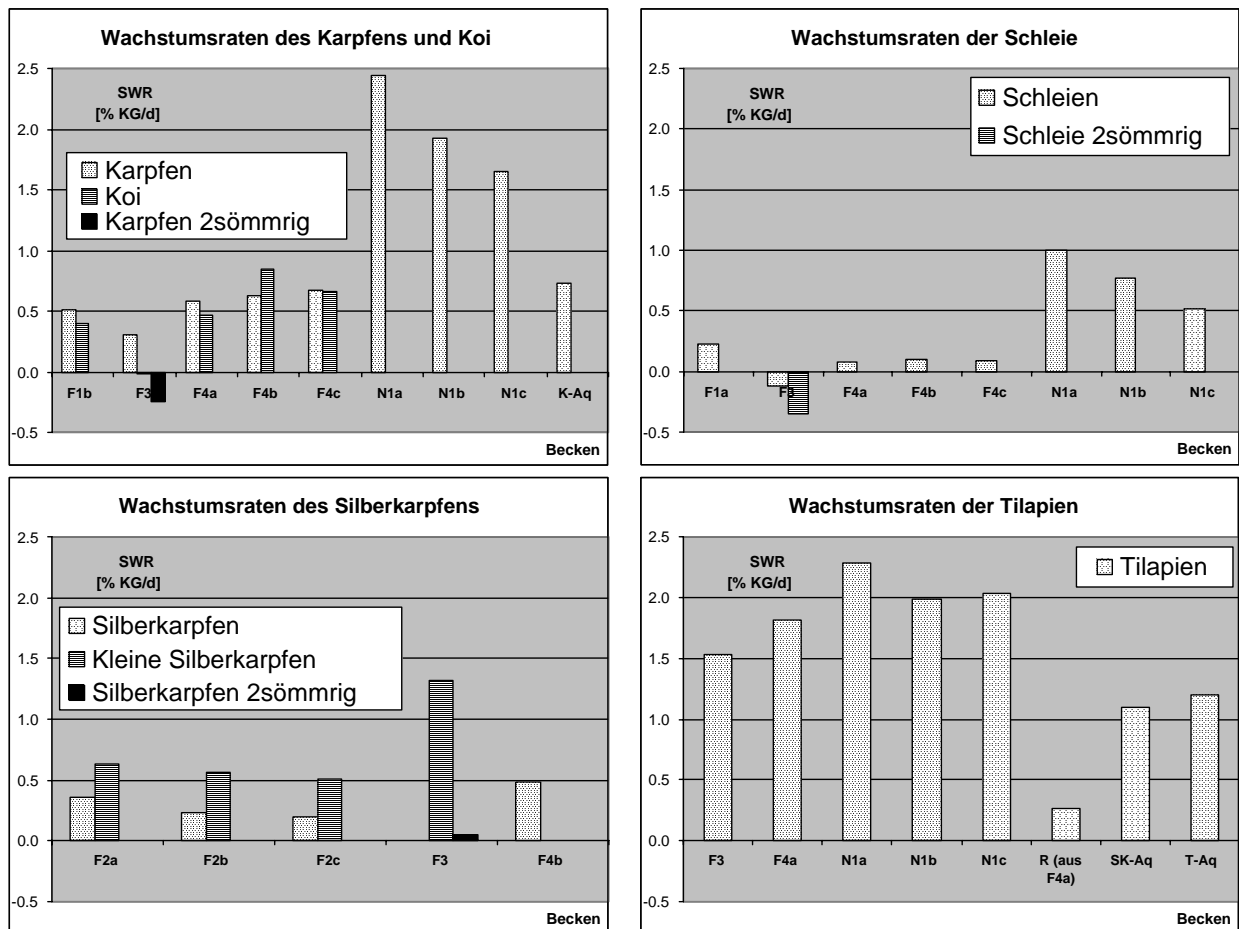


Abbildung 26: Wachstumsraten nach Art und Becken

Tabelle 8: Futterquotient und Wachstumsrate

Becken	Besatz des Beckens	Futterquotient		Futterlevel		SWR Becken [% KG · d ⁻¹]
		FG [-]	TG [-]	Daphnien [% KG · d ⁻¹]	Lemna [% KG · d ⁻¹]	
F1a	27 Schleien	39	2.3	6.3	2.5	0.23
F1b	27 Karpfen, 2 Koi	40	2.2	6.9	11.2	0.51
K-Aq	10 Karpfen	41	2.2	14.0	16.6	0.73
T-Aq	15 Tilapien	29	1.6	20.9	14.4	1.20
SK-Aq	9 Tilapien	43	2.2	-	49.8	1.10
F4a	10 Karpfen, 2 Koi 10 Schleien 10 Tilapien	25	1.3	5.9	6.9	0.52
F4b	10 Karpfen, 2 Koi 10 Schleien 6 Silberkarpfen	38	2.1	5.6	7.5	0.36
F4c	15 Karpfen, 2 Koi 15 Schleien	43	2.3	5.8	7.3	0.33
F3	Karpfen (57, 10 Grosse) Schleien (67, 1 Grosse) Silberkarpfen (19, 1 Grosser) 2 Tilapien	-85	-4.4	1.7	8.2	-0.12

Die detaillierte Berechnung der Futterquotienten ist im Anhang 13 aufgeführt. Für den TS-Gehalt von Daphnien wurde 6 % eingesetzt, für Wasserlinsen 5 % (cf. Tab. 11). In F1a und F1b wurden je drei

Fische vermisst, in F3 sieben. Diese wurden dem Durchschnittsgewicht beim Besatz gleichgesetzt und von diesem abgezogen, also wie nicht eingesetzt behandelt. Es ist am wahrscheinlichsten, dass sie an den Folgen des Importes starben und nicht bemerkt wurden (nicht aufschwammen). Bei den Berechnungen der Becken F4b und F3 wurde die Biomasse der Silberkarpfen nicht berücksichtigt.

Tabelle 9: Produzierte Fischbiomassen

	Schleien		Karpfen		Koi	Silberkarpfen			Tilapien	Alle
	2söm.		2söm.			Kleine SK	SK	SK 2s.		
F1a	196									196
F1b			664		28					692
F1c									-55	-55
F2a						120	147			267
F2b						50	-55			-5
F2c						141	18			159
F3	-271	-104	286	-694	2	291		33	-121	-578
F4a	36		192		25				486	739
F4b	52		373		31		81			537
F4c	68		476		28					572
R (aus F4a)									39	39
SK-Aq									32	32
T-Aq									225	225
K-Aq			316							316
N1a	66		274						107	447
N1b	47		192						86	325
N1c	56		171						93	320
P1a			574			50				624
P1b			61			150				211
Total	250	-104	3579	-694	114	602	391	33	892	5062
Produktion	521	0	3579	0	114	602	391	33	1068	6308

Einige Fische wurden in Becken gefangen, wo sie nicht eingesetzt wurden (P1a, P1b). Da diese aus benachbarten Becken stammen und in jener Bilanz also fehlen, macht die Tabelle keine exakte Aussage darüber, wie viele Fische in welchem Becken produziert wurden. Sie gibt einen Überblick über die totale Produktion jeder Fischart. Die unterste Zeile gibt die Bruttoproduktion an. Dies ist der Zuwachs ohne Berücksichtigung der Fische, die in der Versuchszeit Gewicht verloren haben (und die daher besser nicht eingesetzt worden wären). Dieser Wert ist deshalb von Interesse, weil er den möglichen Totalzuwachs zeigt.

4.3 Verluste

Die Verluste nach Becken und Art sind im Anhang 14 aufgeführt, die Verluste in chronologischer Reihenfolge in Anhang 15 zusammengestellt.

Tabelle 10: Bilanz der Anzahl Fische

Art	Besatz	Verluste	Bestand 2.10.1998	Vermisst
Karpfen	157	17	132	8
Karpfen 2s.	10	3	7	0
Koi	10	0	10	0
Schleien	159	20	136	3
Silberkarpfen	140	17	113	10
Tilapien	135	45	42	48
Total	611	102	440	69

4.4 Futterqualität

Tabelle 11: Zusammensetzung des Futters

x ± s (n)	Trockensubstanz [% FG]	Organ. Substanz [% TG]	g N · kg ⁻¹		g C · kg ⁻¹	
			FG	TG	FG	TG
Daphnien						
M2d	3.6	76.2	2.1	59±4 (3)	12.8	355±4 (3)
D1a	6.7	84.7				
D1b	6.9	86.4				
P2a	5.6 ± 1.0 (3)	80.5 ± 3.6 (3)	3.4	67±6 (2)	19.8	383±18 (2)
D2b	6.4					
N1d	4.8 ± 0.2 (3)	71.3 ± 0.7 (2)	3.1	64±4 (3)	18.0	379±9 (3)
N2b	3.6 ± 0.2 (3)	80.8 ± 4.0 (3)	2.0	56±31 (3)	12.8	363±5 (3)
Wasserlinsen						
M2c	5.5	78.5	2.46	45	19.5	354
M2d	4.5	80.7	1.81	46	15.8	355
D1b	3.6	78.2	0.99	27	13.1	365
P1b	4.9	84.3	0.70	14	18.8	385
N1d	4.9	81.8	1.88	38	17.8	364
N2a	8.6	83.6	1.77	20	30.9	359

4.5 Hälterungsbedingungen

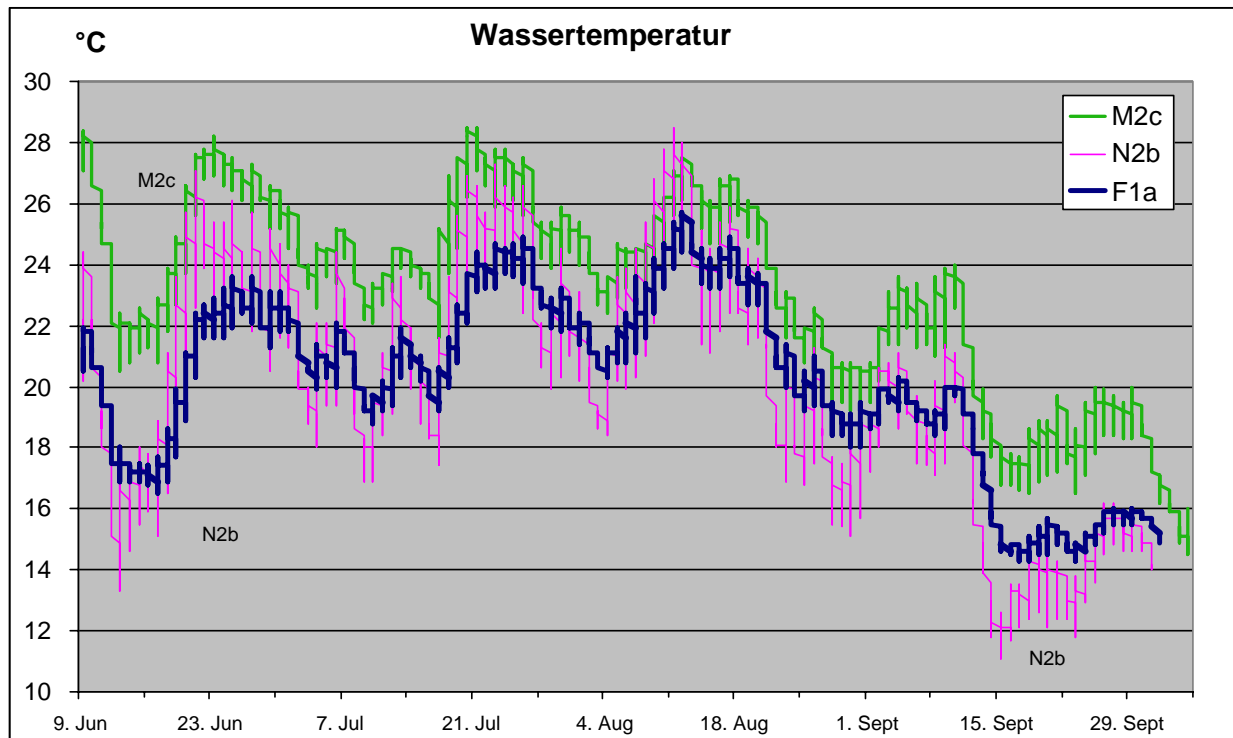


Abbildung 27: Wassertemperatur während der Versuchszeit

Eine achttägige Schlechtwetterphase Mitte Juni verursachte in den Fischbecken einen Temperatursturz von 22 °C auf 17 °C. In diesen Tagen verendeten von 105 eingesetzten Tilapien vermutlich 93 Fische. Der Messpunkt M2c lag im Gewächshaus. Die Wassertemperatur lag dort durchschnittlich 3.3 °C höher.

Tabelle 12: Mittelwerte der Wassertemperatur

Temp. [°C] Becken	9.6.-10.7.98			11.7.-6.8.98			7.8.-8.9.98			9.9.-2.10.98			Total Mittel
	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	
F1a	20.4	16.5	23.6	22.0	19.2	24.9	21.4	18.0	25.7	16.0	14.3	20.0	20.2
F4c	-	-	-	22.2	21.3	23.1	21.7	17.5	26.8	15.8	13.9	20.6	19.3
N2b	20.7	13.3	27.1	22.0	17.4	27.3	20.9	15.1	28.5	14.7	11.4	21.4	19.9
M2c	24.6	20.5	28.4	24.9	21.6	28.5	23.3	19.2	27.5	18.9	16.5	24.0	23.2

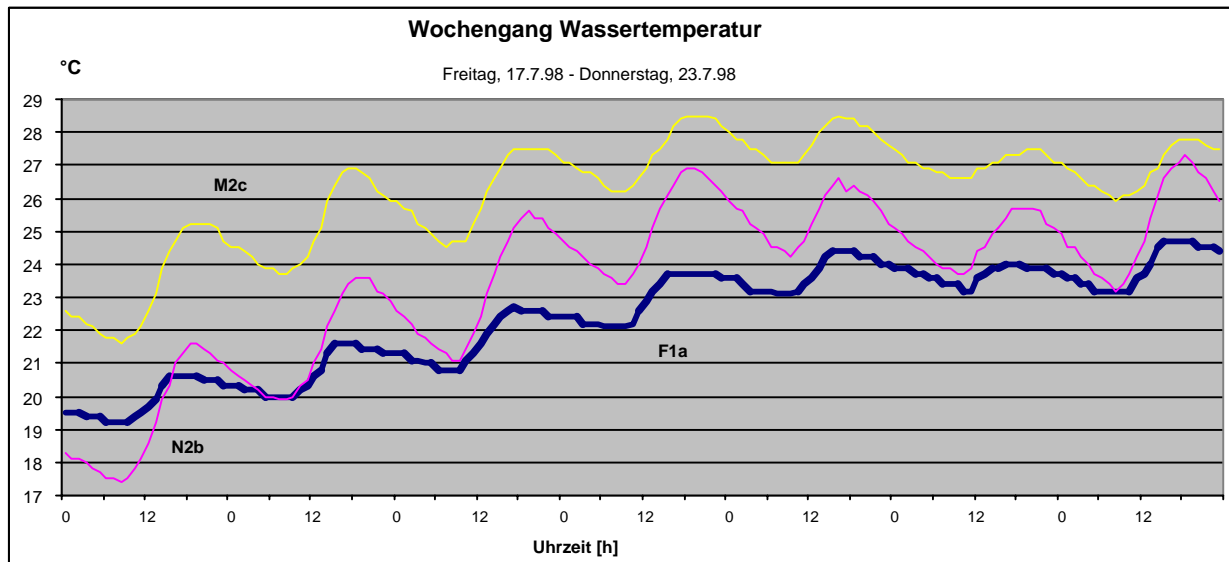


Abbildung 28: Wochengang der Wassertemperatur

An den täglichen Temperaturamplituden sieht man die Pufferkapazitäten der Wasserkörper: F1a ist ein 1.4 m tiefes Fischbecken, in N2b und M2c betrug der Wasserstand 0.45 m. Die kleineren Amplituden in M2c zeigen die Isolationswirkung des Gewächshauses. In der Nacht sank dort die Lufttemperatur weniger tief ab und die Luft war am Morgen jeweils wassergesättigt, so dass die Verdunstungsrate wahrscheinlich kleiner war.

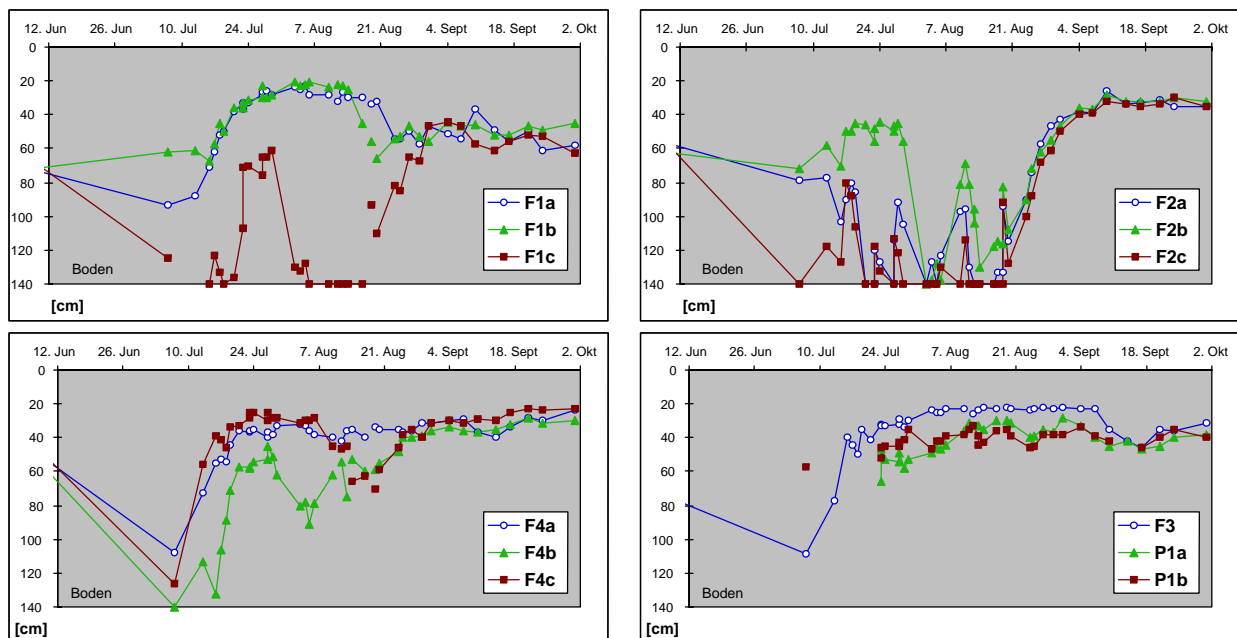


Abbildung 29: Sichttiefen in den Fischbecken

In die Becken P1a und P1b wurden keine Fische eingesetzt. Sie dienten als Kontrollbecken. Interessant ist, dass die Sichttiefe zuerst in fast allen Becken abnahm. Die geringen Sichttiefen am 12. Juni sind auf die hohe Algenkonzentration zurückzuführen, die infolge der Prozesswasserdüngung anfangs noch vorherrschte. Mit Beginn der Fütterung von Wasserlinsen nahm die Sichttiefe wieder ab und pendelte sich schliesslich in allen Becken auf einen konstanten Wert ein.

5. DISKUSSION

5.1 Antworten auf die Fragestellungen

In den Ausführungen wird angenommen, dass Wasserlinsen ein minderwertigeres Futter darstellen als Zooplankton. Diese Annahme wird von zwei Beobachtungen gestützt. Einerseits zeigte der Diätenvergleich an Tilapien, dass die gemischte Diät (Daphnien und Wasserlinsen) besser verwertet wurde als nur Wasserlinsen (FQ 1.6 vs 2.2). Aus dem konstanten Gewichtsverlust der zweisömmrigen Karpfen und Schleien in F3 lässt sich folgern, dass die Bedürfnisse dieser beiden Arten mit Wasserlinsen allein nicht gedeckt waren. Diese Futterdiät bestand hauptsächlich aus Wasserlinsen. Die einjährigen Karpfen in F3 zeigten jedoch einen leichten Zuwachs. Analysiert man die Zuwachsrate im Zeitverlauf, zeigt sich, dass dieses Wachstum in der ersten Versuchsperiode stattgefunden hat, in welcher Handelsfutter zugefüttert werden musste. Im Gegensatz zu den einjährigen Schleien, die ständig an Gewicht verloren, konnte der Karpfen langsam wachsen.

Tabelle 13: Prozentuale Zusammensetzung der Futterdiäten

<u>[% Futtermenge]</u>	<u>Daphnien</u>	<u>Wasserlinsen</u>
F1a	72	28
F1b	38	62
K-Aq	46	54
T-Aq	59	41
SK-Aq	0	100
F4a	46	54
F4b	43	57
F4c	44	56
F3	17	83

5.1.1 Welche Fischart verwertet das produzierte Futter am besten?

Der berechnete Futterquotient von Karpfen und Schleien ist mit 2.3 und 2.2 gleichwertig (cf. Tab. 17). Tilapien erreichten mit der gefütterten Daphnien-Wasserlinsen-Diät einen FQ von 1.6 und verwerteten das Futter am effizientesten.

Dieser direkte Vergleich ist allerdings nicht zulässig. Der Futterlevel an Daphnien bei Karpfen und Schleien war etwa gleich, die Karpfen frassen aber zusätzlich 4.5 mal mehr Wasserlinsen. Die Diät der Schleien setzte sich daher aus 72 % Daphnien und 28% Wasserlinsen zusammen, die der Karpfen bestand aus 38 % Daphnien und 62 % Wasserlinsen. Die Monokultur der Tilapien in F1c starb bereits in den ersten zwei Versuchswochen aus, so dass keine Werte unter vergleichbaren Umweltbedingungen vorliegen. Der Futterquotient der Tilapien wurde an den Aquarienfischen bei einem dreimal höheren Futterlevel beobachtet.

Vergleicht man den Zuwachs der drei Arten, schneiden Tilapien klar als die geeignetste Art ab. Unter guten Bedingungen (N1) erreichten die Tilapien und Karpfen gleiche Zuwachsraten, die Schleien wuchsen nur halb so schnell. Unter weniger optimalen Bedingungen (F3, F4a) wuchsen die Tilapien zwei bis dreimal schneller als Karpfen und zehnmal schneller als Schleien.

Das Wachstum der Schleien ist insgesamt als unbefriedigend zu beurteilen. Es ist möglich, dass die Art bei höheren Wassertemperaturen ähnlich viel Wasserlinsen frisst wie der Karpfen. Da der Futterquotient in etwa gleich ist, könnte der Zuwachs durch Anheben der Wassertemperatur gesteigert werden. Es ist bekannt, dass die Schleie im Vergleich zum Karpfen langsamer wächst. Vom zweiten Lebensjahr an

wachsen die Männchen zudem langsamer als die Weibchen. Während der Zuwachs von Weibchen im zweiten Jahr 100 % und im dritten Jahr 48 % betrug, nahmen die Männchen nur 54 resp. 33 % zu (Steffens 1995). Verschiedene Quellen deuten darauf hin, dass der Zuwachs bei Schleien stark vom Genotyp abhängt. Im Gegensatz zum Karpfen, bei dem während einiger Jahrhunderte Zuchtauslese betrieben wurde, scheint der Nebenfisch Schleie in der Zucht vernachlässigt worden zu sein. Durch den noch «breiteren» Genpool haben sich auch weniger schnellwüchsige Typen erhalten, so dass Schleien grössere Schwankungsbreiten im Zuwachs aufweisen (Steffens 1995).

Tabelle 14: Wachstumsleistungen aus der Literatur

KG [g]	1. Sommer	2. Sommer	3. Sommer	4. Sommer	Quelle
Schleie	5-20 (50)	30-100 (330)	200-400 (800)		Steffens (1985)
Silberkarpfen	8-15	470	1702	2960	Bachofner (1975)

5.1.2 Wächst der Silberkarpfen mit Algen als Alleinfutter?

Die Silberkarpfen in F2 zeigten leichte Zuwachsraten von 0.2-0.6 % $\text{KG} \cdot \text{d}^{-1}$, wobei die kleineren Silberkarpfen deutlich besser wuchsen als ihre grösseren Artgenossen (10-12 cm vs 14-17 cm).

Die Resultate der Silberkarpfen in Monokultur sind ernüchternd (cf. Abb. 21). Der geringe Zuwachs ist auf die tiefe Algendichte zurückzuführen. Bei Beginn der Versuche lag die Sichttiefe bei 60 cm. In F2c blieb sie noch sechs Wochen lang auf der selben Tiefe, in F2a und F2b sank sie bis auf den Grund und lag schätzungsweise bei 2.5 m. Nach der Zufütterung von Algensuspension stieg sie auf 70-100 cm an. An diesen Tagen wurde beobachtet, dass bis 5 cm lange Kotschnüre an der Wasseroberfläche trieben. Die gefütterte Algenbiomasse in der rund 1 m^3 Algensuspension vermochte den Hunger der Silberkarpfen aber nicht zu stillen. Schon nach zwei Tagen hatten die Fische das Phytoplankton herausgefiltert und die Sicht reichte wieder bis auf den Grund (cf. Abb. 29).

Mitte August nahm die Sichttiefe ab und pendelte sich während den letzten fünf Wochen bei 35 cm ein. Die Wasserfärbung war blaugrün. Algenzählungen von Ranka Junge haben ergeben, dass diese Färbung von einem Massenaufreten von kleinen Algenzellen stammt. Die Grösse dieser Organismen lag bei 1 μm und somit unterhalb der filtrierbaren Grenze. Offensichtlich hatte der permanente Frassdruck der Silberkarpfen eine Verschiebung des Phytoplanktons von grossen Algenzellen hin zu kleineren Formen bewirkt. Es wurden Kotanalysen durchgeführt und mit den Algen im Freiwasser verglichen. Es konnte keine Differenz der Algenarten festgestellt werden.

Zuwachswerte aus der Literatur zeichnen den Silberkarpfen als sehr schnellwüchsigen Fisch aus (cf. Tab. 14). In den Grossen Moossee eingesetzte Fische erreichten bei vergleichbarem Besatzgewicht innert Jahresfrist Körpergewichte bis zu 700 g. Diese Fische wuchsen rund dreimal schneller als die untersuchten Silberkarpfen (SWR 2.1).

5.1.3 Gibt es Synergieeffekte in Polykulturen?

Karpfen und Schleien wuchsen in Mono- wie in Polykultur gleich schnell (cf. Abb. 26). Auch die Tilapien wuchsen unter allen Bedingungen gleich gut. Die aus F4a ins Gewächshaus (R) umgesetzten Tilapien zeigten dort nur bescheidenen Zuwachs. Die Wassertemperatur lag zuletzt bei 15-16 °C, was knapp über der Letalgrenze liegt. Dies machte sich dadurch bemerkbar, dass im gleichen Becken üppig Wasserlinsen wuchsen. Zugefütterte Daphnien wurden jedoch gefressen. Dieser Versuch zeigt die Grenze der Einsatzmöglichkeit der Exoten auf: in kaltem Wasser (> 18 °C) fressen die Tilapien nicht mehr und ihr Körpergewicht stagniert.

Einen markanten Wachstumsschub verglichen mit den Monokulturen zeigten die Silberkarpfen. Das Wachstum der Kleinen Silberkarpfen in F3 entspricht beinahe den Beobachtungen unter natürlichen Verhältnissen. Der zweisömmrige Silberkarpfen in F3 wies ein Nullwachstum auf. Es ist unklar, weshalb jüngere Argenossen unter gleichen Bedingungen gut wachsen konnten, zumal sich diese Altersstufen in der Nahrungswahl nicht unterscheiden. In der Polykultur mit Karpfen und Schleien (F4b) wuchsen die Silberkarpfen doppelt so gut wie die Fische in Monokultur. Nach Einschätzung des Verfassers gründet das bessere Abschneiden in Polykultur in der einfachen Tatsache, dass in Monokultur keine Wasserlinsen zugefüttert wurden. In Polykultur war stets eine hohe Dichte an suspendiertem Detritus (grösstenteils unverdaute Resten von Wasserlinsen) vorhanden. Die Belüftung sorgte für eine starke Umwälzung, so dass der Kot von den Begleitfischen in Suspension gehalten wurde und der Beckenboden sedimentfrei blieb. Dies wurde bei der letzten Abfischung festgestellt.

Die Futterquotienten in Polykulturen unterschieden sich nicht von denjenigen der Monokulturen (FQ 2.3 vs 2.1, 2.3). Einzig in F4a wurde das Futter fast doppelt so gut verwertet (FQ 1.3). Dies ist in erster Linie auf das gute Wachstum der Tilapien zurückzuführen und nicht auf ein verändertes Verhalten der Begleitfische Karpfen und Schleien. Zieht man in Betracht, dass die Begleitfische Karpfen und Schleien in F4a vermutlich einen FQ 2.2 aufweisen, muss der Futterquotient der Tilapien unter 1 gewesen sein. Dies ist durchaus möglich, weil der Futterquotient die Futtermenge in Trockengewicht in Beziehung zum Zuwachs an Frischgewicht setzt. Die Tilapien ernährten sich vielleicht zusätzlich von suspendiertem Detritus.

5.1.4 Welchen Einfluss hat der verfügbare Raum auf die Polykultur?

Bei Beginn der Arbeit war die Frage nach der zulässigen Besatzdichte abzuklären. Dabei war ungewiss, ob die Beckenwände und -böden genügend Aufwuchsfläche für denitrifizierende Bakterien bieten würden. Der Einsatz von konventionellen Filtern wurde erwogen, schliesslich aber verworfen. Im untersuchten Zeitraum sind keine bedenklichen Konzentrationen von Schadstoffen aufgetreten. Eine Besatzdichte von $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ scheint unproblematisch.

Die zweisömmrigen Karpfen in F3 verloren ständig Gewicht, drei der zehn Versuchsfische gingen an Unterernährung ein. Der Konditionsindex der Fische sank von durchschnittlich 1.20 auf 1.00 ab, die Toten wiesen Werte von 0.75 und 0.65 auf. Haas (1997) nennt 2.0-2.5 als typisch für Karpfen. Ebenso erging es der grossen Schleie, ihr Gewicht sank von 386 g auf 282 g ab. Am 8. September wurden die restlichen Fische in den Teich gesetzt und gefüttert, um vor dem Winter noch Reserven anlegen zu können. Die Frage, ob auch zweisömmrige Fische Daphnien verwerten können, bleibt ungeklärt. Es stand zu wenig Futter zur Verfügung, die Fische in F3 erhielten mit $1.7 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ rund viermal weniger Daphnien als in den anderen Becken. Der Versuch hat jedoch gezeigt, dass Wasserlinsen als Alleinfutter für zweisömmrige Karpfen und Schleien nicht ausreichen. Interessant ist das unterschiedliche Wachsen der kleinen Karpfen und Schleien. Die Karpfen konnten 42 % zunehmen, während die Schleien unter den gleichen Bedingungen 12 % abnahmen.

5.1.5 Wieviel schneller wachsen Tilapien bei erhöhter Wassertemperatur?

Diese Frage sollte anhand der Fische in Aussenhaltung (F1c) und im Aquarium (T-Aq) beantwortet werden. Da der gesamte Bestand in F1c einging, kann die Frage nur bedingt beantwortet werden. Stellvertretend für die Monokultur werden die Fische in F4a beigezogen.

Wider Erwarten wuchsen die Tilapien im Aquarium langsamer als in F4a. Die durchschnittliche Temperatur im Aquarium lag schätzungsweise $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ höher als im Freien. Aus zeitlichen Gründen konnte die genaue Differenz nicht mehr ermittelt werden. Der Futterlevel im Aquarium betrug insgesamt $35 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$, im Freien lediglich $13 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$. Trotzdem erreichten die Tilapien im Freien einen besseren Futterquotient (1.3 vs 1.6) und eine bessere Wachstumsrate (SWR 1.8 vs 1.2).

Um weitere Verluste durch tiefe Wassertemperaturen zu vermeiden, wurden die zehn Tilapien aus F4a am 8. September in das Reservebecken im Gewächshaus (R) umgesetzt. Dies waren die einzigen Fische, welche für zwei verschiedene Versuche eingesetzt wurden.

5.1.6 Können Tilapien Wasserlinsen verwerten?

Die Wassertemperatur schwankte zwischen 23 und 27 °C. Die neun Versuchsfische (SK-Aq) zeigten einen Futterquotient von 2.2 und frassen bei ad libitum Fütterung täglich die Hälfte ihres Körpergewichtes. Die Zuwachsrate lag nur wenig unter den Vergleichsfischen in T-Aq (1.1 vs 1.2), obwohl diese mit 20 % $\text{KG} \cdot \text{d}^{-1}$ Daphnien gemästet wurden. Gaigher (1984) testete die Verwertung einer anderen Art Wasserlinsen durch Tilapien (cf. Tab. 17). Er fand einen FQ 1 bei langsamer Wachstumsrate von 0.7 % $\text{KG} \cdot \text{d}^{-1}$.

5.1.7 Wachsen Koi und gewöhnliche Karpfen gleich gut?

Eine grafische Antwort liefert Abbildung 26: in vier der fünf eingesetzten Becken unterschieden sich die Wachstumsraten der Koi nicht von derjenigen der Karpfen. Einzig in F3 hielten die Koi lediglich ihr Besatzgewicht, während die einjährigen Karpfen 40 % an Körpergewicht zunahmen. Die Anzahl Beobachtungen ist mit je zwei Fischen ungenügend für eine quantitative Aussage. Es kann jedoch gesagt werden, dass eine Aufzucht von Koi anstelle von Karpfen möglich ist.

5.1.8 Wächst der Karpfen schneller bei höherem Futterlevel?

Die Karpfen im Aquarium erhielten doppelt soviel Daphnien wie ihre Artgenossen im Freien. Der Futterquotient blieb mit 2.2 exakt gleich, dafür stieg die Wachstumsrate um den Faktor 1.5 an (0.73 vs 0.51). Die Diät ist mit den Karpfen F1b vergleichbar, allerdings herrschten andere Umweltbedingungen. Die Karpfen in Polykultur mit Schleien und Tilapien erreichten aber fast dieselbe Wachstumsrate mit einem dreimal tieferen Futterlevel.

Die grösste Überraschung wurde bei der letzten Abfischung in P1a trockengelegt: Völlig unerwartet schwamm darin ein stattlicher Wildkarpfen von 31.2 cm Länge und 574 g Gewicht. Offensichtlich fand der Fisch genügend Naturnahrung, die er für sich allein beanspruchen konnte. Das Wachstum ist umso erstaunlicher, da im selben Becken ein Fisch verhungert ist. Am 15. Juni wurde darin eine Schleie gefangen, die schlapp und reaktionsträge knapp unter der Wasseroberfläche taumelte. Eine halbe Stunde später war sie tot.

5.2 Fischproduktion

Über die gesamte Versuchsperiode wurden total 63.4 kg Daphnien und 115 kg Wasserlinsen verfüttert. Die totale Fischproduktion betrug 5.06 kg. Lässt man die Fische ausser Acht, die in der Versuchsperiode abgenommen haben (und die man folglich besser nicht eingesetzt hätte), betrug der Zuwachs 6.30 kg Fisch. Dies ergibt einen durchschnittlichen Futterquotient von 1.5. Vergleicht man diesen Wert mit anderen Futtermitteln, entspricht die produzierte Diät in etwa konventionellem Fischfutter.

*Tabelle 15: Futtermittel für den Karpfen
aus: Horvath, L. und G. Tamas (1984)*

Futter	Trockensubstanz [%]	Verdaulicher Anteil [%]		Futterquotient
		Protein	Fett	
Weizen	87	10	1	4-5
Roggen	87	9	1	4-5
Gerste	87	8	2	4-5
Mais	87	8	4	4-5
Hirse	87	8	4	4-5
Erbsen	87	19	1	3-4
Süßlupine	87	33	6	2.5-3
Soja	87	28	16	2-3
Kleie	87	10	2	8-10
Sonnenblumen-Extrakt	90	16	16	3-6
Fischmehl	88	44	2	2-3
Fleischmehl	89	64	-	2-3
Puppen von Seidenraupen	90	39	-	1.5-2.5
Roher Fisch	20	16	-	6-10
Schlachtabfälle	23	19	-	6-15
Gras	30	2	4	20-30
Kresse	24	3	-	15-25
Klee	18	3	-	20-30

Die Frage nach dem Futterlevel verdient eine genauere Betrachtung. Der Futterlevel an Daphnien war auf $20 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ angesetzt worden in der Annahme, Daphnien hätten einen Trockensubstanzanteil von 15 %. Dies hätte einen Futterlevel von $3 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ Trockenfutter bedeutet, was einer guten Fütterung entspricht (cf. Tab. 17). Die Analyse der gefütterten Daphnien ergab aber Gehalte von 3.6-6.9 % Trockensubstanz (cf. Tab. 11). Da die meisten Daphnien aus N1d und P2a geerntet wurden, wird mit einem durchschnittlichen Wert von 6 % gerechnet.

Der effektive Futterlevel lag aufgrund der knappen Produktion dreimal tiefer (cf. Tab. 8). Die Fische in F1ab und F4bc erhielten demnach lediglich einen Futterlevel von $0.3-0.4 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ Trockenfutter. Unter diesem Aspekt sind die gefundenen Wachstumsraten von $0.6 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ beim Karpfen erstaunlich hoch. Das schlechte Wachstum der Schleie ($0.1-0.2 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$) wird dadurch ebenfalls erklärt. Die Karpfen und Schleien in N1 wurden nicht gefüttert und erreichten mit der vorhandenen Naturnahrung sehr gute Zuwachsraten.

Unter fast gleichen Bedingungen wie in der vorliegenden Arbeit führten Balasubramanian und Kai (1994) Fütterungsversuche mit Karpfen durch. Sie leiteten den Ausfluss einer Biogasanlage direkt in die Versuchsbecken ($5 \times 4 \times 1.3 \text{ m}$) ein und erzielten damit Wachstumsraten von $1.8 \% \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ bei Karpfen.

Tabelle 16: Futterquotienten und Wachstumsraten

Fischart	Zeit [d]	Gewicht [g] Beginn	Gewicht [g] Ende	SWR [% KG · d ⁻¹]	Level	Temp [°C]	FQ	Futter	Autor
Silberkarpfen	1 Jahr	9	417	1.84				Fische im	Müller 1995
	1 Jahr	10	731	2.06				Grossen Moossee, Bern	Müller 1995
	1 Jahr	8	583	2.06					Müller 1995
	1 Jahr	417	1685	0.67					Müller 1995
	1 Jahr	731	1979	0.48					Müller 1995
	1 Jahr	583	1574	0.47					Müller 1995
	159	22	439	1.44				Teich	Cremer 1980
Tilapie (<i>O. niloticus</i>)	165	40	337	1.30			1.9		Siddiqui 1989
	56	46.2	83.3	1.06	3	20-23	2.6	Fischmehl	Ofojekwu 1984
	56	43.4	57.2	0.49	3	20-23	4.8	Baumwollsamensamen	Ofojekwu 1984
	56	17.0	18.1	0.11	1	20-23	7.2	Baumwollsamensamen	Ofojekwu 1984
	56	17.0	19.6	0.25	2	20-23	6.3	Baumwollsamensamen	Ofojekwu 1984
	56	17.1	21.2	0.38	3	20-23	6.1	Baumwollsamensamen	Ofojekwu 1984
	56	7.7	22.6	1.94	4	26	1.3	Konventionell	Tung 1991
	70	5	5.9	0.23	3.0	23-26	15	30 % Eichhornia	Ofojekwu 1994
	18	125	141	0.67		24-30	1	Lemna gibba	Gaigher 1984
Karpfen	112	15.5	408	2.96	2.0			Karpfenfutter	Omar 1984
	112	15.0	608	3.36	2.5			Karpfenfutter	Omar 1984
	1 Jahr	3.9	661	2.47	-	25-36		Biogas-Ausfluss Teich	Balasubramanian 1994
	1 Jahr	3.9	120	1.65	1.7	25-36		Konventionell	Balasubramanian 1994
	116	28	295	0.38	2.0	24	1.5		Steffens 1985
116	28	214	0.67	2.0	24	1.6		Steffens 1985	
Schleie	1 Jahr	150	300	0.33				Weibchen, Teich	Steffens 1995
	1 Jahr	140	215	0.20				Männchen, Teich	Steffens 1995
	1 Jahr	305	450	0.19				Weibchen, Teich	Steffens 1995
	1 Jahr	260	345	0.13				Männchen, Teich	Steffens 1995

Annahme: 1 Jahr = 7 Wachstumsmonate

In der Systembilanz der Anzahl Fische (cf. Anhang 14) fällt auf, dass Schleien nur in F3 gestorben sind. Dies waren in erster Linie kleine, schwache Fische mit einem tiefen Konditionsindex. Die hohe Zahl von Verlusten (102 von 611 Fischen = 17%, unter Einbezug der 171 vermissten 28 %) geht in erster Linie auf das Massensterben der Tilapien zurück. An der Wärme im Gewächshaus traten in der ganzen Versuchsperiode keine Toten auf.

Die Konditionsindices stiegen in allen Becken leicht an und lagen bei Versuchsende etwa 0.1 höher als beim Besatz. Dies ist durch die natürliche Ausbildung von Fettreserven bedingt.

Die folgende Tabelle wurde in Vorbereitung für eine Nährstoffbilanzierung erstellt.

Tabelle 17: Zusammensetzung des Fischkörpers

	Protein [% TS]	Fett [% TS]	Kohlenhydrate [% TS]	Asche [% TS]	Wasser [% FG]	Energie [kJ · g ⁻¹ TS]	Quelle
Tilapie	60.1-66.6	28.9-36.8	-	9.17-9.36	73.0-76.6		Ofojekwu (1984)
	70	18-38	-	3.4-4.2	73-77		Tung 1991
Karpfen	49-66	17-41	-	7-14.5	70-80	23-28	Omar (1984)
	44-68	9-18	2-18	12-15	76.2-79.3	-	Mahboob (1996)
Silberkarpfen	51-63	7-13	7-14	10-21	75.4-82.5	-	Mahboob (1996)

5.3 Fischkrankheiten

Die meisten Informationen über die Fischkrankheiten sind den Ausführungen aus Schäperclaus (1979) entnommen. Wenn nicht anderst vermerkt, stützen sich die Angaben auf seine Aussagen. In diesem Kapitel werden Biologie und mögliche Bekämpfungsmethoden der aufgetretenen Krankheiten ausführlich beschrieben. Dies vor allem deswegen, weil einmal eingeschleppte Parasiten immer wieder auftreten können und man sich der latenten Infektionsgefahr bewusst sein sollte.

5.3.1 Karpfenlaus (*Argulus foliaceus*)

Unter den Crustaceen gehört die Familie der *Argulidae* zu den am weitesten verbreiteten und gefährlichsten Ektoparasiten von Süßwasser- und Meeresfischen. Allgemeines Merkmal der Arguliden ist der dorsoventral stark abgeflachte Körper, bestehend aus zwei Abschnitten. Der vordere ist an das Parasitenleben angepasst, der hintere dient der Fortbewegung. *Argulus* besitzt an der Körperunterseite zwei Saugnäpfe, zwischen denen der bewegliche Stachel und der Rüssel liegen, zwei schwarze Facettenaugen, zwei Antennen mit Klammerhaken und vier Paar Schwimmbeine. Der Mitteldarm verzweigt sich innerhalb des Carapax, so dass viel Nahrung gespeichert werden kann. Eine vollgesogene Karpfenlaus kann bei 14 °C etwa eine Woche ohne Nahrung überleben.

Die Begattung erfolgt im freien Wasser, die Eier werden in Form von Schnüren zu etwa 100 Stück an Pflanzen, Steinen, Aquarienscheiben und dergleichen abgelegt. Die Nauplien entwickeln sich in der Eihülle, weshalb das erste freie Jugendstadium bei 19 °C erst nach drei Wochen schlüpft. Das 0.6 mm grosse Jugendstadium trägt bereits den typischen Carapax und befällt bald einen Fisch. Bis zum Adultstadium folgen acht Häutungen, die bei 16-20 °C in etwa vier Wochen durchlaufen werden. Die Männchen sind dann etwa 3.0 mm, die Weibchen 3.5 mm lang. Die Generationsdauer beträgt bei 16 °C etwa acht Wochen. Ausgewachsen misst *Argulus foliaceus* bis 8.5 mm.

Arguliden sind temporäre Berufsparasiten, die ihren Wirt nach dem Blutsaugen verlassen und frei umherschwimmen. Das Finden eines neuen Wirtes geschieht zufällig. Die Fischhaut wird mit den Mandibeln angeschnitten. Danach sticht die Karpfenlaus den Stachel in die Wunde und saugt mit dem Rüssel Blut. Beim Stich wird ein Gift injiziert, welches die Blutgerinnung verhindert und stark lähmend wirkt. Für kleinere Fische kann der Stich tödlich sein. Der Fisch wird direkt durch Entzug von Blut und Gewebesäften und indirekt als Wegbereiter oder Überträger sekundärer Infektionen geschädigt. An einem 1000 g schweren Hecht zählte man 420 Läuse, bei kleinen Karpfen traten bei 30 Läusen pro Fisch Verluste auf.

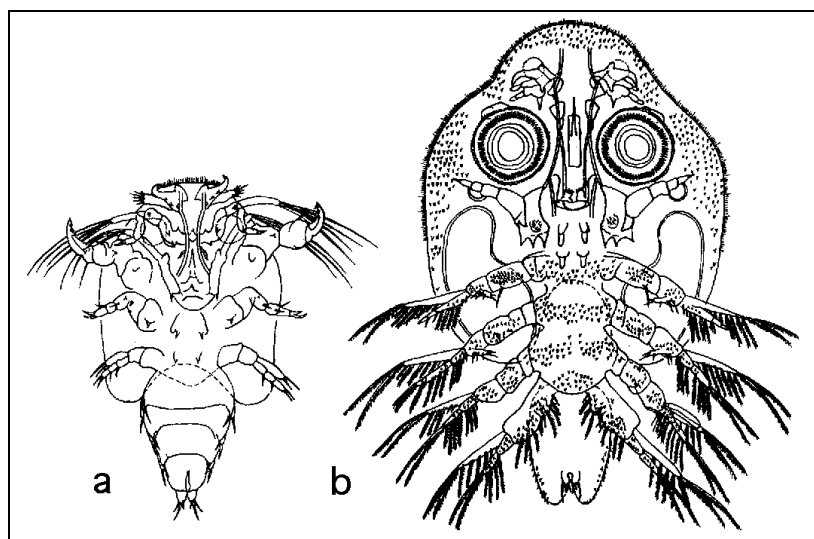


Abbildung 30: Larvenstadien von *Argulus japonicus*

a Stadium I 0.7 mm, b Stadium VIII 2.4 mm (aus: Schäperclaus 1979)

In der Teichwirtschaft wird die Karpfenlaus mit Trockenlegen der Teiche während mehr als drei Stunden oder mit Branntkalkbehandlung im noch feuchten Teich bekämpft, wenn dabei der pH-Wert über 9.8 ansteigt. Der vormalige Fischgesundheitsdienst der DDR gibt als Schwellenwert für eine Behandlung eine Parasitenzahl von > 2 *Arguli* bei jährigen oder > 5 *Arguli* bei zweijährigen Karpfen an. Als Bad empfohlen wird der Einsatz des Insektizides Trichlorphon (Dauerbad $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 24 h oder $0.4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 6 h, Kurzbad $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 30 min) oder ein Kurzbad mit Kaliumpermanganat ($10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 30 min).

Die Karpfenlaus trat hauptsächlich im Aquarium bei den Silberkarpfen auf. Am 27. Juli, drei Wochen nach dem Besatz, wurden die ersten beiden Läuse entfernt. Die Einstichstellen waren angeschwollen und waren von einem weissen Hof umgeben. Da die Generationsdauer 2 Monate beträgt, sollten die Parasiten manuell bekämpft werden. Alle vier Tage wurden die Läuse mit der Pinzette von den neun Silberkarpfen entfernt. Das Ergebnis waren acht, eine, fünf, 31, fünf und nach vier Wochen schliesslich keine *Arguli* mehr. Offensichtlich pflanzten die Läuse sich fort, am Rekordtag wurden vier adulte und 27 juvenile entfernt. Die Körperlängen reichten von 0.5 bis 6.5 mm. Einen Monat später wurde im selben Aquarium ein vereinzelter *Argulus* auf der Schwanzflosse einer Tilapie entdeckt. In den Aussenbecken wurde ein einziger *Argulus* auf einem Karpfen in F3 gefunden.

5.3.2 *Lerne cyprinacea*

Dieser Parasit aus der Klasse der *Crustacea*, Unterklasse *Copepoda* ist weltweit verbreitet. In Nordamerika wird er als einer der wichtigsten Parasiten bei Nutzfischen bezeichnet.

Die Weibchen werden 5-22 mm, die Männchen nur etwa 0.8 mm lang. Der Lebenszyklus beginnt mit grünlichen Eiern von 0.1 mm Länge, aus welchen 0.25 mm grosse Nauplien schlüpfen. Über drei Häutungen und ein Metanauplius-Stadium wird das erste Copepodit-Stadium erreicht. Nach fünf Copepodenhäutungen folgt das erste Cyclopid-Stadium. Als Copepodit I-IV ist *Lerne* temporärer Parasit. Die Larven sind freischwimmend und ernähren sich von Blut und Schleimstoffen auf den Kiemen ihrer Wirte. Im IV. Copepodit-Stadium erfolgt die Kopulation, worauf die Männchen sterben und die Weibchen in die Haut des Wirtes eindringen. Von nun an sind die Parasiten permanent mit fest fixierter Lokalisation an den Wirt gebunden. Der Vorderkörper mit dem Mund und den hornartigen Kopffortsätzen wird in der Muskulatur verankert. Der schlauchartige Körper ragt zwischen den Schuppen nach hinten heraus.

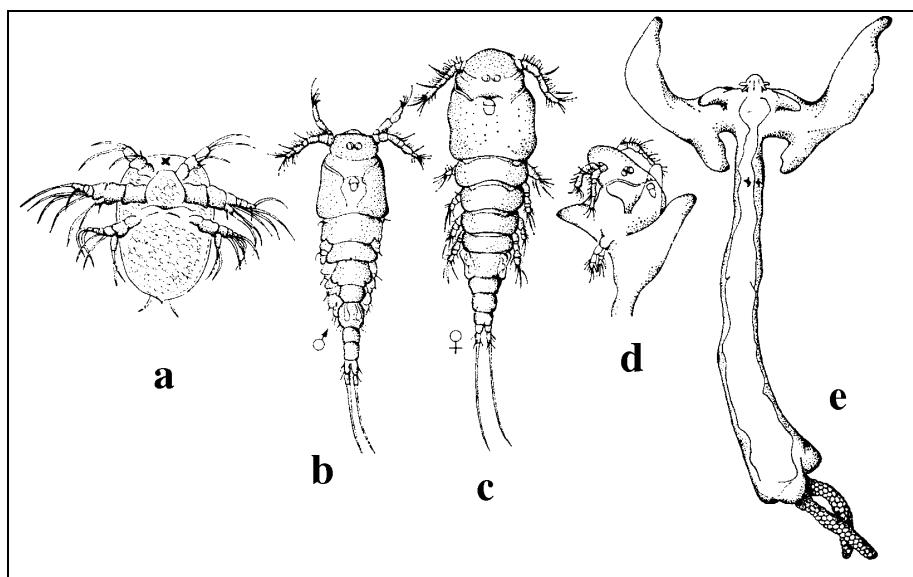


Abbildung 31: Entwicklungsstadien von *Lerne cyprinacea*

a Nauplius, b und c Copepodit, d sesshaft gewordenes Weibchen, e adultes W. mit Kopffortsätzen (aus: Schäperclaus 1979)

*Lerne*a entwickelt sich zwischen 14-33 °C. Der Lebenszyklus dauert bei 14 °C 100 Tage, bei 28 °C nur noch 7-13 Tage. In Gewässern mit einem pH-Wert unter 7 oder bei Salzkonzentrationen über 18 ‰ scheint sie nicht vorzukommen. Den Winter überdauert sie als larvales Weibchen, das vom Wirt zystenähnlich abgekapselt wird, oder als adultes Weibchen.

Massiver Befall tritt nur während der warmen Sommerzeit auf. In Teichwirtschaften wie in natürlichen Gewässern sind schon Fischsterben an Karpfen, Karauschen und Aalen aufgetreten. Der Parasit zerstört die Beschuppung seines Wirtes, an der Stelle des Eindringens kommt es zur Bildung von Geschwüren. Starker Blutverlust und begünstigte Sekundärinfektionen sind die Folgen. Die befallenen Fische zeigen blitzschnelle Scheuerbewegungen gegen den Boden oder Gegenstände. In der Folge magern die Fische stark ab, bei starkem Befall schwimmen sie mit dem Bauch nach oben oder hängen senkrecht im Wasser.

Zur Bekämpfung der Larven eignen sich Kochsalz-Bäder (0.8-1.1% während 3 d), Kaliumpermanganat ist auch gegen Adulte wirksam. Der vormalige Fischgesundheitsdienst der DDR empfiehlt Trichlorphon (Dauerbad 0.2 mg · l⁻¹ während 24 h oder 0.4 mg · l⁻¹ während 6 h, Kurzbad 5 mg · l⁻¹ während 30 min) oder ein Kurzbad mit Kaliumpermanganat (25 mg · l⁻¹ während 60-90 min).

In der Aquakultur befiel *Lerne*a hauptsächlich die zweijährigen Wildkarpfen im Becken F3. Die Ektoparasiten wurden mit der Pinzette ausgezupft. Die meisten liessen sich leicht und mitsamt den Kopffortsätzen (Verankerungshaken) entfernen, einzelne rissen entzwei, so dass der vordere Teil nochmals gefasst werden musste. Oft war *Lerne*a in einem roten Geschwür versteckt, die Schuppen am Befallsort lose und abgespreizt. Den stärksten Befall trug ein Karpfen mit 19 *Lerne*a am 7. August, eine Woche später starb er. Die anderen zweisömmrigen Karpfen trugen acht und drei *Lerne*a. Am 7. September waren wiederum drei Karpfen mit vier, drei und zwei *Lerne*a befallen. Die meisten sasssen hinter der Rückenflosse auf dem Schwanzstiel, aber auch an Brust-, After- und Schwanzflosse. Ausser in F3 wurde je eine *Lerne*a in F1b an Karpfen und im Aquarium an Silberkarpfen gefunden.

5.3.3 Weisspünlchenkrankheit (*Ichthyophthirius multifiliis*)

Der Erreger, kurz «Ichthyo» genannt, gehört zu den holotrichen Ciliaten. Der Einzeller ist weltweit verbreitet und befällt fast alle Süsswasserfischarten und einzelne Meeresfische. Besonders häufig tritt die Weiss- oder Griesskörnchenkrankheit in Zierfischaquarien auf.

Ichthyophthirius multifiliis ist rund, an der Oberfläche bewimpert und erreicht eine für Einzeller stattliche Grösse von 0.5-1.5 mm. Ausgewachsene Erreger sind von blossen Auge als weisse, griessartige Pünlchen auf der Fischhaut, den Kiemen und Flossen zu erkennen. Der Parasit vermehrt sich ausserhalb des Fisches. Die birnenförmigen, 50 µm grossen Schwärmer suchen einen Fisch und bohren sich unter die Epidermis. Sie ernähren sich von Zellen und Blut und wachsen zum reifen Parasiten heran. Zur Vermehrung suchen sie Algen und Wasserpflanzen auf, wo sie sich zur Zyste ausbilden. Durch Teilung entstehen aus jeder Zyste 256-1024 Tochterparasiten, die Schwärmer der neuen Generation. Finden diese innert drei Tagen keinen Fisch, sterben sie ab. Die Schwärmer sind auf Temperaturen von 2-28 °C angewiesen, das pH-Fenster liegt zwischen 6-10. Bei Sauerstoffwerten unter 0.6 mg O₂ · l⁻¹ stirbt der Parasit.

Die Krankheit wird durch hohen Fischbesatz begünstigt. Neben sehr hohen Verlusten kann ein starker Befall bei zweisömmrigen Karpfen zu einem 50 % verminderten Wachstum führen. Die Fische reagieren auf den Befall durch Schwärmer mit Scheuern an Gegenständen, Schütteln und Zucken mit den Flossen. Starker Befall kann Hautablösungen verursachen. Überstehen die Fische die Krankheit, erlangen sie eine begrenzte Immunität, ein zweiter Befall wird besser ertragen.

Zur Prophylaxe genügt es, neue Pflanzen, Steine oder Schnecken drei Tage ohne Fische zu hältern. Chemisch können die Schwärmer mit Malachitgrün (0.2 mg · l⁻¹ während 4 d oder 0.1 mg · l⁻¹ während 10 d) abgetötet werden. Laut Untergasser (1989) kann man die Erreger auch mit der Umsetzmethode bekämpfen: Die Fische werden alle 12 h in ein frisches Becken umgesetzt, bis keine Parasiten mehr zu sehen sind. Derselbe Autor empfiehlt auch eine Wärmebehandlung, das Aquarium wird zehn Tage lang auf 30 °C geheizt. Diese Methode wurde vom Verfasser schon angewandt und ist die schonendste, falls

die Fische hohe Temperaturen ertragen. Aquarianer wechseln als Sofortmassnahme einen Teil des Wassers, was in günstigen Fällen schon genügen kann.

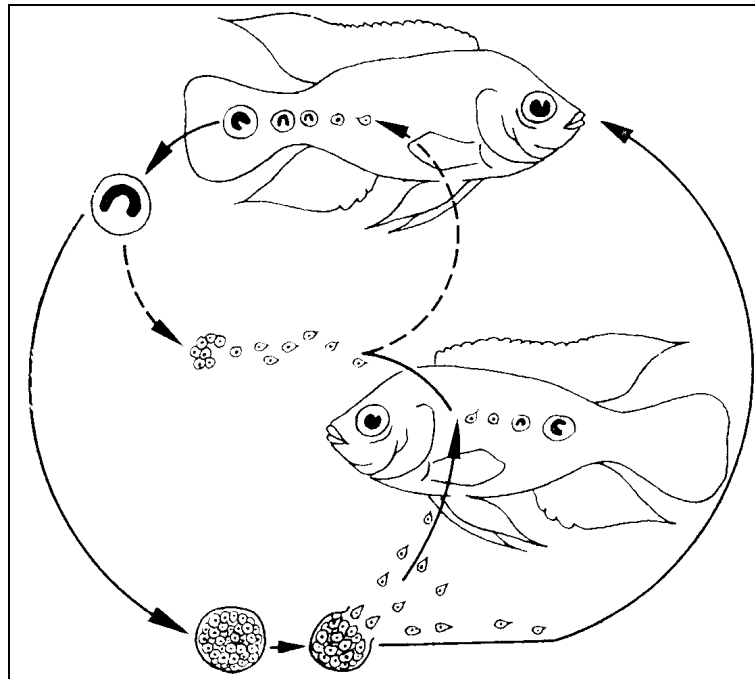


Abbildung 32: Lebenszyklus von *Ichthyophthirius multifiliis*
aus: Schäperclaus (1979)

Ichthyo trat nur einmal im Karpfen-Aquarium bei Tilapien auf. Am 19. Juni, sieben Tage nach dem Einsetzen, waren alle 15 Tilapien mit weissen Punkten übersät. Als Massnahme wurde die Hälfte des Aquarienwassers durch Frischwasser ersetzt, und drei Tage später waren alle Punkte verschwunden. Das vorübergehende Auftreten war wohl eine Folge der Umstellung an die neuen (kühleren) Wasserverhältnisse.

5.3.4 Pilzkrankheit (*Saprolegnia*)

Die Saprolegniose ist eine durch verschiedene niedere Pilze aus der Klasse der *Oomycetes* (*Saprolegniales*, *Leptomitales*, *Peronosporales*) verursachte sekundäre Hauterkrankung bei Fischen. Meistens gehören die Erreger den Gattungen *Saprolegnia* und *Achyla* an. Die Pilze sind gewöhnlich Saprophyten, die nur geschädigte Fische befallen, eine geringe Virulenz besitzen und deshalb auch als «Schwächeparasiten» bezeichnet werden.

An den infizierten Stellen erscheinen weissliche, watteartig aussehende Pilzrasen. Befallen werden alle Süßwasserfischarten und Eier, selbst im Brackwasser bis zu 28 ‰ Salzgehalt. Besonders anfällig sind die Fische bei tiefen Temperaturen. Bei Abfischungen in der kalten Jahreszeit muss deshalb besonders darauf geachtet werden, die Fische nicht zu verletzen. In der Forellenzucht werden die Elterntiere im Winter gestreift, häufig werden die Hälterungsbecken vorbeugend mit Malachitgrün in schwacher Dosis behandelt. Zur Bekämpfung wird Formalin ($200 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-3}$ während 30 min), Methylenblau ($10\text{-}20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 15 min) und Malachitgrün ($1\text{-}3.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ während 1 h) eingesetzt.

In der Aquakultur verpilzten die Tilapien besonders stark. Beim Einsetzen der Fische betrug die Wassertemperatur in den Fischbecken $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, in der folgenden Woche sank sie aufgrund der acht Tage andauernden Kälte auf $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ab. Offensichtlich war damit die Letalgrenze für die wärmebedürftigen Exoten unterschritten. Innert sieben Tagen wurden tote 43 Tilapien abgefischt: Von 30 eingesetzten in

F1c trieben 25 verpilzt an der Wasseroberfläche, in F3 von 65 eingesetzten 25. Die restlichen sind wahrscheinlich abgesunken und verweset. Bei tiefen Temperaturen läuft die Gasentwicklung im Verdauungstrakt langsamer, weshalb tote Fische in kaltem Wasser eher absinken als in warmem. Zehn Tilapien und ein Karpfen in F3 wurden verpilzt gefangen und während 15 min in ein 2 % Kochsalzbad gesetzt. Tags darauf waren alle Tilapien tot und der Karpfen musste notgeschlachtet werden: Die Behandlung erfolgte offensichtlich zu spät. In F4b war dieselbe Methode bei einem verpilzten Karpfen (Nr. 5) erfolgreich. Im gleichen Zeitraum zeigten die Tilapien in den Aquarien keinerlei Anzeichen von Pilzbefall.

5.3.5 Kiemenwurm (*Dactylogyrus sp.*)

Am 2. Juli fielen in F2b zwei Silberkarpfen auf, die nur noch mit einem Kiemendeckel atmeten, den anderen aber zuklemmten. Da der Verdacht auf Kiemenwürmer bestand, wurden die beiden Fische getötet und die Kiemen unter dem Binokular untersucht. In 45 facher Vergrößerung waren einzelne Kiemenwürmer zu erkennen. Unter dem Mikroskop wurden die Parasiten als *Dactylogyrus sp.* identifiziert. Im Gegensatz zu den Gyrodactyliden mit einem zweizipfligen Vorderende besitzen die Dactylogyriden ein vierzipfliges mit einem Saugnapf und vier oder mehr schwarze Augenflecken (Untergasser 1989).

Zwischen dem 21. Juni und dem 13. Juli verendeten in F2abc 13 Silberkarpfen. Die Fische wurden am 19. Juni importiert und eingesetzt, könnten also natürliche Importverluste sein. Die toten Silberkarpfen waren aber auffällig abgemagert. Es ist möglich, dass sie wegen einer Infektion mit Kiemenwürmern nicht mehr filtern konnten und deswegen verhungerten.

5.3.6 Schwarzfleckenkrankheit

Bei der ersten Abfischung am 10. Juli fielen einige Karpfen auf. Ihre Flossenränder waren gesäumt mit kugelförmigen schwarzen Knötchen von 1 mm Durchmesser. Laut telefonischer Auskunft von Dr. Willy Meier (Bundesamt für Veterinärwesen, Bern) handelte es sich dabei sehr wahrscheinlich um Trematoden, deren Endwirt der Fischreiher ist. Nach Schäperclaus (1979) und Untergasser (1989) wurden sie als digene Saugwürmer aus der Familie *Heterophyidae* (Gattung *Apophallus*) identifiziert.

Der Lebenszyklus läuft folgendermassen ab: Aus dem Ei schlüpft eine Redie, die als ersten Zwischenwirt eine Wasserschnecke befällt. Als Cercarie verlässt sie diesen und sucht als zweiten Zwischenwirt einen Fisch, unter dessen Haut sie sich verkapselt. Endwirte sind bestimmte Vögel (Möwen) und Säugetiere (Hund, Katze). Es ist möglich, dass *Apophallus* auch ein Darmparasit des Menschen ist. Die Bekämpfungsmassnahmen beschränken sich auf eine Vernichtung der Wasserschnecken.

Nach vier Wochen waren die meisten Knötchen verschwunden, zwei Monate darauf waren alle Fische vollständig genesen.

5.4 Beobachtungen und Bemerkungen

Zu Beginn der Arbeit wurde versucht, die Daphnien mit Lufthebern zu fangen. Von einem Becken wurde das Wasser ins angrenzende gepumpt und konnte durch eine zweite Röhre wieder zurückfliessen. Die Daphnien sollten mit dem Wasserstrom in ein Sammelbecken geschwemmt und an dessen Seitenwand durch ein 1.0 mm Netz zurückbehalten werden. In der Praxis erwies sich diese Idee aus mehreren Gründen als schlecht realisierbar. In zwei der drei vorbereiteten Becken bildeten sich nie nennenswerte Daphniendichten aus. Wollte man die Zooplankter rasch aufkonzentrieren, entstand zwischen den Becken eine über 10 cm hohe Niveaudifferenz, weil der passive Rückfluss langsamer war als das aktive Pumpen.

Beim nachfolgenden Absinken auf das Gleichgewichtsniveau blieben Wasserlinsen an den Beckenrändern haften und trocketen aus, wenn man sie nicht abspülte.

In der Polykultur F4b war zu Beginn beabsichtigt einen «Daphnienfilters» zu installieren und dessen Wirkung mit der Filterleistung der Tilapien und Silberkarpfen zu vergleichen. Das Prinzip des «Daphnienfilters» wurde in Anlehnung an Smith (1994) selbst konzipiert. Da auch filternde Fische Zooplankton fressen, kann ein Besatz mit Silberkarpfen das Algenwachstum sogar noch fördern, weil die Zooplanktondichte abnimmt. Smith beschrieb einen «Fischkäfig»: Die Fische werden von einem Teil des Teiches abgetrennt, so dass dort ständig Zooplankton nachwachsen kann. Durch diese Kombination von filternden Fischen und höherer Zooplanktondichte wurde die Phytoplanktonmasse um über 95 % reduziert. Die Umkehrung dieses Prinzips ist der «Daphnienkäfig»: Die Daphnien werden in einer Kiste vor den Fischen geschützt. Das Wasser wird durch Gitter in die Kiste geleitet und von den Daphnien geklärt. Junge Daphnien können den Käfig verlassen, weshalb ein langsames Aussterben der Population möglich ist. Adulte Daphnien müssen eventuell ersetzt werden.

Die Backsteinmauern waren keine Hindernisse für die Fische. Zur Ausrottung der Daphnien in N1a wurde ein grosser Karpfen aus F3 eingesetzt. Am nächsten Tag war er bereits in N1b anzutreffen. Einige Silberkarpfen in F2 sprangen gar über den Laufsteg und verschwanden in P1b. Der zweisömmrige Silberkarpfen wechselte seinen Aufenthaltsort nach Belieben: Bei der Abfischung sprang er aus F3 einen Meter hoch in die Luft und landete in F4a. Als er sich dort auch von Netzen verfolgt sah, sprang er zurück.

Am 21. Juli wurden ins Karpfen- und Tilapien-Aquarium je 10 *Lymnaea stagnalis* eingesetzt. Am 6. August wurden im Tilapien-Aquarium 7 leere Häuschen entfernt, bei der letzten Abfischung wurden je zwei Posthornschncken und *Lymnaea* gesehen. Im Karpfen Aquarium und in den Fischbecken wurde keine einzige Molluske entdeckt. Da mit den Wasserlinsen immer wieder Schnecken eingetragen wurden, liegt der Schluss nahe, dass sich die Fische auch an ihnen erfreuten.

Bei den Silberkarpfen konnte beobachtet werden, wie die Fische das Wasser filtern. Die normale Atemfrequenz, gemessen an den Bewegungen der Kiemendeckel, betrug um 40 min^{-1} . Nach Zugabe von 5 Litern Algenwasser ins Aquarium (Inhalt 270 l) begannen alle 9 Silberkarpfen zu filtern. Die Fische steigerten dazu ihre Atemfrequenz auf 164 min^{-1} bei 140 mm langen und 212 min^{-1} bei 90 mm langen Silberkarpfen. Etwa alle 200 Kiemenbewegungen schlossen die Fische für eine halbe Sekunde das Maul, wahrscheinlich um das Filtrat zu schlucken. Die Fische wichen dem Daphnienschwarm aus.

Offen bleibt die Frage, ob es Unterschiede in der Futterqualität aus verschiedenen Becken gibt. Am 20. Juli lieferten die Fische einen Hinweis darauf, dass sie eine bestimmte Qualität von Wasserlinsen vorziehen. Kaum waren frische Wasserlinsen aus P2b zugefüttert, stürzten sich die Fische darauf, das Schmatzen war nicht zu überhören. Es ist durchaus möglich, dass Wasserlinsen in den ersten Becken noch Geschmacksstoffe aufnehmen, die sie von denen aus der Nachreinigung unterscheidet.

Fische geben chemische Botenstoffe an ihr Umgebungswasser ab. Diese «Kairomone» bewirken bei Daphnien eine Verschiebung der Körperlängen hin zu kleineren Formen, damit sie dem Frassdruck besser entgegen können. Eine kleinere Wuchsform wäre in der Aquakultur aus drei Gründen nachteilig: unter Annahme von gleichen Reproduktionsraten (Nachkommen $\cdot \text{Daphnie}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) würde die nachwachsende Biomasse verringert, die Daphnien liessen sich schlechter ernten (kleinere Maschenweite hält mehr Detritus zurück) und die Fische sehen ihr Futter schlechter. Loose et al. (1993) beschrieb die Eigenschaften der Kairomone: die Aktivkomponente ($\text{MG} < 500 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ist kein Protein, stabil über einen extremen Temperatur- und pH-Bereich und verliert seine Funktion unter nicht sterilen Bedingungen bei $37 \text{ }^\circ\text{C}$ innert 24 h, was auf raschen mikrobiellen Abbau schliessen lässt. Durch den internen Rücklauf in der Aquakultur Otelfingen wurde das Wasser aus den Fischbecken also «entschärft», die Daphnien in D1 und D2 waren von dem Phänomen sicher nicht betroffen. Die Becken P2 und N1d wurden aber mit Ausfluss von Fischbecken gespiesen. Auf den Daphnien ertrag konnte kein Einfluss festgestellt werden, die Körperlängen wurden nicht gemessen.

Die Fische werden in der Anlage weiter verwendet. Einige Karpfen und Schleien wurden in den Teich gesetzt.

6. FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

6.1 Theoretisches Produktionspotential in der Aquakultur

Im Zeitraum vom 25. Juni bis 1. Oktober wurden in der Aquakultur total 173 kg Wasserlinsen geerntet. Diese Zahl setzt sich zusammen aus den Anteilen des Fischfutters (115 kg), in den Teich gesetzten (12 kg) und in der Kompogas®-Anlage verwerteten (46 kg) Wasserlinsen. Tilapien haben im Versuch einen FQ 43 für frische Wasserlinsen erreicht. Mit der gesamten Ernte an Wasserlinsen hätten also rund 4 kg Tilapien produziert werden können. Karpfen, Schleien und Tilapien erreichten einen Futterquotient von 2.2. Mit diesem Wert kann das künftige Produktionspotential berechnet werden, wenn die verfügbare Futtermenge bekannt ist.

6.2 Empfehlungen für die Fischkultur

Im Laufe der Zeit verloren einige Fische ihre Markierungen. Bei den Abfischungen konnte jeweils nur ein unbestimmter Anteil der Fische gefangen werden. Zusätzlich wechselten einzelne Fische ihr Becken. Gestorbene, nicht markierte Fische konnten keinem Anfangsgewicht zugeordnet werden. Die Auswertung der Daten gestaltete sich daher äusserst mühsam. Es wird empfohlen, bei weiteren Versuchen

1. unbedingt alle Fische zu markieren
2. einen zusätzlichen Farbpunkt einzusetzen oder andere Markierungsmethoden zu wählen.

Es sollten nur soviele Fische eingesetzt werden, wie die Tragekapazität der Aquakultur erlaubt. Es wäre besser gewesen, nur einen Drittel der Fische einzusetzen. Diese hätten bei dreimal höherem Futterlevel wahrscheinlich den selben Totalzuwachs erbracht.

Falls die Wassertemperatur ganzjährig hoch gehalten werden kann (mindestens 21 °C), ist die Tilapie klar der geeignetste Fisch. Es wird empfohlen, die Fischstufe in einer möglichst warmen Umgebungstemperatur anzuordnen. Eine höhere Wassertemperatur beschleunigt nicht nur das Wachstum. Wie die Schleien in F1a gezeigt haben, werden Wasserlinsen erst ab einer gewissen Temperatur gefressen.

Tilapien wachsen in den Sommermonaten unter den gegebenen Bedingungen in der Aussenhaltung. Allerdings sollte das Risiko von Totalverlusten durch Schlechtwetterphasen nicht eingegangen werden.

6.3 Forschungsbedarf

Fische benötigen einen Grundbedarf an Energie zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensfunktionen. Ist dieser gedeckt, bleibt das Körpergewicht der Fische mit der Zeit konstant. Ein Wachstum ist erst möglich, wenn die aufgenommene Energie den Grundbedarf übersteigt. Es wäre sehr interessant zu erfahren, bei welchem Futterlevel dieser Grundbedarf jeder Art liegt. Unter Umständen lag der Futterlevel von 0.3-0.4 % KG⁻¹ d⁻¹ Trockenfutter nur knapp über dem Grundbedarf. Bei einer Verdopplung des Futterlevels ist daher eine grössere Vervielfachung der Wachstumsrate zu erwarten.

Noch viele Kombinationen von Polykulturen sind möglich. Eine plausible wäre eine Polykultur mit allen vier Arten (wie F3), die nur mit Algen gefüttert wird. Der Silberkarpfen frisst Algen, die anderen Arten verwerten seinen Kot.

Die Umkehrung dieses Prinzips ist eher die klassische Polykultur: Der Graskarpfen als «Algenproduzent» für Silberkarpfen könnte in der Fischstufe eine Schlüsselposition einnehmen. Wasserhyazinthen könnten via den Graskarpfen in Fische umgesetzt werden.

Bei der Belüftung stellt sich die Frage, ob nur der Sauerstoffeintrag erwünscht ist oder ob die Umwälzung beabsichtigt ist. Diese hat wahrscheinlich Vorteile für den Silberkarpfen (mehr suspendiertes Material), eventuell aber Nachteile für die bodenwühlenden Arten Karpfen und Schleie.

Aus Mangel an Zeit musste die Diskussion der Versuche sehr kurz gefasst werden. Essentielle Rahmenbedingungen wie gemessene Wasserwerte fehlen in der Darstellung. Auf statistische Signifikanztests musste gänzlich verzichtet werden, als Anhaltspunkte dienten die Standardabweichungen der Messdaten. Mit den erhobenen Daten könnten viele weitere Aussagen gemacht werden, auf die nicht eingegangen werden konnte. Insbesondere waren vorgesehen:

- Nährstoffbilanz der Fische (Proteinverwertung, Elimination von Phosphor und Stickstoff)
- Korrelation der Futterquotienten und der Wachstumsraten mit der Wassertemperatur in jeder Versuchsperiode
- Darstellung der täglich gefressenen Futtermengen von Wasserlinsen als Artcharakteristikum
- Vergleich der Algenarten im Umgebungswasser und im Kot der Silberkarpfen
- Charakteristiken der Populationsentwicklung von *Daphnia magna*

Offen bleibt die Frage nach der Geniessbarkeit der produzierten Fische. Es wird empfohlen, die Fische vor dem Verzehr auf Schwermetalle zu analysieren.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- (1991). Chemical Safety Sheets. Working safely with hazardous chemicals. Dordrecht NL, Kluwer Academic Publ.
- Alhadhrami, G. A. und O. M. Yousif (1994). An initial evaluation of camel and cow manures as dietary ingredients in pelleted feed for blue tilapia (*Oreochromis aureus*). *Bioresource Technology* 50(3): 265-268.
- Bachofner, R. (1975). Silberkarpfen-Zukunftsische? Ein Einsatzversuch am Grossen Moossee. Schweiz. Z. Fischerei 83(5): 13-15.
- Balarin, J. D. (1979). Tilapia: A guide to their biology and culture in Africa. Scotland, University of Stirling.
- Balasubramanian, P. R. and R. K. Bai (1994). BIOGAS-plant effluent as an organic fertiliser in fish polyculture. *Bioresource Technology* 50(3): 189-192.
- Barthelmes, D. und H. Jähnichen (1978). Zur Nahrungswahl und Rationsgrösse 3- bis 4 sömmeriger Silberkarpfen. Z. Binnenfischerei DDR 25: 331-334.
- Berberovic, R. (1990). Biomass composition of two sympatric Daphnia species: impact of environmental factors and life history strategies. Faculty of Biology. Konstanz, Univ. of Konstanz: 174.
- Beveridge, M. C. M., D. J. Baird, et al. (1993). Grazing rates on toxic and non-toxic strains of cyanobacteria by *Hypophthalmichthys molitrix* and *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fish Biology* 43(6): 901-907.
- Bitterlich, G. und E. Gnaiger (1984). Phytoplanktivorous or omnivorous fish? Digestibility of zooplankton by silvercarp. *Aquaculture* 40: 261-263.
- Bürgi, H. R. (1994). Vorlesungsskript Aquatische Ökologie, Teil See. Zürich, Int. Grundpraktikum ETH XB.
- Bürgi, H. R. (1996). Vorlesungsskript Ökologie aquatischer Lebensräume, Stehende Gewässer. Zürich, Fachstudium Umweltnaturwissenschaften ETH XB.
- Cremer, M. und R. Smitherman (1980). Food habits and growth of silver and bighead carp in cages and ponds. *Aquaculture* 20: 57-64.
- Costa-Pierce, B. (1992). Review of the spawning requirements and feeding ecology of silver carp and reevaluation of its use in fisheries and aquaculture. *Rev. Aq. Sciences* 6(3): 257-273.
- Dong, S. und D. Li (1994). Comparative studies on the feeding selectivity of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*. *Journal of Fish Biology* 44(4): 621-626.
- Gaigher, I. G., D. Porath, et al. (1984). Evaluation of duckweed (*Lemna gibba*) as feed for tilapia (*Oreochromis niloticus* times *Oreochromis aureus*) in a recirculating unit. *Aquaculture* 41(3): 235-244.
- Gohr, L. und T. Block (1998). Das Töten von Fischen. *Aquaristik aktuell*. 6. Jg., 9-10: 54-55.
- Gopal, V., S. Prabakaran, et al. (1996). Effect of a biogas-plant effluent-based pelleted diet on the growth of *Oreochromis mossambicus* fingerlings. *Bioresource Technology* 58(3): 315-317.
- Haas, E. (1997). Der Karpfenteich und seine Fische. Graz, Leopold Stocker Verlag.
- Hillmann, W., D. Dudley, et al. (1978). The uses of Duckweed. *American Scientist* 66(Jul-Aug): 442-451.
- Hofmann, O. (1998). Algen-Reinkulturen in Wädenswil. Wädenswil, interner Zwischenbericht HSW, unpubl.
- Horvath, L. and G. Tamas (1984). *Special Methods in Pond Fish Husbandry*. Seattle, Halver Corp.

- Keke, I. R., C. P. Ofojekwu, et al. (1994). The effects of partial substitution of groundnut cake by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on growth and food utilization in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus niloticus* (L.). *Acta Hydrobiologica* 36(2): 235-244.
- Landolt, E. (1995). Duckweeds: Morphological and ecological characteristics and their potential for recycling of nutrients. 2nd Int. Conf. on Ecological Engineering for Wastewater Treatment, Wädenswil, Switzerland, Transtec Publications.
- Loose, C. J., E. Von Elert, et al. (1993). Chemically-induced diel vertical migration in *Daphnia* - a new bioassay for kairomones exuded by fish. *Arch. Hydrobiol.* 126: 329-337.
- Lin, H.-R. (1982). Polycultural System of Freshwater fish in China. *Can. Journ. Fish. & aq. Sc.* 39(1): 143-150.
- Mahboob, S., A. N. Sheri, et al. (1996). Proximate composition of major, common and some Chinese carps as influenced by pond fertilization and feed supplementation in composite culture system. *Journal of Aquaculture in the Tropics* 11(4): 277-284.
- Müller, R. (1995). Besatzversuche mit ostasiatischen pflanzenfressenden Fischarten in der Schweiz. Bern, BUWAL.
- Northcott, M. E., C. M. Beveridge, et al. (1991). A laboratory investigation of the filtration and ingestion rates of the tilapia, *Oreochromis niloticus*, feeding on two species of blue-green algae. *Env. Biol. Fishes* 31: 75-85.
- Nose, T. (1978). Summary report on the requirements of essential amino acids for carp. *Proc. World Symp. on finfish nutrition an fish. techn., Hamburg.*
- Ofojekwu, P. C. and C. Ejike (1984). Growth response and feed utilisation in the tropical cichlid *Oreochromis niloticus* fed on cottonseed-based artificial diets. *Aquaculture* 42: 27-36.
- Ofojekwu, P. C., R. I. Keke, et al. (1994). Evaluation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and groundnut cake as dietary components in feeds for *Oreochromis niloticus niloticus* (L.). *Acta Hydrobiologica* 36(2): 227-233.
- Ogino, C. (1980). Protein nutrition in fish. Protein requirements of carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish* 46: 385-388.
- Omar, E. A. (1984). Effect of type of feed, level and frequency of feeding on growth performance and feed utilization by mirror carp. *Fac. of Agriculture. Göttingen, Universität Göttingen:* 135.
- Peter, A. (1992). Methoden der Fischmarkierung. *Schweiz. Fischereiwissenschaft* 9(2): 3-4.
- Puckhaber, B. (1992). Untersuchungen zur Produktivitätssteigerung bei afrikanischen Buntbarschen. *Inst. Tierzucht u. Haustiergenetik. Göttingen, Georg-August-Universität:* 144.
- Quartier, A. (1980). *Die Fische unserer Flüsse und Seen.* Lausanne, Mondo-Verlag.
- Razig Elhigzi, F. A., S. A. Haider, et al. (1995). Interactions between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and cladocerans in ponds (Khartoum, Sudan). *Hydrobiologia* 307(1-3): 263-272.
- Schäperclaus, W., H. Kulow, et al. (1979). *Fischkrankheiten.* Berlin, Akademie-Verlag.
- Scheurer, K. (1996). Fütterungsversuche mit den einheimischen Cypriniden Rottfeder und Schleie mit Primärprodukten aus einer abwasserreinigenden Aquakulturanlage. *Zürich, Zool. Museum der Universität Zürich.*
- Schmid, J. (1992). Brachsen in Hülle und Fülle. *Fischer & Teichwirt.* 1: 22.
- Schwoerbel, J. (1986). *Methoden der Hydrobiologie, Süßwasserbiologie.* Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- Sevrin Reyssac, J. (1995). Using the trophic web to recycle pig waste: Management techniques. *Cahiers Agricultures* 4(2): 101-108.
- Sevrin-Reyssac, J., J. La Noüe, et al. (1995). *Le recyclage du lisier de porc par lagunage.* Paris, Lavoisier.
- Siddiqui, A. Q., M. S. Howlader, et al. (1989). Culture of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), at three stocking densities in outdoor concrete tanks using drainage water. *Aquaculture and Fisheries Management* 20(1): 49-58.

- Smith, D. W. (1989). The feeding selectivity of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* Val. Journal Of Fish Biology 34(6): 819-828.
- Smith, D. W. (1994). Comment: Algal control by Silver Carp. Progressive Fish Culturist 56(1): 65-70.
- Sobolev, Y. (1970). Food interrelationship of young grass carp, silver carp and reared jointly in ponds in Belorussia. J. Ichthyol. 10: 528-533.
- Spataru, P., G. W. Wohlfarth, et al. (1983). Studies on the natural food of different fish species in intensively manured polyculture ponds. Aquaculture 35: 283-298.
- Steffens, W. (1985). Grundlagen der Fischernahrung. Jena, Fischer Verlag.
- Steffens, W. (1995). The tench, a neglected pond fish species. Polskie Archiwum Hydrobiologii 42(1-2): 161-180.
- Stott, B. und L. D. Orr (1970). Estimating the amount of aquatic weed consumed by the grass carp. Progressive Fish Culturist 32(1): 51-74.
- Sukup, I. und Z. Adamek (1995). Food biology of one-, two- and three-year-old tench in polycultures with carp and herbivorous fish. Polskie Archiwum Hydrobiologii 42(1-2): 9-18.
- Tacon, A. und S. De Silva (1997). Feed preparation and feed management strategies within semi-intensive fish farming systems in the tropics. Aquaculture 151: 379-404.
- Ten Berge, W. F. (1978). Breeding *Daphnia magna*. Hydrobiologia 59(2): 121-123.
- Untergasser, D. (1989). Krankheiten der Aquarienfische: Diagnose und Behandlung. Frankfurt, Franckh-Kosmos Verlag.
- Todt, D. (1998). Produktion von tropischen Pflanzen zur Nährstoffelimination von Prozesswasser. Wädenswil, Diplomarbeit, Hochschule Wädenswil.
- Tung, P.-H. and S.-Y. Shiau (1991). Effects of meal frequency on growth performance of hybrid Tilapia, *O. niloticus x aureus*. Aquaculture 92: S. 342.
- Untergasser, D. (1989). Krankheiten der Aquarienfische: Diagnose und Behandlung. Frankfurt, Franckh-Kosmos Verlag.
- Van Den Berg, C., J. G. M. Van Den Boogaart, et al. (1994). Zooplankton feeding in common bream (*Abramis brama*), white bream (*Blicca bjoerkna*) and roach (*Rutilus rutilus*): Experiments, models and energy intake. Netherlands Journal of Zoology 44(1-2): 15-42.
- Vörös, L., I. Oldal, et al. (1997). Size-selective filtration and taxon-specific digestion of plankton algae by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.). Hydrobiologia 342-343: 223-228.
- Zaher, M., N. N. Begum, et al. (1995). Suitability of Duck Weed, *Lemna minor* as an ingredient in the feed of Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Bangladesh Journal of Zoology 23(1): 7-12.
- Zohar, G., U. Rappaport, et al. (1984). Results of the experiments carried out in the Genosar (Israel) experimental station in 1983: Cultivation of tilapia in high densities and with periodic flushing of the pond water. Bamidgeh 36(3): 63-69.

Weiterführende Literatur

- Barthelmes, D. (1977). Zur Phosphatregeneration durch Silberkarpfen. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 5(1): 67-73.
- Fine, M., D. Zilberg, et al. (1996). The effect of dietary protein level, water temperature and growth hormone administration of growth and metabolism in the common carp (*Cyprinus carpio*). *Comparative Biochemistry and Physiology A* 114(1): 35-42.
- Gaigher, I. G. (1982). The growth and production of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fed on algae in small tanks. *Water S A* 8(3): 142-144.
- Gaigher, I. G. and J. B. Krause (1983). Growth rates of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) without artificial feeding in floating cages in plankton-rich waste water. *Aquaculture* 31(2-4): 361-368.
- Gaigher, I. G., D. F. Toerien, et al. (1985). Preliminary studies on the treatment of sorghum beer brewery effluent in an integrated bacterial/algal/fish/macrophyte culture system. *Agric. Wastes* 12(3): 207-24.
- Hamada, A., W. Maeda, et al. (1983). Conversion efficiency of phytoplankton in the growth of silver carp. *Jap. J. Limnol.* 44: 321-328.
- Jha, D. K., A. K. Singh, et al. (1994). Effects of biogas slurry, piggery waste and chemical fertilizers on fish production. *Neupane, F.P.* 1996: 9-14.
- Kaur, K., G. K. Sehgal, et al. (1987). Efficacy of biogas slurry in carp, *Cyprinus carpio* var. *communis* (Linn.), culture: Effects on survival and growth. *Biological Wastes* 22(2): 139-146.
- Laws, E. A. and R. S. J. Weisburd (1990). Use of silver carp to control algal biomass in aquaculture ponds. *Progressive Fish Culturist* 52(1): 1-8.
- Laws, E. A. and R. S. J. Weisburd (1994). Algal control by Silver Carp: Response to comment. *Progressive Fish Culturist* 56(1): 70-76.
- Lieberman, D. M. (1996). Use of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) for algae control in a small pond: Changes in water quality. *Journal of Freshwater Ecology* 11(4): 391-397.
- Mahadevaswamy, M. and L. V. Venkataraman (1988). Integrated utilization of rabbit droppings for biogas and fish production. *Biological Wastes*(1988).
- Mazid, M. A., M. Zaher, et al. (1997). Formulation of cost-effective feeds from locally available ingredients for carp polyculture system for increased production. *Aquaculture* 151(1-4): 71-78.
- Milstein, A., A. Alkon, et al. (1995). Combined effects of fertilization rate, manuring and feed pellet application on fish performance and water quality in polyculture ponds. *Aquaculture Research* 26(1): 55-65.
- Rajan, M. R. and S. P. Rah (1997). Instantaneous growth rate of sewage grown fishes. *Journal of Environmental Biology* 18(2): 127-130.
- Saini, V. P. and O. P. Sharma (1992). Preliminary study on culturing zooplankton with the application of biogas slurry. *Uttar Pradesh Journal of Zoology* 12(2): 81-86.
- Steffens, W. (1996). *Der Karpfen*. Heidelberg, Spektrum.
- Szumiec, M. A. (1997). Potential growth and yield of one- and two-year-old carp, *Cyprinus carpio* L., in climatic conditions of la Dombes (France). *Aquaculture Research* 28(4): 237-245.
- Watson, N. R. (1985). Processed piggery waste as a feed material for *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 44(3): 167-176.

ANHANG

Anhang 1: Monokultur von Schleien (F1a)

Anhang 2: Monokultur von Karpfen (F1b)

Anhang 3: Monokultur von Silberkarpfen (F2a)

Anhang 4: Monokultur von Silberkarpfen (F2b)

Anhang 5: Monokultur von Silberkarpfen (F2c)

Anhang 6: Polykultur von Karpfen, Schleien, Silberkarpfen und Tilapien (F3)

Anhang 7: Polykultur von Karpfen, Schleien und Tilapien (F4a)

Anhang 8: Polykultur von Karpfen, Schleien und Silberkarpfen (F4b)

Anhang 9: Polykultur von Karpfen und Schleien (F4c)

Anhang 10: Karpfen-Aquarium (K-Aq) und Tilapien-Aquarium (T-Aq)

Anhang 11: Silberkarpfen-Aquarium (SK-Aq), N1abc, Tilapien F1c und F4a, Diverse

Anhang 12: Fischwachstum nach Art und Becken

Anhang 13: Berechnung der Futterquotienten

Anhang 14: Produzierte Fischbiomasse und Fischbilanz

Anhang 15: Verluste von Fischen

Anhang 16: Zustand der eingesetzten Fische (Längen-Gewichts-Korrelation)

Anhang 17: Futtertabellen

Anhang 18: Entwicklung der Daphnien

Anhang 19: Zeitlicher Ablauf der Diplomarbeit

Anhang 20: Haltebewilligung

Anhang 21: Importbewilligung

Anhang 22: Versuchsbewilligung

Anhang 23: Liste häufiger Fischnamen

Zeitlicher Ablauf der Diplomarbeit, 1998

Datum	Ereignis
14. April	Offizieller Beginn Sieben Wochen Installationsarbeiten auf der Aquakultur Otelfingen
26. Mai	Fischbecken erstmals gefüllt
9. Juni	Markieren und Einsetzen der Karpfen und Schleien Import 317 kleine Silberkarpfen gescheitert
10. Juni	Markieren und Einsetzen der grösseren Silberkarpfen in F2, F4b
12. Juni	Import 130 Tilapien von der Universität Göttingen
19. Juni	Import 100 kleine Silberkarpfen, Einsetzen in F2, F3
24. Juni	Tilapien in F1c ausgestorben
28. Juni	Aus F3 je 5 Karpfen, Schleien und Tilapien in N1 gesetzt
6. Juli	Einsetzen 10 Koi in F1b, F3, F4
10. Juli	1. Abfischung F1b, F2-4
13. Juli	«Krebsversuch» mit 24 Fischen aus F3
14. Juli	1. Abfischung der Schleien in F1a
5. August	Temperaturlogger in F4c ersetzt
6. August	2. Abfischung der Aquarien
7. August	2. Abfischung F1-4
3. September	3. Abfischung der Aquarien
8. September	3. Abfischung F1-4 10 Tilapien aus F4a nach R gesetzt wegen Kälte
1. Oktober	4. Abfischung der Aquarien Abpumpen R, N2bc, 300 junge <i>Oreochromis mossambicus</i> gefangen
2. Oktober	4. und letzte Abfischung F1-4, Fischbecken trockengelegt
5. Oktober	Temperaturlogger entfernt
13. Oktober	Abgabe der Diplomarbeit