



BUSSE

Projekt AZ 18579
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Antragstitel:

**Entwicklung und Erprobung einer Versuchsanlage in zwei Phasen zur
Biomembranfiltration in Kreislaufanlagen für die Fischzucht**

Projektlaufzeit 01.04.2002 – 31.12.2006

Abschlussbericht

bestehend aus den Abschnitten:

- Teil A:** **Bericht zur Projektphase 1**
Teil B: **Bericht zur Vorbereitung der Projektphase 2**
Teil C: **Bericht zur Projektphase 2**

Bewilligungsempfänger: **Busse GmbH, D-04316 Leipzig**

Kooperationspartner:

- Teichwirtschaften Wernsdorf/Torgau, 04779 Wernsdorf
- Universität Leipzig, Institut für Bakteriologie und Mykologie, D-04103 Leipzig
- Institut für Binnenfischerei, D-14476 Groß Glienicke
- Haus der Umwelt e.V., D-04318 Leipzig

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Carsten Belz, BUSSE GmbH



Teil A: Bericht Projektphase 1:

Entwurf, Bau und Betrieb einer Pilotanlage

Berichtszeitraum 01.04.2002 – 31.12.2003

„Entwurf, Bau und Betrieb einer Pilotanlage mit einer Behandlungskapazität von ca. 5 m³/h in Torgau/Neiden (Sachsen)“

1	Motivation	3
2	Zielsetzung des Projektes.....	5
3	Beschreibung des Standortes und der Versuchsanlage	5
3.1	Standort.....	5
3.2	Versuchsanlage.....	6
3.2.1	Beschreibung der Kreislaufanlage.....	6
3.3	Spezifizierung der Hauptausrüstungen.....	9
3.3.1	Fischbecken I, II, III & IV (Reserve)	9
3.3.2	Sedimentationsstufe.....	10
3.3.3	Nitrifikation	11
3.3.4	Membranbioreaktoren	12
4	Material und Methoden	13
4.1	Chemische und physikalische Parameter	13
4.2	Bakteriologische, virologische und immunologische Parameter	14
4.2.1	Bakteriologische Parameter:.....	14
4.2.2	Immunologische Parameter:	15
5	Versuchsdurchführung	16
5.1	Anfahren (ohne Fischbesatz) 19.02.03– 20.05.03	16
5.2	Versuchsbetrieb mit Fischbesatz 21.05.03 – 05.12.03	16
6	Ergebnisse	18
6.1	Reinigungsleistung	18
6.2	Produktivität	23
6.3	Verluste.....	25
6.4	Schnecken.....	25
6.5	Bakteriologische Untersuchungen der Fische	26
6.6	Bakteriologische Untersuchungen des Wassers	30
6.7	Immunologische Untersuchungen von Karpfenplasmen.....	34
7	Zusammenfassung	38
8	Ausblick	40
9	Literatur	41
10	Anhang.....	42
10.1	Stellungnahme des Instituts für Binnenfischerei e.V., Potsdam Sacrow.....	42



1 Motivation

Die Bedeutung von Fischprodukten für die Ernährung der Menschheit wird nicht nur auf Grund der aktuellen Entwicklung in der Fleischproduktion (immer rasantere Verbreitung von Krankheiten / Seuchen wie Vogel-Grippe, BSE, MKS u.a. bei der industriellen Tierhaltung / Fleischproduktion) immer offensichtlicher.

Betrachtet man die Entwicklung des Weltfischereiertrages, so können wir in den letzten 50 Jahren eine Steigerung um über 600% feststellen (von 19,7 Mio. t im Jahr 1948 auf 121 Mio. t im Jahr 1996). Eine Prognose der FAO (Food and Agriculture Organisation) über die Entwicklung der Fischereierträge reicht bis in das Jahr 2030 und ermittelte einen Bedarf an Seafood (schließt Süßwasserfische ein) von 160 Mio. t.

Nach Ansicht vieler Experten ist mit dem Erreichen einer jährlichen Fangmenge von ca. 100 Mio. t Meeresfischen die biologische Abschöpfungsgrenze erreicht. Die überproportionale Entwicklung der Binnenfischerei und insbesondere der Fischproduktion in der Aquakultur, die man in den letzten Jahren beobachten konnte, ist deshalb nur folgerichtig. Der Bereich Aquakultur wird in Zukunft bei der Deckung des Bedarfs an Fischen eine immer größere Rolle spielen.

Doch auch die Entwicklung von Aquakulturanlagen hat beim gegenwärtigen Entwicklungsstand natürliche Grenzen. Beim Planen von Fischfarmen wird auch heute noch überwiegend an Durchflusssysteme gedacht, Wasser von guter Qualität und ausreichender Quantität ist jedoch weltweit nicht verbreitet. Darüber hinaus stellt auch die Belastung der Umwelt durch Abwässer aus der Intensivfischhaltung ein ernst zu nehmendes Problem dar. In schwerwiegenden Fällen wurde sogar die Gewässergüte im Vergleich oberhalb und unterhalb der Anlagen um bis zu einer Stufe schlechter.

Die wesentlichen Defizite bei den derzeit betriebenen Aquakultur- Kreislaufanlagen (nach Stand der Technik) liegen in den Bereichen:

- **Kreislaufwasser / Abwasser:** Die Reinigungsleistung der Abwasserbehandlungsstufe dieser Anlagen ist viel zu gering. Damit ergibt sich zwangsweise eine schlechte Qualität des zur Produktion benötigten Kreislaufwassers. Die Mortalität kann in diesen Anlagen nur durch die ständige Zufuhr von Frischwasser mit nahezu Trinkwasserqualität gering gehalten werden. Es wird somit im gleichen Zuge auch ständig Abwasser produziert.



- **Trinkwasser / Abwasser:** Der tägliche Trinkwasserbedarf (Abwasseranfall) dieser Anlagen ist viel zu hoch. Er liegt bei ca. 10% des Kreislaufvolumens. Das Kreislaufvolumen kann bei großen Produktionsanlagen mehrere tausend m³ betragen.
- **Energieverbrauch:** Der Energieverbrauch dieser Anlagen ist durch die für das Aufheizen des zugeführten Frischwassers benötigte Wärmemenge (von ca. 10°C auf ca. 20°-25°C) viel zu hoch.
- **Krankheitserreger:** Durch die hohe Rückbelastung des zur Produktion benötigten Kreislaufwassers mit Bakterien und Parasiten kommt es in vereinzelt Produktionsbetrieben zum Einsatz von Fischtherapeutika (in Deutschland verboten!), deren Abbauprodukte dann auch noch mit dem Abwasser in die Umwelt gelangen.
- **Schlamm:** Diese Anlagen produzieren erhebliche Mengen von nicht stabilisiertem Überschussschlamm. Dadurch ergeben sich nicht unerhebliche Kosten für die Entsorgung und Geruchsbelästigungen für die Umgebung.

Diese Ausführungen bilden die Motivation, die nachfolgend dargestellten Ziele des Forschungsprojektes zu erreichen.



2 Zielsetzung des Projektes

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer auf dem Prinzip der Biomembran-technologie basierenden Kläranlage für Abwässer aus Fischzuchtbetrieben, speziell in Kreislaufanlagen, welche auch unter ökonomischen Gesichtspunkten bei Neuinvestitionen bzw. als Nachrüstung in vorhandenen Kreislaufanlagen realisierbar ist. Die Erkenntnisse aus dem Betrieb einer in der 1. Phase entwickelten und betriebenen Versuchsanlage sollen in der 2. Phase in einen produktionsnahen Prototypen überführt werden. Aus den Untersuchungen sollen Vorschläge für die Übertragung der verfahrenstechnischen Entwicklungen auf Großanlagen erarbeitet werden.

3 Beschreibung des Standortes und der Versuchsanlage

3.1 Standort

Die Versuchsanlage ist am Standort Neiden in einem Gebäudeteil der Teichwirtschaften Wermsdorf / Torgau installiert. Die Teichwirtschaften Wermsdorf / Torgau sind einer unserer Kooperationspartner und unterhalten an diesem Standort seit einigen Jahren eine Aquakulturreislaufanlage mit einer konventionellen Abwasserreinigung (Scheibentauchkörper). Die erforderlichen Infrastrukturbedingungen wie Fischbesatz, Fischfutter und Sauerstoffversorgung sind somit erfüllt und eine kompetente personelle Betreuung ist auch außerhalb der normalen Arbeitszeit sichergestellt. Der Versuchsbetrieb erfolgt somit unter praxisnahen Verhältnissen.



Abbildung 1: Standort der Versuchsanlage in Neiden bei Torgau



3.2 Versuchsanlage

3.2.1 Beschreibung der Kreislaufanlage

Für den Versuchsbetrieb werden der Zulauf und der Ablauf von 4 Rundbecken zur Aufzucht von Besatzfischen (Karpfen) an eine Kläranlage mit Membranbioreaktoren angeschlossen. Das aus den Fischbecken ablaufende Abwasser bildet den Zulauf zur Kläranlage. Der Kläranlageablauf (gereinigtes Abwasser) wird nur noch mit Sauerstoff angereichert und wieder in die Fischbecken eingeleitet, so dass ein in sich geschlossener Kreislauf geschaffen ist.

Das Abwasser aus den Fischbecken gelangt zunächst in eine Sedimentationsstufe, die aus zwei parallel geschalteten Lamellenseparatoren besteht, in denen im Abwasser enthaltene Feststoffe (Fischkot, Futterreste) als Schlamm sedimentieren. Der in den Separatoren sedimentierende Schlamm gelangt in die Schlammsammler und wird von dort mit Mammutpumpen zu den parallel angeordneten Membranbioreaktoren I und II bzw. zur Denitrifikation gefördert. Durch die Mammutpumpen können die Teilströme C und D unabhängig von der im Hauptkreislauf zirkulierenden Wassermenge nach Bedarf gesteuert werden. Der Klarwasserablauf der Separatoren bildet den Hauptkreislauf. Es können wahlweise beide Klarwasserabläufe über die Nitrifikation I und II zum Mischwasserbehälter oder direkt zum Mischwasserbehälter geschaltet werden.

Im Mischwasserbehälter werden alle Teilströme:

- Hauptkreislauf A über Nitrifikationsstufe,
- Teilstrom B direkt von der Sedimentation,
- Teilstrom C aus den Membranbioreaktoren I und II,
- Teilstrom D aus der Denitrifikation (über A oder B),
- Teilstrom F aus der Dosierstation (NaOH / Kalkmilch) sowie
- Teilstrom G Nachspeisung Frischwasser, bei Bedarf aufgeheizt und mittels Tauchpumpen über eine Sauerstoffdosierstation den Fischbecken als Frischwasser zugeführt.

Der im Forschungsvorhaben angestrebte Nachweis einer neuartigen Reinigungsleistung für Aquakulturkreislaufanlagen basiert also vor allem auf einer effektiven Aufteilung des gesamten Kreislaufwassers in einen gering belasteten Hauptstrom A, der nur mit Nitrifikation behandelt wird und einen hoch belasteten Teilstrom C, der in den Membranbioreaktoren aufbereitet wird.



3.3 Spezifizierung der Hauptausrüstungen

3.3.1 Fischbecken I, II, III & IV (Reserve)

In der Anlage sind vier gleichgroße Becken mit einem nutzbaren Volumen von je ca. 1,5 m³ installiert. Die Aufzucht der Satzfiſche erfolgt aber nur in den Fischbecken I – III. Das Becken IV kann für das Wiegen und Sortieren der Fiſche genutzt werden. Damit das Betriebswasser im freien Gefälle durch alle Verfahrensstufen bis zum Mischbehälter fließen kann, stehen die Becken in einer Stahl- Unterkonstruktion in ca. 1,0 m Höhe über dem Fußboden. Die Becken bestehen aus Polyacryl. Das Betriebswasser wird ca. 10 cm unterhalb der Wasseroberfläche in die Fischbecken eingeleitet. Der Ablauf erfolgt in der Mitte der Becken über einen mit einem Sieb geschützten Überlauf. Auf dem Boden der Becken ist eine Notbegasung installiert, mit der direkt Sauerstoff in jedes Becken eingeleitet werden kann. Das aus den Fischbecken ablaufende Abwasser gelangt über eine Sammelleitung und eine Probenahme/Messstelle in die Sedimentationstufen. Es erfolgt eine kontinuierliche Bestimmung der Sauerstoff- und Ammoniumkonzentration sowie der Trübe. Bei Unterschreitung einer O₂-Konzentration von 6 mg/l wird die Notbegasung in den Fischbecken automatisch eingeschaltet.

Volumen:	2,0 m ³
Nutzvolumen:	1,5 m ³
Betriebsvolumen.	1,3 m ³
Durchmesser:	1600 mm
Höhe:	1050 mm
Material:	GFK



Abbildung 4: Zu- und Abläufe und Unterkonstruktion der Fischbecken.



3.3.2 Sedimentationsstufe

Der Abwasserstrom aus den Fischbecken wird nach der Messstelle aufgeteilt und zwei parallel geschalteten, unterschiedlich großen Lamellenseparatoren zugeführt. Hier erfolgt die Abtrennung der Feststoffe (Fischkot, Futterreste) aus dem Hauptabwasserstrom. Der Volumenstrom im Zulauf zu den Separatoren ist einstellbar und wird kontinuierlich gemessen. Der Schlamm aus jedem Separator gelangt zunächst in einen Schlammsammler und wird von dort diskontinuierlich mit Mammutpumpen zu den parallel angeordneten Membranbioreaktoren I und II bzw. zur Denitrifikation gefördert.

Der Klarwasserablauf des Separators I (LMS 3,5) wird bis zum 112. Versuchstag direkt in den Mischwasserbehälter (Teilkreislauf B) geleitet. Danach wird sein Klarwasserablauf wie der des Separators II (LMS 7) über die Nitrifikation (Hauptkreislauf A) in den Mischbehälter eingeleitet



Abbildung 5: Lamellenseparator LMS 7



3.3.3 Nitrifikation

In der zweistufigen Nitrifikation erfolgt vor allem die Oxidation des organisch gebundenen Stickstoffes über Nitrit zu Nitrat und die Umwandlung von Kohlenstoffverbindungen zu CO_2 . Durch die Nitrifikationsstufe wird der Hauptstrom A ($3,8 \text{ m}^3$) und ab dem 112 Versuchstag auch der Teilstrom B ($2,3 \text{ m}^3$) geleitet. Der Ablauf der Nitrifikationsstufen muss weitgehend schwebstofffrei gehalten werden, da er ohne Weiterbehandlung in den Mischbehälter eingeleitet wird. Als Verfahren wird ein Schweb- / Festbett mit Pall-Ringen als Aufwuchskörper (Oberflächenvergrößerung) angewendet. Bei der geringen Aufenthaltszeit von 47 min bzw. 29 min und der hohen Turbulenz / Durchflussgeschwindigkeit kann sich nur eine sehr dünne Filmbiologie auf den Pall-Ringen etablieren, so dass der Ablauf weitgehend schwebstofffrei bleibt und damit eine geringe Trübe aufweist.



Abbildung 6: Pall-Ringe mit Filmbiologie



Abbildung 7: v.l. Nitrifikation I und II, Mischbehälter, Denitrifikation I und MBR II

3.3.4 Membranbioreaktoren

In den zwei Membranbioreaktoren kommt das Membranbelebungsverfahren [3] zur Anwendung. Das Membranbelebungsverfahren ist die Kombination des Belebtschlammverfahrens (biologische Reinigung) mit einer Membranfiltration zur Trennung des belebten Schlammes (mechanische Reinigung) vom gereinigten Abwasser. Neben der Platzersparnis, durch den Wegfall des Nachklärbeckens kann mit Hilfe der Membranen die biologische Stufe mit einer Schlamm Trockensubstanz bis zu 35 g/l [1] sicher betrieben werden, was einerseits die Größe des Belebungsbeckens deutlich reduziert und andererseits durch den Filtrationseffekt eine äußerst hohe Reinwasserqualität in Bezug auf Kohlenstoffverbindungen, Bakterien und abfiltrierbare Stoffe ermöglicht [1, 2]. In den Membranbioreaktoren sind Plattenmodule mit Mikrofiltrationsmembranen (Porengröße 0,4 µm) der Fa. KUBOTA installiert. Die erforderliche transmembrane Druckdifferenz wird dabei durch einen filtratseitigen (permeatseitigen) Unterdruck erzeugt. (Das Filtrat ist bei der cross-flow Filtration eigentlich ein Permeat.) Dieser wird durch die Wassersäule der Belegung über den Plattenmodulen erzeugt (gravity flow). Die Befüllung der Membranbioreaktoren erfolgt in Abhängigkeit vom jeweiligen Füllstand mit einer Mammutpumpe aus den Schlamm Sammlern der Lamellenseparatoren. Zur Versorgung der Belebtschlammorganismen mit Sauerstoff und zur Kontrolle der Deckschicht auf den Plattenmodulen wird permanent Luft unterhalb der Filterplatten in die Plattenmodule eingeblasen. Das Filtrat gelangt im freien Gefälle in eine Hebeanlage, die es dann in den Mischwasserbehälter fördert.

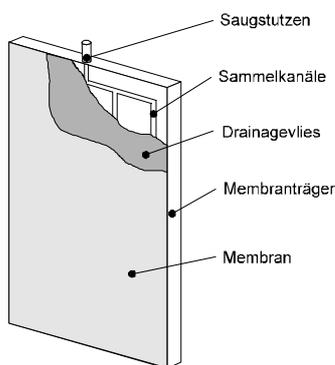


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Membranplattenaufbaus

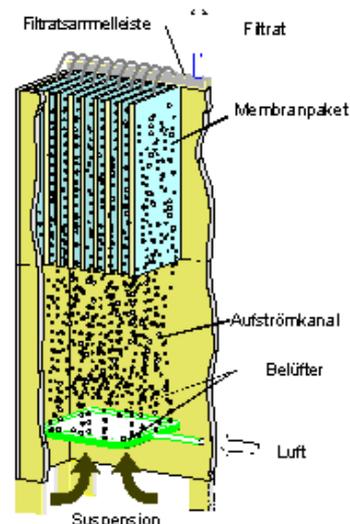


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Modulaufbaus



4 Material und Methoden

4.1 Chemische und physikalische Parameter

In der ersten Phase liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen im Nachweis der Leistungsfähigkeit der Anlage. Hierzu wurden an fünf Probenentnahmestellen die wesentlichen chemischen und physikalischen Parameter online ermittelt oder im Labor der BUSSE GmbH bestimmt. Die Pilotanlage ist deshalb mit dem IQ Sensor Net System 2020 (Fa. WTW) ausgerüstet. Dabei handelt es sich um ein modulares Multiparameter-Messsystem für die Online-Analytik. Die Messwerte können direkt auf dem Display des IQ Sensor Net bzw. des Anzeige-Recorders SIREC DM (Fa. Siemens) angezeigt sowie als Trends dargestellt und aufgezeichnet werden.

Tabelle 1: Bestimmungsintervall der chemischen und physikalischen Parameter

Parameter	Einheit	Startphase	Stabiler Betriebspunkt
		Intervall [d]	
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	1	7
Biologischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅	3	7
Gesamt Stickstoff	N _{ges}	3	7
Ammonium Stickstoff	NH ₄ -N	1 + Online	7 + Online
Nitrit Stickstoff	NO ₂ -N	1	7
Nitrat Stickstoff	NO ₃ -N	1	7
Gesamt Phosphor	P _{ges}	3	7
Sauerstoff	O ₂	3 + Online	1+ Online
pH-Wert	pH	3 + Online	1 + Online
Leitfähigkeit	LF	Online	Online
Trübe	FNU	Online	Online
Trockensubstanzgehalt	TS	Online	Online
Kreislaufwassermenge	Q	Online	Online



4.2 Bakteriologische, virologische und immunologische Parameter

Die Bestimmung der bakteriologischen und der virologischen Parameter werden von der veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig unter Leitung von Frau Prof. Krüger durchgeführt. Besondere Schwerpunkte werden auf die Ermittlung neu zu etablierender immunologischer Parameter für Karpfenserren und bakteriologische Parameter des Darminhaltes dieser Tiere und des Wassers gelegt, die eine Aussage zur Effizienz sowie einen Vergleich mit einer konventionellen Kreislaufanlage zulassen.

Über einen Zeitraum von 6 Wochen wurden je Fischbecken in der Regel 2 Karpfen lebend in das Institut gebracht und hier unter Blutentzug getötet, um den Magen-Darm-Inhalt zu gewinnen (23.10.-27.11.2003). Im gleichen Zeitraum wurden Wasserproben gewonnen und dem Labor zur Verfügung gestellt. Die Wasserproben wurden sofort nach der Membranfiltration (MF1 und MF2), direkt aus dem Fischbecken (FB1-FB3), einmal vom Ablauf der Fischbecken (Ablauf FB) sowie aus dem Mischbehälter (MB) entnommen.

4.2.1 Bakteriologische Parameter:

<u>Parameter</u>	<u>Nährboden</u>
Gesamtkeimzahl	Einfachagar (SIFIN)
Gesamtkeimzahl	Blutagar (Oxoid)
Gram-negative Keimzahl	McConkey (SIFIN)
<i>Bdellovibrio</i> spp.	Zweikomponentenagar nach Stolp&Petzold, (J. Phytopath.Zeit, 1962,45:364-390)
<i>Yersinia</i> spp.	CIN-Agar (SIFIN)
<i>Aeromonas</i> spp.	Blutagar (Oxoid)
<i>Bacillus</i> spp.	Bacillus-agar (Roth)
Hefen	Sabouraud-Agar (SIFIN)



4.2.2 Immunologische Parameter:

	<u>Methode</u>
C-reaktives Protein	ELISA
<i>Bacillus cereus</i> -Antikörper	ELISA
<i>Aeromonas</i> -Antikörper	ELISA
<i>Citrobacter</i> -Antikörper	ELISA
<i>Pseudomonas fluorescens</i> -Antikörper	ELISA
Phospholipase C-Antikörper (<i>Clostridium perfringens</i>)	ELISA
Candida-Antikörper	ELISA

Die immunologischen Untersuchungen werden gegen Bakterien und Hefen durchgeführt, die im Wasser der Fischbecken und im Magen-Darm-Kanal der Fische mit großer Häufigkeit nachzuweisen sind. Die Blutproben wurden einmal pro Woche von mindestens zwei Fischen je Fischbecken (FB 1 bis 3) bzw. der Kreislaufanlage Neiden (KLA-N) und über einen Zeitraum von sechs Wochen genommen.



5 Versuchsdurchführung

5.1 Anfahren (ohne Fischbesatz) 19.02.03– 20.05.03

Die Anlage wird mit Abwasser aus dem Nachklärbecken der vorhandenen Kreislaufanlage (Fischaufzucht) der Teichwirtschaften Wermsdorf/Torgau gefüllt. Nach dem Füllen wird kontinuierlich ca. 1,2 m³/h Abwasser aus diesem Nachklärbecken in das Fischbecken 1 geleitet und in der Anlage behandelt. Das Kreislaufwasser (Zulauf zu den 3 Fischbecken) der Anlage beträgt in der Versuchsphase I ca. 8,2 m³/h. Vom 19.02-20.05.03 wird die Biologie in den Membranbioreaktoren und der Nitrifizierung bzw. Denitrifikation aufgebaut, die Anlagenkomponenten sowie die Messtechnik eingestellt und überprüft. Das überschüssige Kreislaufwasser wird an dem Überlauf des Mischbehälters abgeleitet und mit einer Hebeanlage in die Nachklärung der Kreislaufanlage Neiden zurückgefördert.

5.2 Versuchsbetrieb mit Fischbesatz 21.05.03 – 05.12.03

In dieser Phase wird die Abwasserzufuhr aus dem Nachklärbecken eingestellt. Lediglich die Verluste durch Verdunstung und die Fische selbst werden durch Frischwasserzufuhr in das Mischwasserbecken ausgeglichen. Der Besatz erfolgte mit Karpfen aus der konventionellen Kreislaufanlage in Neiden.

Die Erhöhung der Besatzdichte erfolgt in folgenden Schritten:

21.05.03:	30 St. je Becken mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von 123g
26.05.03:	30 St. je Becken mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von 138g
30.05.03:	60 St. je Becken mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von 151g
03.06.03	80 St. je Becken mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von 148g
24.06.03	100 St. je Becken mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von 150g

D.h. der Versuch wurde mit einem Bestand von 300 Karpfen je Becken begonnen. In den Tabellen und Diagrammen zur Auswertung des Versuchsbetriebes wird der 25.06.03 als Versuchszeit (Vz.) 0 dargestellt.



In größeren Abständen (wöchentlich bzw. monatlich) wird eine Wägung von ca. 10 – 20 % des Besatzes bzw. des Gesamtbestandes jedes Beckens vorgenommen und danach die Futtermenge bestimmt.

Die Futtermenge wird wie folgt festgelegt:

Bis zum 03.07.03 (Vz.43) wird 1%,

bis zum 27.10.03 (Vz.159) wird 1,5 %,

ab dem 27.10.03 wird 2,5% des Gesamtfischgewichtes in jedem Becken als tägliche Futtermenge gegeben.

Als Futter wird bis zum 06.10.03 KA 30 / 15 Ex, (Alleinfutter für Karpfen) gegeben. Am 07.10.03 erfolgte ein Futterwechsel auf KM 28/08, Kraft Aquavalent. Da die Karpfen bei Versuchsbeginn nicht nach ihrem Gewicht sortiert worden sind, kommt es im Versuchszeitraum zu einem starken Auseinanderwachsen.

Am 09.09.03 (Vz.111) wird der Gesamtbestand gezählt und gewogen. Fische, die ein Gewicht von mehr als 500g aufweisen, werden aus dem Bestand aussortiert.

Am 11.09.03 (Vz. 113) wird die am 27.07.03 (Vz. 67) begonnene Dosierung von NaOH auf $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zur pH-Wert Stabilisierung umgestellt.

Am 24.09.03 (Vz.126) und 30.09.03 (Vz.132) kommt es im Fischbecken 1 zu einer hohen Sterberate von über 50 % durch ein defektes Zulaufventil. Daraufhin werden am 01.10.03 die Zulaufventile (Membranventile) in allen Fischbecken gegen Kugelhähne ausgetauscht.

Am 30.10.03 wird das Becken 1 abgefischt, gezählt und gewogen und mit 289 kleinen Fischen mit einem mittleren Gewicht von 22,5 g, neu besetzt.

Am 04.11.03 wird der komplette Besatz von Becken 2 ausgesetzt, da das mittlere Fischgewicht bei 650g liegt. Der Bestand von Becken 3 (339 Fische, mit 349 g/Stück) wird auf die Becken 2 und 3 aufgeteilt.

Am 09.11.03 (Vz.172) kommt es zu einem Verlust von 25 % des Besatzes in Becken 2 durch einen Defekt an der Frischwasserzulaufpumpe.



6 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die in der Phase des Versuchsbetriebes mit Fischbesatz vom 21.05.03 – 05.12.03 (Vz.0-198) an der Kreislaufanlage mit Membranbioreaktoren in Neiden ermittelt wurden.

6.1 Reinigungsleistung

Das Verfahren, der im Forschungsvorhaben entwickelten Pilotanlage zur Abwasserreinigung von Kreislaufwasser aus der Aquakultur, basiert vor allem auf einer effektiven Aufteilung des gesamten Kreislaufwassers in einen gering belasteten Hauptstrom A, der nur mit Nitrifikation behandelt wird und einen hoch belasteten Teilstrom C, der in den Membranbioreaktoren aufbereitet wird. Dieses Grundprinzip hat eine hervorragende Prozessstabilität während der gesamten Versuchslaufzeit ermöglicht, so dass keinerlei Austausch des Kreislaufwassers nötig war, um die chemischen, physikalischen oder biologischen Parameter zu beeinflussen. Um die Lebensbedingungen der Fische abzubilden, wird in den Tabellen und Diagrammen, stellvertretend für die Wasserqualität des Kreislaufwassers, im wesentlichen die Zusammensetzung des Ablaufs der Fischbecken dargestellt.

Abbildung 10: Gegenüberstellung der chemischen Parameter im Ablauf der Fischbecken

Parameter	Einheit	Min	Max	Mittelwert	Standard-Abweichung
CSB	[mg/L]	30	229	114,7	52,7
BSB ₅	[mg/L]	4	43	17,6	10,0
N _{Ges} -N	[mg/L]	93	286	201,2	64,2
NH ₄ -N	[mg/L]	0,2	9,6	1,9	1,9
NO ₂ -N	[%]	0,04	0,7	0,2	0,1
NO ₃ -N	[mg/L]	82	260	193,4	53,8
P _{Ges} -P	[mg/L]	22,7	99,6	67,1	25,5
pH-Wert	[-]	5,0	8,3	6,1	0,6
Leitfähigkeit	[mS/cm]	1,4	3,2	2,5	0,5
Trübe	[FNU]	1,0	9,0	5,4	2,0
Sauerstoff	[mg/L]	5,0	22,7	12,7	4,1
Temperatur	[°C]	19,8	23,9	27,6	1,1

Tab. 1: Gegenüberstellung der gemittelten Anlagendaten

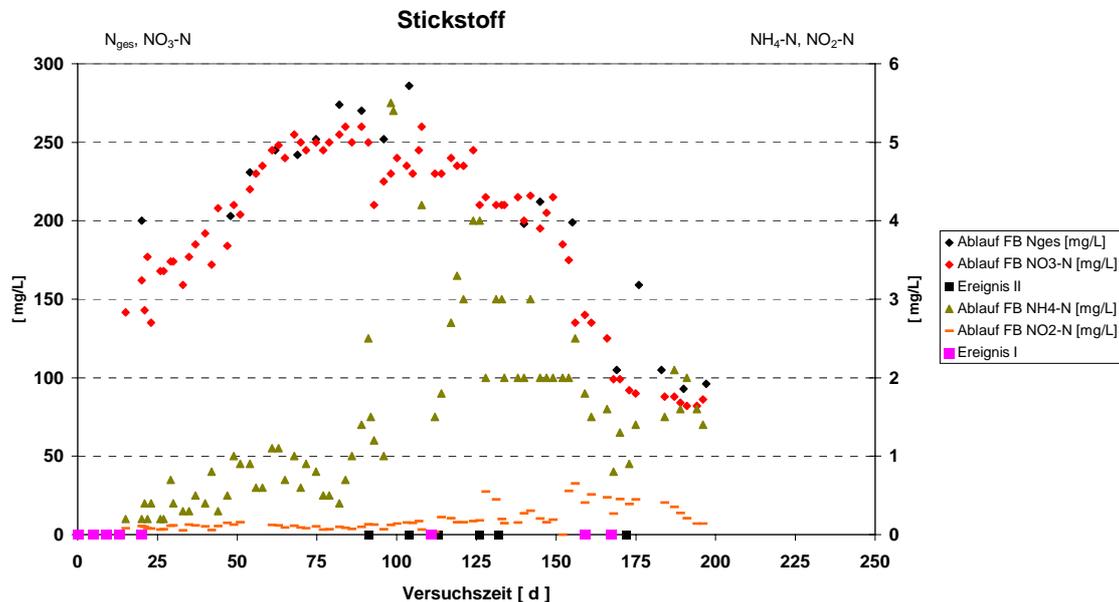


Abbildung 11: Verteilung der Stickstofffraktionen im Ablauf der Fischbecken

In der Abbildung 11 ist der Konzentrationsverlauf der jeweiligen Stickstofffraktionen im Ablauf der Fischbecken dargestellt. Um den Versuchstag 100 (Abbildung 11) ist ein stetiger Rückgang der Gesamtstickstoffkonzentration im Ablauf der Fischbecken (Kreislaufwasser) zu erkennen, der höchstwahrscheinlich auf die Erweiterung der Denitrifikation am 19.08.03 (Vz.94) von $1,5 \text{ m}^3$ auf 4 m^3 zurückzuführen ist. Dadurch wird die Oberflächenbelastung der Tauchkörper von $0,013 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ auf $0,007 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ gesenkt. Der Anstieg der Denitrifikationskapazität konnte aber nicht direkt nachgewiesen werden, da die Probenentnahme durch die zyklische Befüllung mit großen Volumina sehr fehlerbehaftet ist. In Abbildung 11 ist aber auch ein deutlicher Anstieg der NH_4-N Konzentration nach der Erweiterung erkennbar, der auf eine deutliche Steigerung der Denitrifikationskapazität hinweist. Diese Vermutung wird auch durch die Stabilisierung des pH-Wertes (höhere Säurekapazität) und der Leitfähigkeit (Reduzierung von Ionen) ab dem 100. Versuchstag (Abbildung 12) gestützt. Das Verlustwasser kann in dieser Entwicklung auch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Einzelnen wurden $1,5 \text{ m}^3$ am 19.06.03, $1,5 \text{ m}^3$ am 02.09.03, 3 m^3 am 04.11.03 und 1 m^3 am 09.11.03 (Vz. 29, 104, 167, 171) bei Umbauten bzw. Havarien ausgetauscht, bzw. 3 m^3 bei der Erweiterung der Denitrifikation hinzugegeben. Insgesamt betrug somit der Wasseraustausch durch den Ersatz des Verlustwassers weniger als $0,035 \text{ Vol. \% /d}$ und ist somit zu vernachlässigen. Die Verdunstung von Kreislaufwasser,



vor allem in der Nitrifikation kann keinen reduzierenden Einfluss auf die betrachteten Parameter haben, da es wöchentlich durch Trinkwasser aufgefüllt wurde und somit auf lange Sicht eher zu einer Steigerung der Salzkonzentration im Gesamtsystem führt.

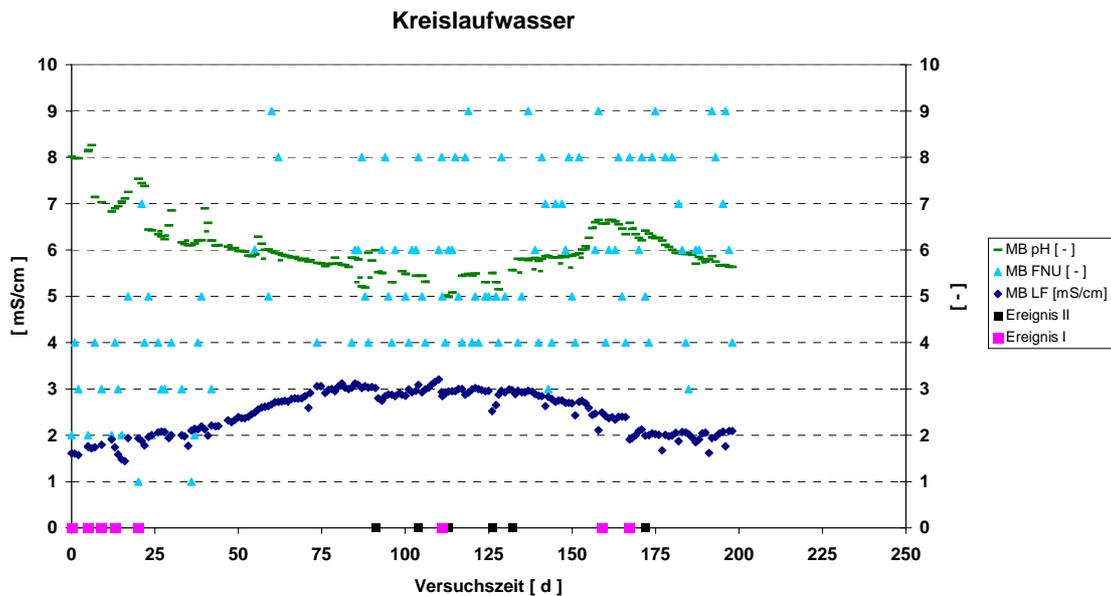


Abbildung 12: pH-Wert, Trübe und Leitfähigkeit des Kreislaufwassers

Bei Versuchsbeginn betrug der pH-Wert ca. 8. Im Verlauf der 1. Versuchswoche fiel er auf ca. 7 und in den nächsten 4 Wochen bis auf ca. 6. Um einem weiteren Fallen des pH-Wertes entgegenzuwirken und nicht in einen für die Karpfen kritischen Bereich zu kommen, wurde am 27.06.03 (Vz.67) mit der Zudosierung von verdünnter Natronlauge begonnen. Der in der Fischwirtschaft übliche Einsatz von Kalk zur Stabilisierung des pH-Wertes wurde v.a. aus Gründen der möglichen negativen Auswirkung auf die Mikrofiltration zunächst nicht durchgeführt. Ab dem 11.09.03 (Vz.113) wurde auf die Dosierung von Ca(OH)_2 umgestellt. Der in Abbildung 13 zu erkennende drastische Rückgang in der Filtrationsleistung von MF II ist aber auf einen Defekt an der Füllstandsregelung dieses Reaktors zurückzuführen. Der langsame Rückgang in der Filtrationsleistung von MBR I kann aber durchaus durch die Umstellung auf die Dosierung von Ca(OH)_2 beeinflusst sein.

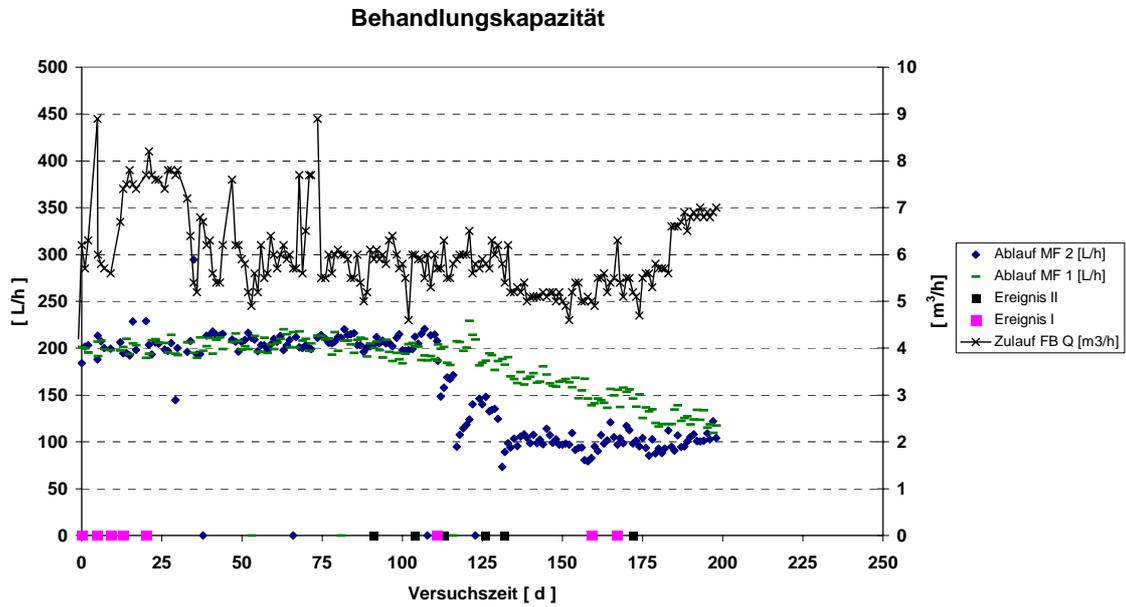


Abbildung 13: Behandlungskapazität

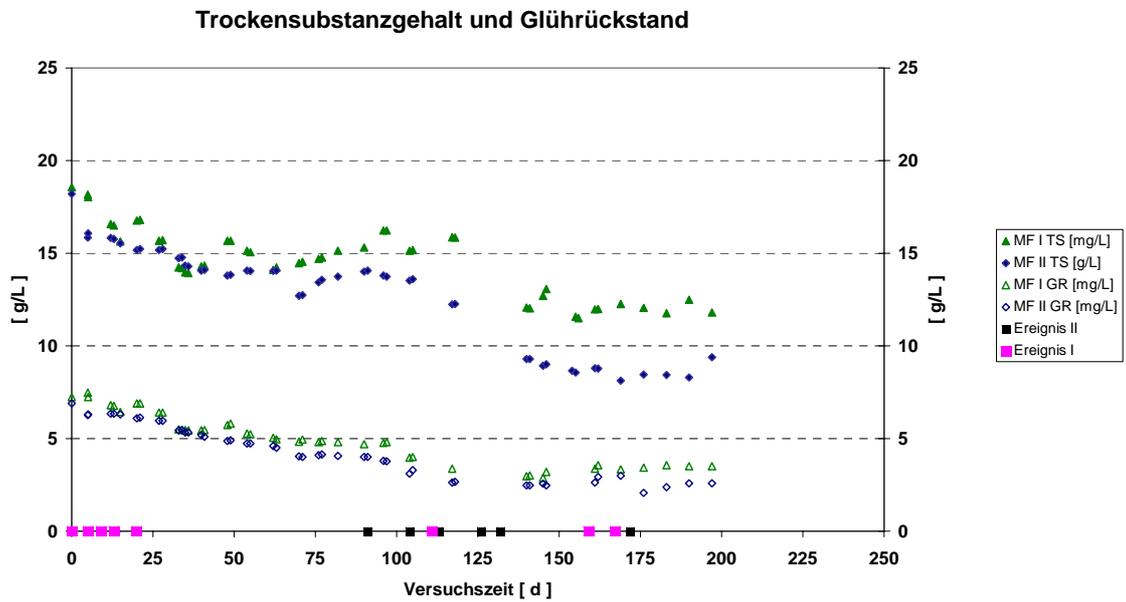


Abbildung 14: Trockensubstanzgehalt und Glührückstand



Zum Beginn des Versuchsbetriebes mit Fischbesatz (Vz0) hatten die Membranbioreaktoren eine TS-Konzentration von 18,2 g/L bzw. 16,1 g/L. Im weiteren Verlauf des Versuchsbetriebes nahm die Feststoffkonzentration in den Reaktoren nicht weiter zu. Es ist aber ein langsamer Rückgang erkennbar. (Abbildung 14) Da in der gesamten Versuchslaufzeit quasi kein Schlamm entnommen wurde, ist dieses nur mit einer weitgehenden Schlammstabilisierung durch die niedrige Schlammbelastung von 0,01 kg/kg*d und die vollständige Abbaubarkeit der im Zulauf enthaltenen Nährstoffe erklärbar [1,5]. In Tabelle 2 sind die Betriebsparameter und Kenngrößen zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2: Betriebsparameter und Kenngrößen der Pilotanlage

Verfahrensstufe	TYP / Parameter		Einheit	
	Betriebszeitraum		[d]	198 (289)
	Kreislaufvolumen	V_{Anlage}	$[\text{m}^3]$	16,6 – 21,4
	Kreislaufmenge	Q_{Anlage}	$[\text{m}^3/\text{h}]$	6,0
Vorklärung	Lamellenseparator			
	LMS 3,5	Volumen	$[\text{m}^3]$	1,2
		qF	$[\text{m}^3 \text{BSB}_5/\text{m}^2 \text{h}]$	0,38
	LMS 7	Volumen	$[\text{m}^3]$	2,0
		qF	$[\text{m}^3 \text{BSB}_5/\text{m}^2 \text{h}]$	0,31 - 0,51
Nitrifikation	Tauchkörper (Pall-Ringe)			
	Volumen	$V_{\text{Nitrifikation}}$	$[\text{m}^3]$	3
	Flächenbelastung	Ft	$[\text{kg}/\text{m}^2 \text{d}]$	0,007
Denitrifikation	Tauchkörper (Pall-Ringe)			
	Volumen	$V_{\text{Denitrifikation}}$	$[\text{m}^3]$	1,5 – 4,0
	Flächenbelastung	Ft	$[\text{kg}/\text{m}^2 \text{d}]$	0,013 - 0,007
Mikrofiltration	Plattenmodule			
	Volumen	V_{MBR}	$[\text{m}^3]$	2,4
	Filtrationsleistung	Q_{Filtrat}	$[\text{m}^3/\text{h}]$	0,33
	Schlammbelastung	B_{TS}	$[\text{kg}/\text{kg d}]$	0,01
	Raumbelastung	B_{R}	$[\text{kg BSB}_5/\text{m}^3 \text{d}]$	0,15



6.2 Produktivität

Die Höhe der Futtermenge ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Junge Fische fressen relativ (betrachtet) mehr als größere und wachsen dementsprechend schneller. Positiven Einfluss auf die Futtermenge haben außerdem bis zur optimalen Temperatur steigende Wassertemperaturen und Sauerstoffkonzentrationen sowie die Schmackhaftigkeit des Futters. Hieraus wird ersichtlich, dass die Bestimmung des optimalen Fütterungsniveaus, mit dem ein maximales Wachstum erzielt wird, sich relativ schwierig gestaltet. Daher darf die Angabe der Futtermenge (siehe auch 5.2) in Prozent der Lebendmasse (Körpergewicht), ohne Berücksichtigung der Energiedichte des Futters (in diesem Bericht nicht betrachtet) und der übrigen Faktoren, nur als grobe Schätzung gewertet werden.

Im Versuchsbetrieb vom 21.05.03 - 05.12.03 wurden 9 Versuchsreihen ausgewertet. Die Ergebnisse sind auf den folgenden Abbildungen 15, 16 und 17 dargestellt. In der Literatur [4] werden für Karpfen mit einem Gewicht von 46,6-188g bei Handfütterung Zuwachsraten von 1,9%/d bei FQ von 1,65 angegeben. Aus dem Vergleich dieser, mit den im Versuch ermittelten Angaben (Abbildung 15), werden die hohe Futterverwertung und damit die guten Lebensbedingungen der Fische ersichtlich.

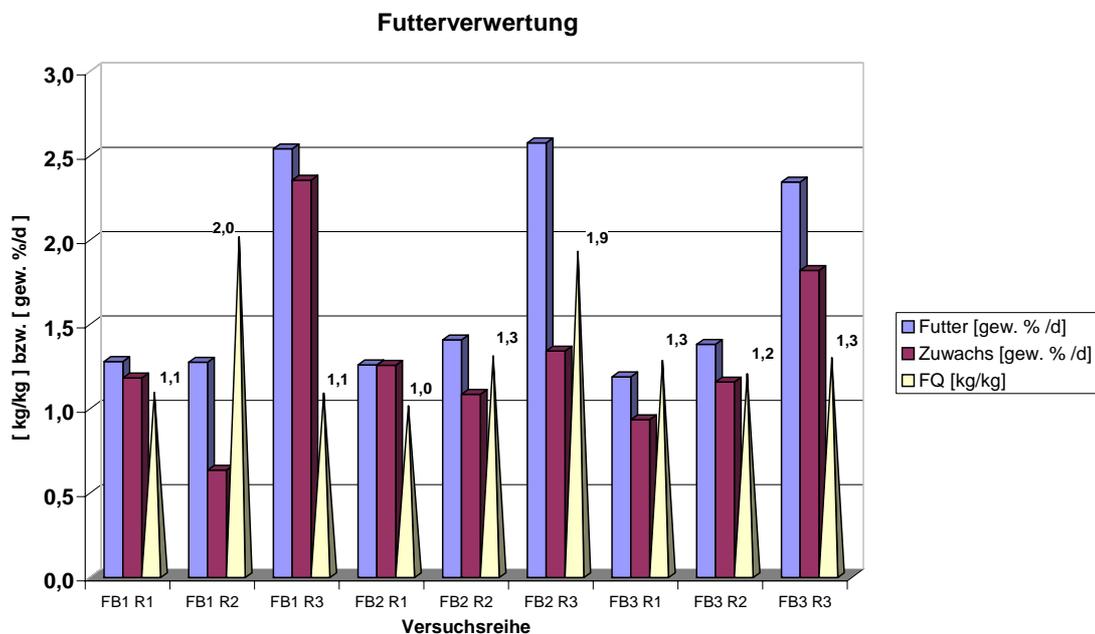


Abbildung 15: Futterverwertung

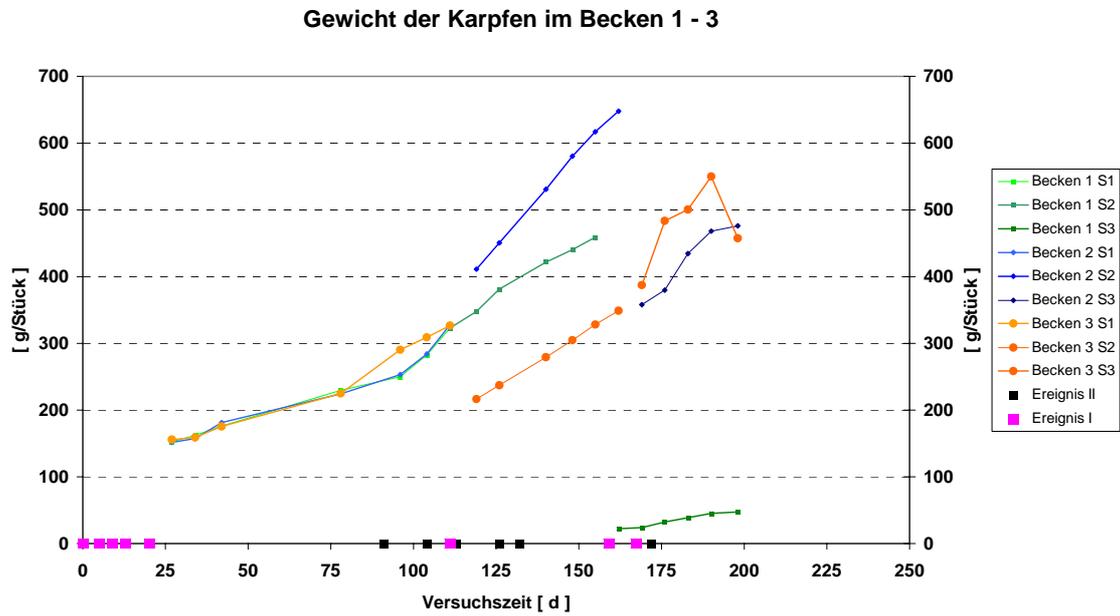


Abbildung 16: Gewicht der Karpfen im Becken 1 -3

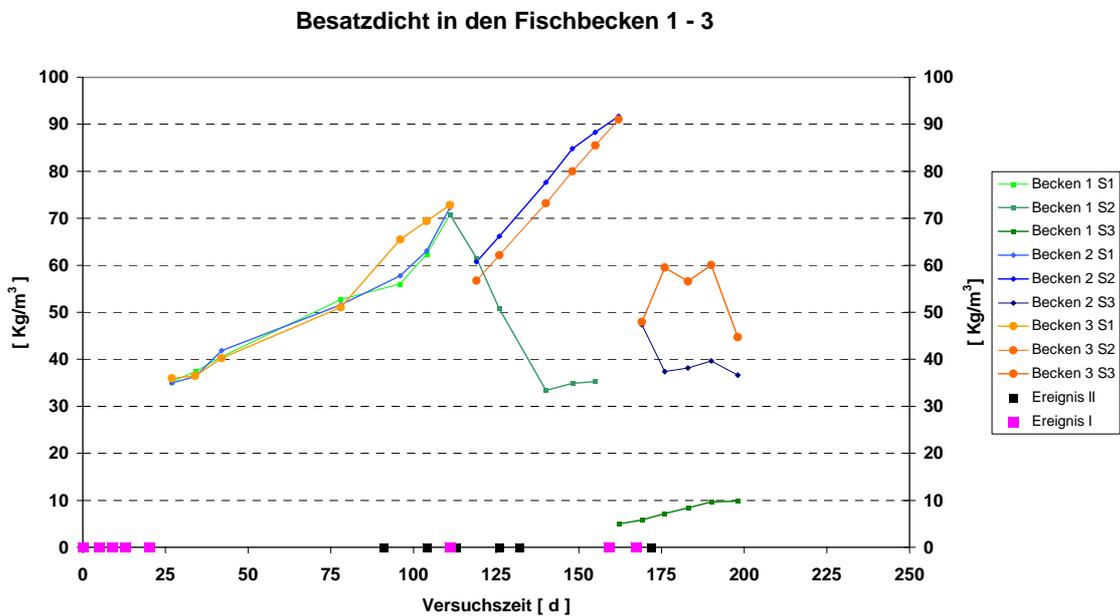


Abbildung 17: Besatzdichte in den Fischbecken 1 -3, Karpfen



6.3 Verluste

Bei den ersten Wiegungen wurden offene Wunden bei insgesamt 24 Fischen festgestellt. Es erfolgte daraufhin eine Untersuchung der Fische auf Krankheiten. Da diese Untersuchungen negativ ausfielen, wurde nach anderen Ursachen gesucht. Es stellte sich dann sehr schnell heraus, dass scharfe Kanten an der Notbegasung die Ursache waren, die dann beseitigt wurden. Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens kam es dann zu den unter 5.2 beschriebenen Störungen (Sauerstoffmangel), die bezogen auf den Gesamtbesatz von 1200 Fischen eine Sterberate von insgesamt 13% in der Versuchslaufzeit verursachten. Die hohe hygienische Qualität des Kreislaufwassers wird umfangreich in den veterinärmedizinischen Untersuchungen der Universität Leipzig gewürdigt (6.5, 6.6, 6.7). Über den gesamten Versuchszeitraum wurden keinerlei Fischtherapeutika zugegeben.

6.4 Schnecken

In verschiedenen deutschen Kläranlagen mit Kunststoff-Tropfkörpern sind in den letzten Jahren Betriebsprobleme durch die Blasenschnecken *Physella heterostropha* aufgetreten. Insbesondere kam es bei einer Kläranlage zum Zusammenbruch der Nitrifikation, da die Schnecken den Biofilm weitgehend von den Tropfkörpern abgrasteten. [5] Diese Problematik ist auch in der konventionellen Kreislaufanlage in Neiden bekannt. In diesem Falle sitzen die Schnecken auf den Tauchscheiben. Mit dem Abwasser (Anfahren) bzw. dem Fischbesatz aus der konventionellen Anlage in Neiden ist die *Physella heterostropha* auch in unsere Pilotanlage gelangt. Es haben sich im Versuchsbetrieb keine offensichtlichen Auswirkungen gezeigt, aber es war bereits ein deutlicher Bewuchs innerhalb der Rohrleitungen zu erkennen. Eine negative Beeinflussung der Nitrifikationskapazität bzw. Beeinflussung anderer Wasserparameter kann nicht ausgeschlossen werden.

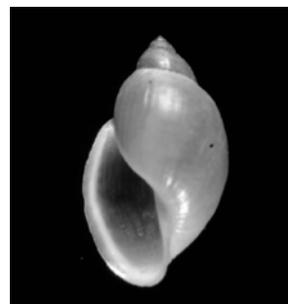


Abbildung 18: Blasenschnecke *Physella heterostropha*



6.5 Bakteriologische Untersuchungen der Fische

Da pro Probenentnahme je Fischbecken nur 2 (in Ausnahmefällen) 3 Fische untersucht worden sind, muss eine statistische Absicherung im Verlauf der Wochen unterbleiben, aber es können Entwicklungstrends beschrieben werden (Abbildung 19-25).

Die Gesamtkeimzahlen im Magen-Darm-Inhalt liegen in den 4 Fischbecken relativ dicht beieinander, wobei die relativ niedrigen Keimzahlen in der Kreislaufanlage mit großer Sicherheit dem geringen Körpergewicht und den in der Regel leeren Därmen der Tiere geschuldet waren. Die Keimzahlbestimmung erfolgte bei diesen Karpfen aus einem Gemisch von Darminhalt und von abgestreiftem Mukos der Schleimhaut des Darmes. Die *Aeromonas*-Konzentrationen in den untersuchten Proben verlief parallel zur Gesamtkeimzahl, auch hier mit den oben benannten Einschränkungen für die Kreislaufanlage. Yersinien wurden in keinem Fall nachgewiesen. Bdellovibrionen waren nicht zu allen Zeitpunkten und nicht in allen Fischbecken nachweisbar; keine Anzüchtungen gelangen in der 5. Untersuchungswoche. Hefen wurden überwiegend bei den Tieren der Kreislaufanlage isoliert.

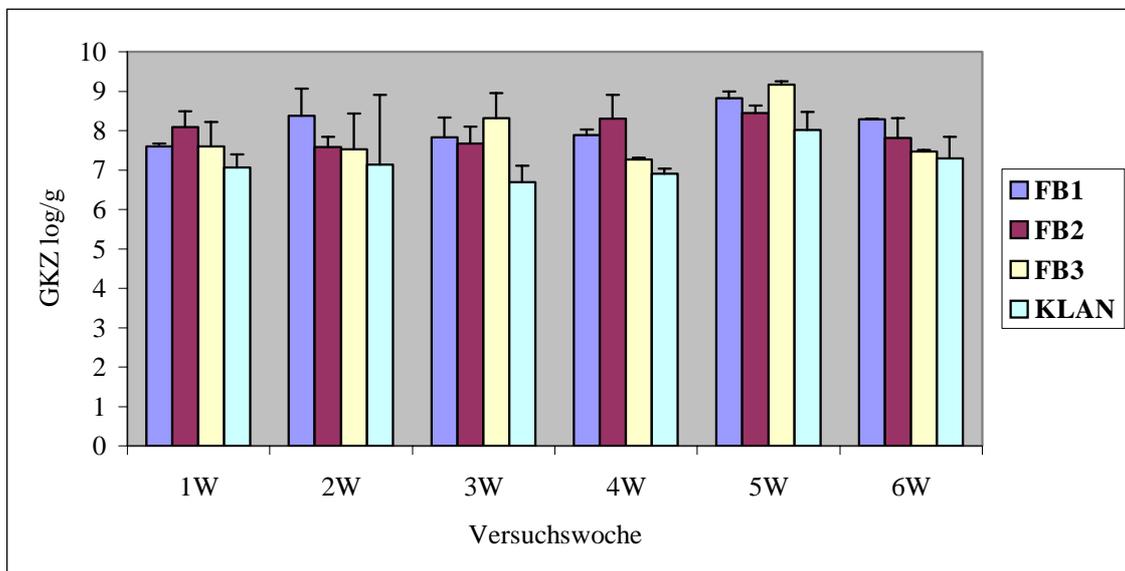


Abbildung 19: Gesamtkeimzahl (Einfach-Agar)

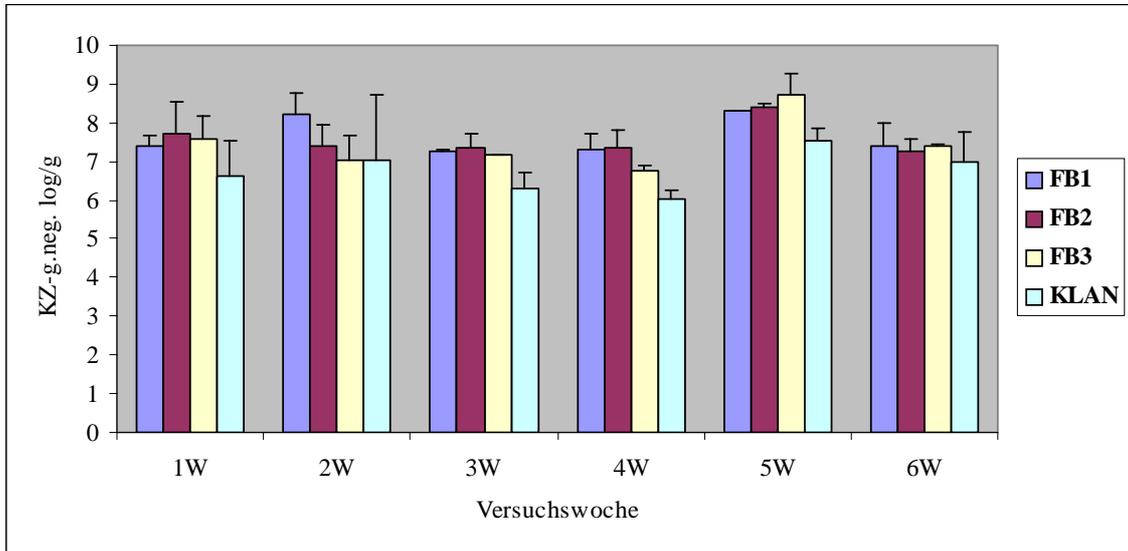


Abbildung 20: Gram-negative Keimzahl

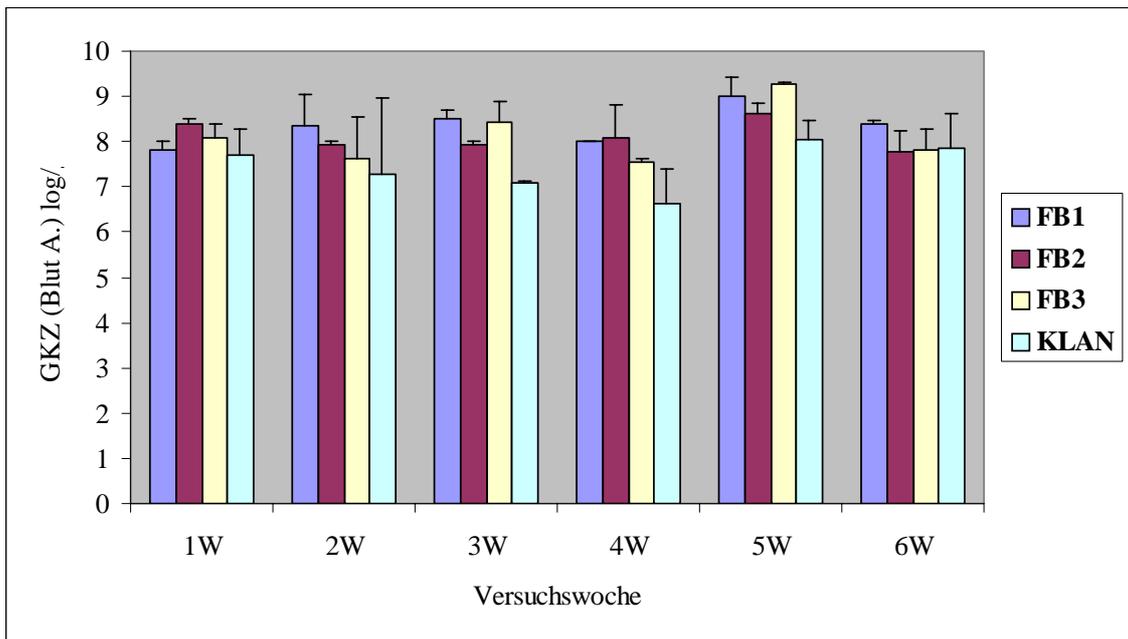


Abbildung 21: Gesamtkeimzahl (Blut-Agar)

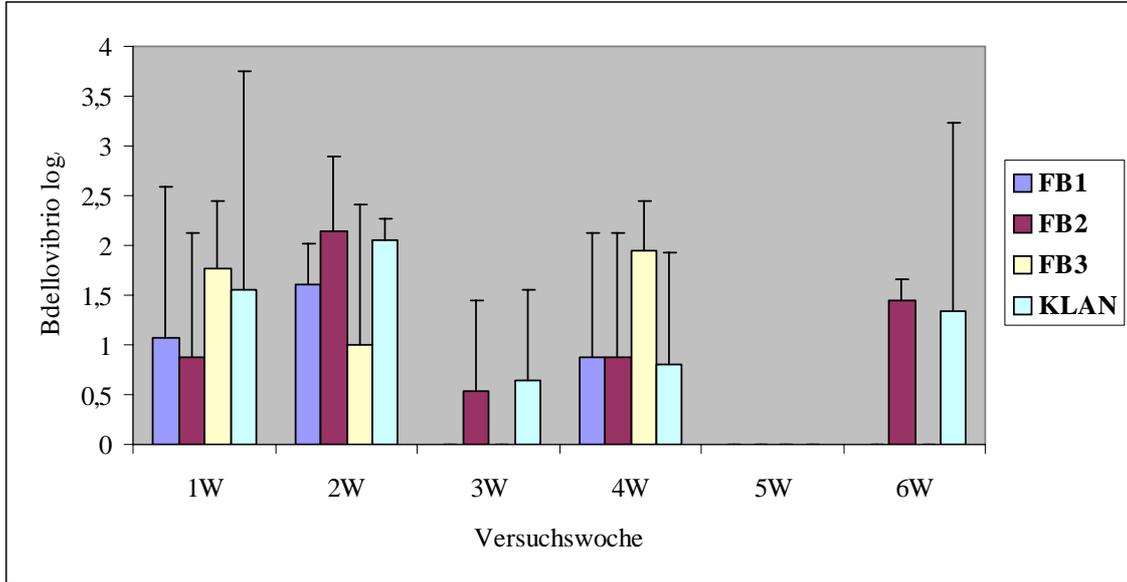


Abbildung 22: *Bdellovibrio*

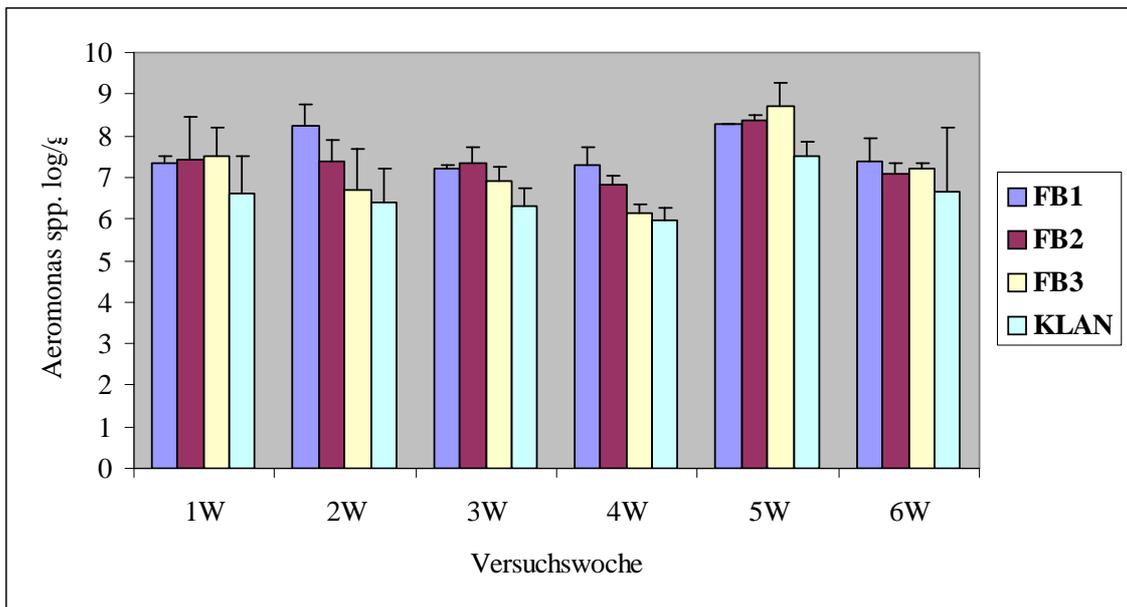


Abbildung 23: *Aeromonas* spp.

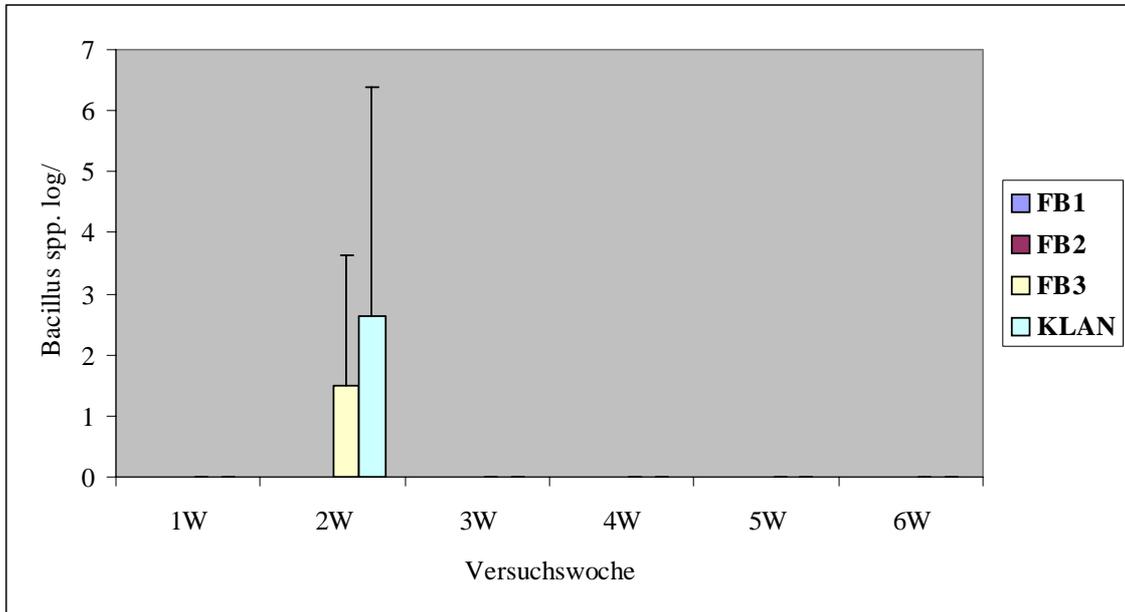


Abbildung 24: Bacillus spp.

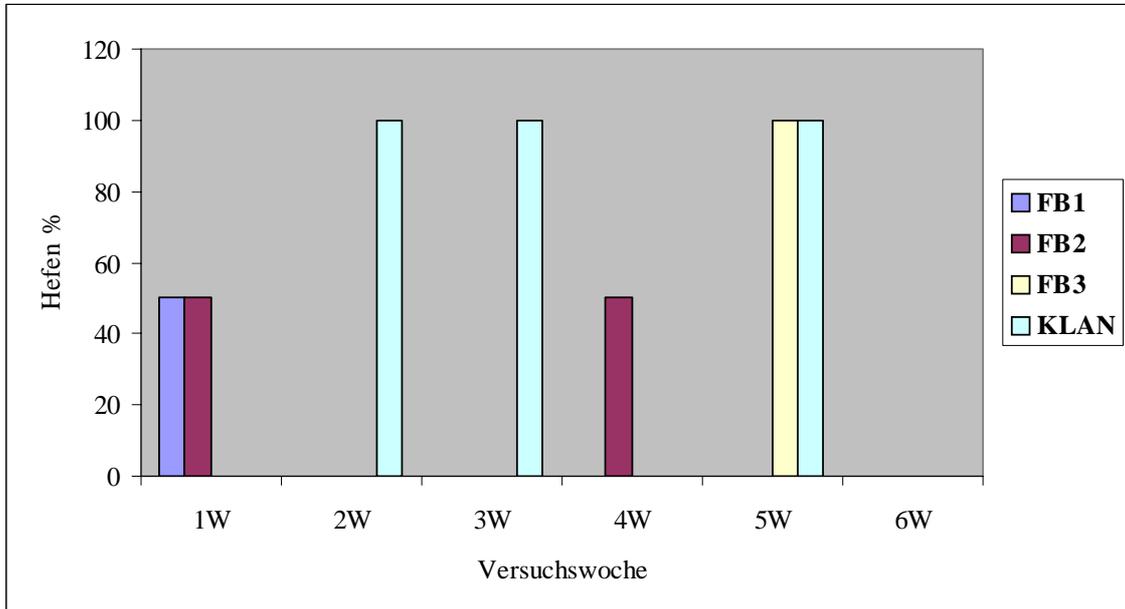


Abbildung 25: Hefen (in %)

FB1	Fischbecken 1	FB2	Fischbecken 2
FB3	Fischbecken 3	KLAN	Kreislaufanlage Neiden
Ablauf FB	Ablauf Fischbecken	MB	Mischbecken



6.6 Bakteriologische Untersuchungen des Wassers

Da hier Einzelproben zum jeweiligen Zeitpunkt untersucht worden sind, können pro Zeiteinheit die Werte nicht statistisch abgesichert werden.

Bis auf wenige Ausnahmen (3. Woche MF1 und 1. Woche MF2) waren nach der Filtrierung keine Mikroorganismen mit den gewählten Methoden nachweisbar. Die Keimzahlen bewegten sich zwischen 10^4 bis 10^5 Erreger/ml Wasser (Abbildung 26). Interessant sind die *Bdellovibrio* spp.- Konzentrationen, die zwischen 10^4 und 10^5 PbE/ml liegen. Dieses spricht für eine hochaktive Interaktion zwischen diesen Keimen und Gram-negativen Bakterien, die für die Bdellovibrionen die Wirtsbakterien sind. *Bacillus* spp. waren bis maximal 10^3 KbE/ml, also nicht hochgradig in wechselndem Ausmaß in FB1, 2 und 3 sowie MB feststellbar (Abbildung 31).

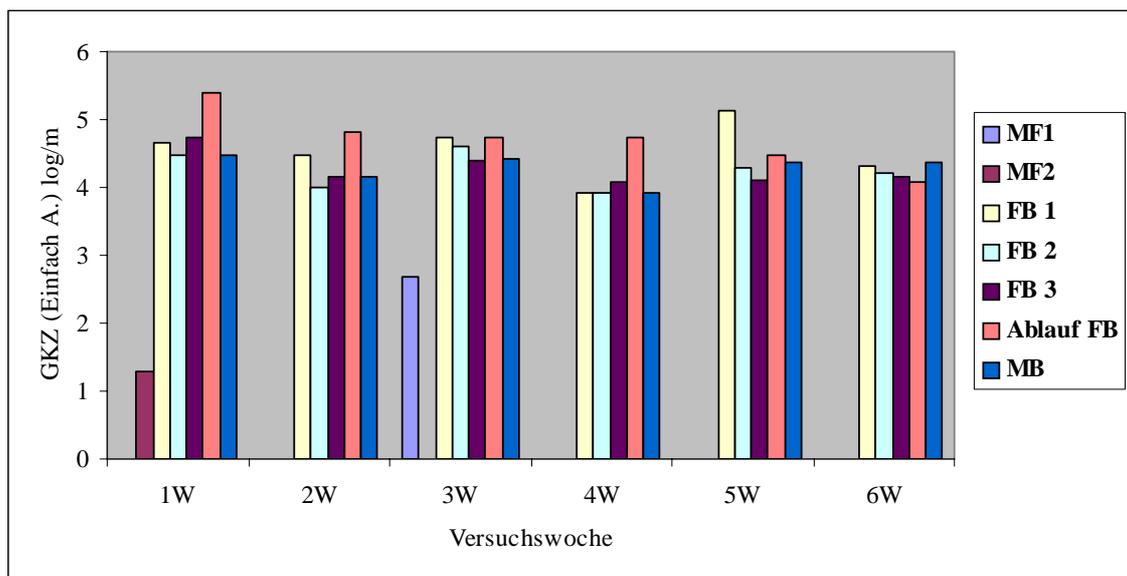


Abbildung 26: Gesamtkeimzahl (Einfach-Agar)

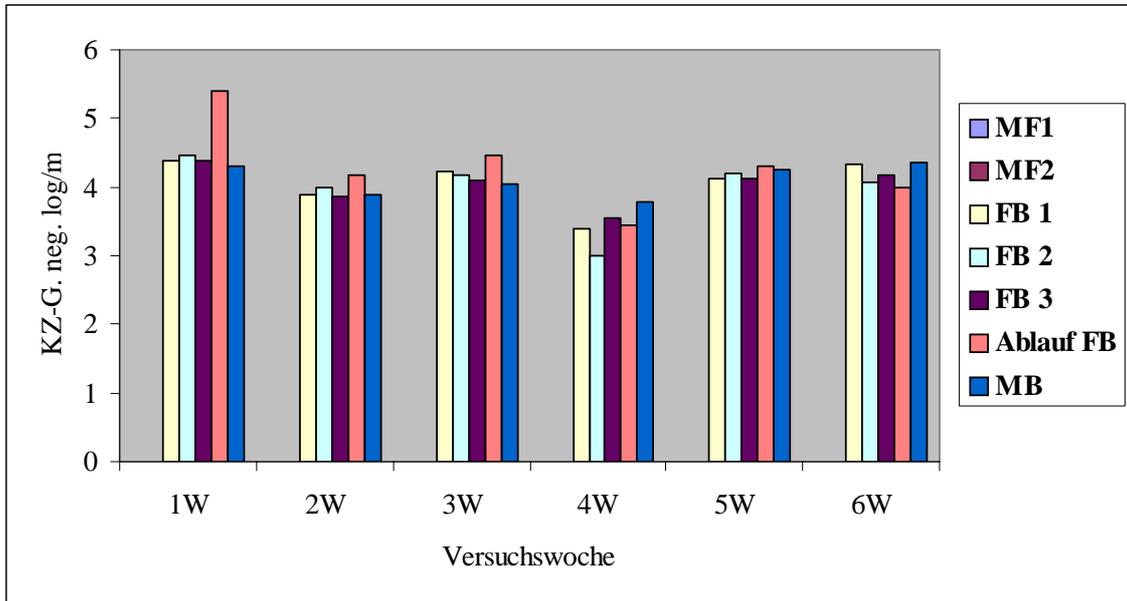


Abbildung 27: Gram-negative Keimzahl

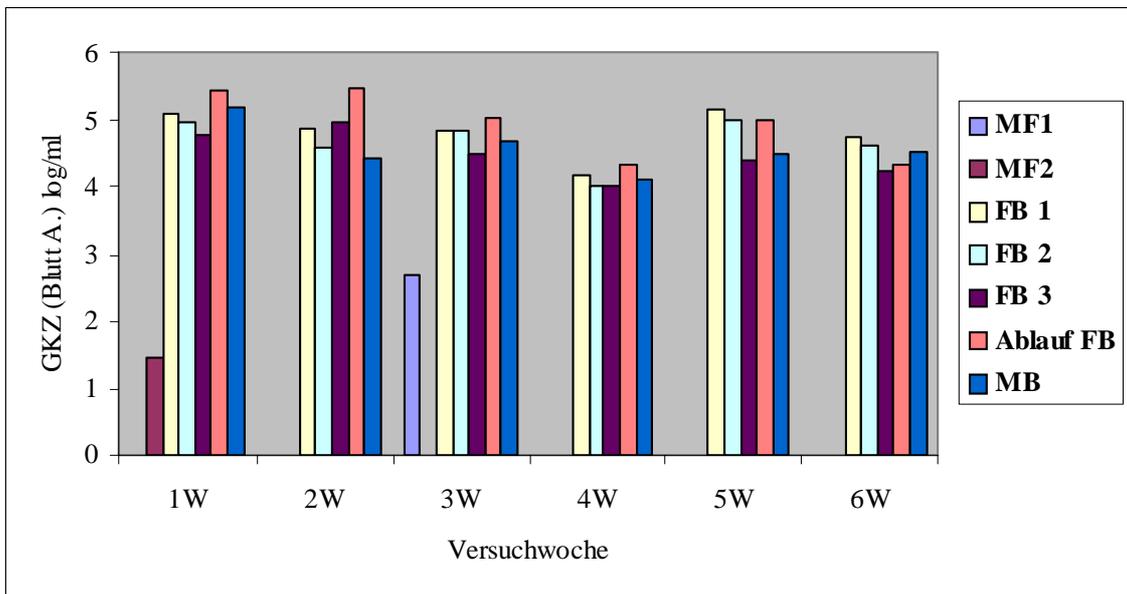


Abbildung 28: Gesamtkeimzahl (Blut-Agar)

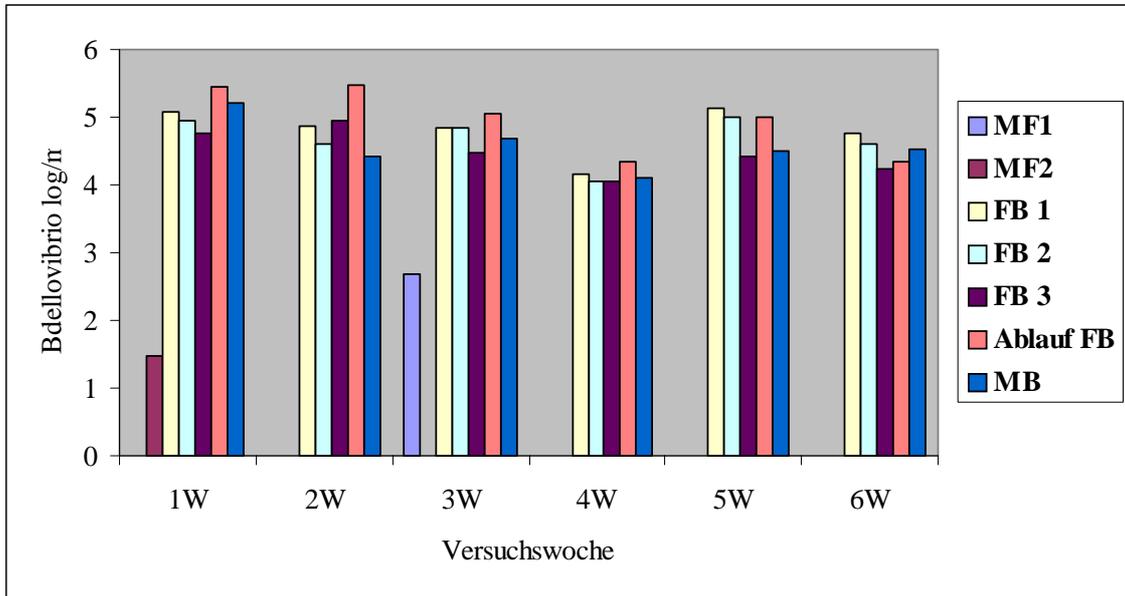


Abbildung 29: Bdellovibrio

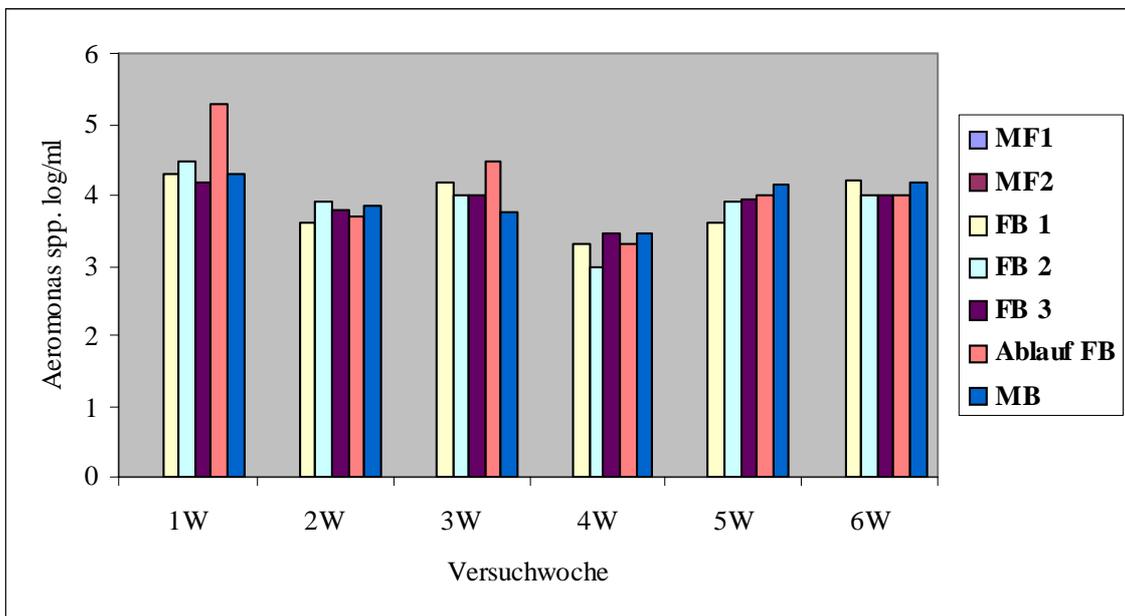


Abbildung 30: Aeromonas spp.

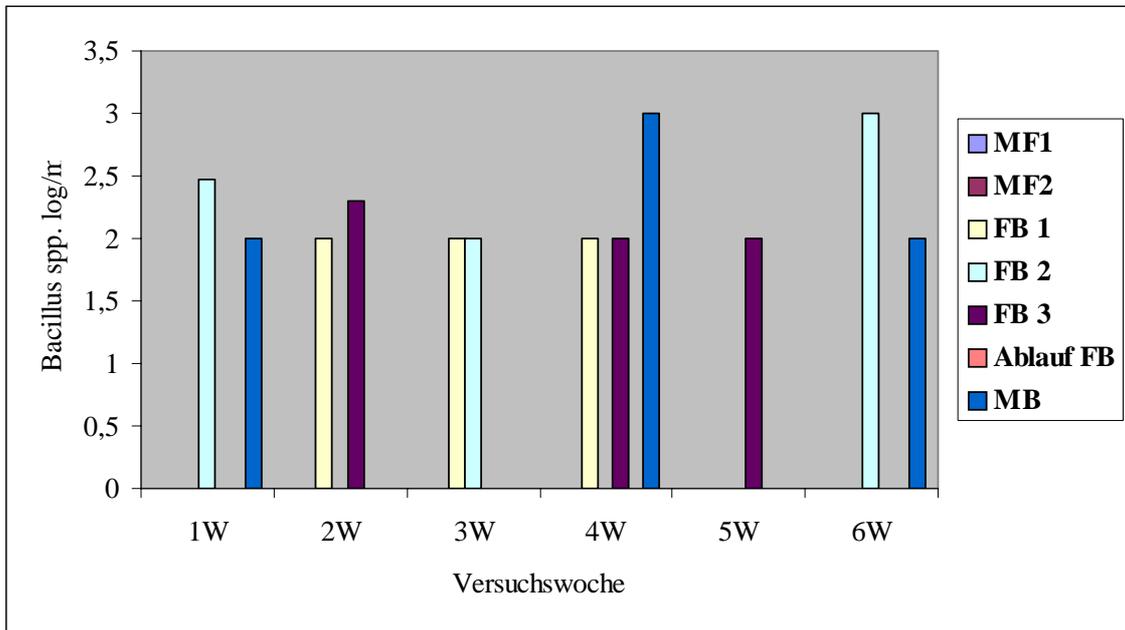


Abbildung 31: Bacillus spp.

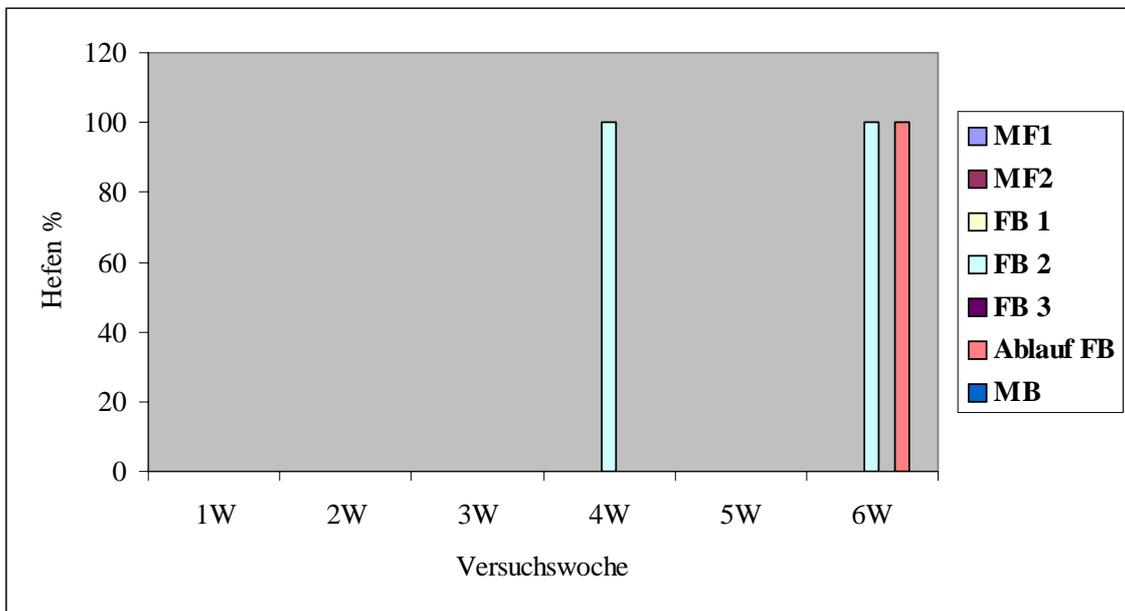


Abbildung 32: Hefen (in %)

FB1

Fischbecken 1

FB2 Fischbecken 2

FB3

Fischbecken 3

KLAN

Kreislaufanlage Neiden

Ablauf FB

Ablauf Fischbecken

MB

Mischbecken

6.7 Immunologische Untersuchungen von Karpfenplasmen

Da die Karpfen sich permanent mit den Mikroorganismen aus dem Wasser und den körpereigenen Mikroorganismen auseinander zu setzen hatten und unsere Untersuchungen erst 8 Wochen nach Versuchsbeginn erfolgten, rechtfertigt sich hier das Zusammenfassen der jeweils 12 Einzeleren und deren statistische Bewertung. Hinsichtlich des Akute-Phase-Proteins CRP, konnte in den vier Anlagen kein Unterschied gefunden werden (Abbildung 33). Hinsichtlich der Antikörper gegen *B. cereus* war ein signifikanter Unterschied zwischen FB3 und KLA-N festzustellen (Abbildung 34). Die Karpfen aus FB2 unterschieden sich hinsichtlich *Aeromonas*-Antikörper signifikant gegenüber FB1 (Abbildung 35). Signifikante Unterschiede traten auch zwischen den Tieren aus FB2 und FB3 zu KLA-N auf (Abbildung 36). Bei *Citrobacter*-Antikörpern deutet sich eine ähnliche Situation an. Die Tiere aus FB1 und KLA-N unterscheiden sich signifikant gegen FB2 und FB3 (Abbildung 37). Die Antikörperkonzentration gegen *P. fluorescens* wies zwischen den Gruppen keine signifikanten Differenzen auf, obwohl die Gruppen FB1 und KLA-N eindeutig niedrigere Titer aufwiesen. Die Antikörperentwicklung gegen Enterokokken, Phospholipase C und Hefen ließ keine signifikanten Differenzen nachweisen.

Dargestellt ist der Median, der 25%-50%-Interquartilbereich und der 10%-90%-Interzentilbereich, ermittelt aus den zusammengefassten Einzelwerten je FB und KLA-N.

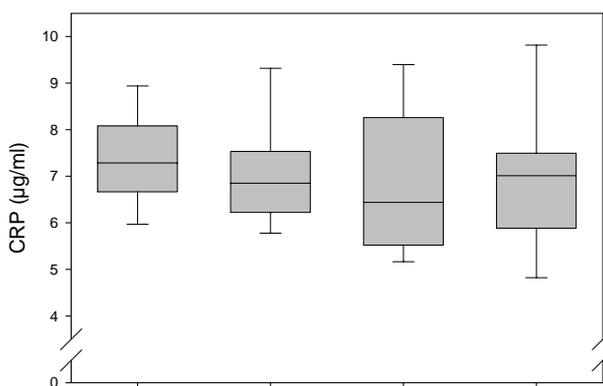
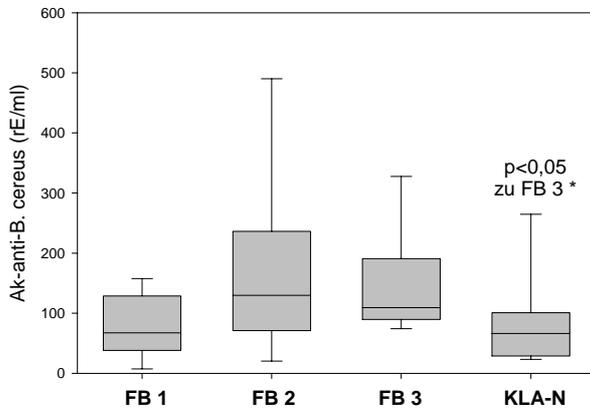


Abbildung 33: Bestimmung der relativen Konzentration an C-reaktivem Protein (CRP) in Heparinplasmen von Karpfen.



* Rangsummentest nach Mann-Whitney (U-Test)

Abbildung 34: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *B. cereus* in Heparinplasmen von Karpfen.

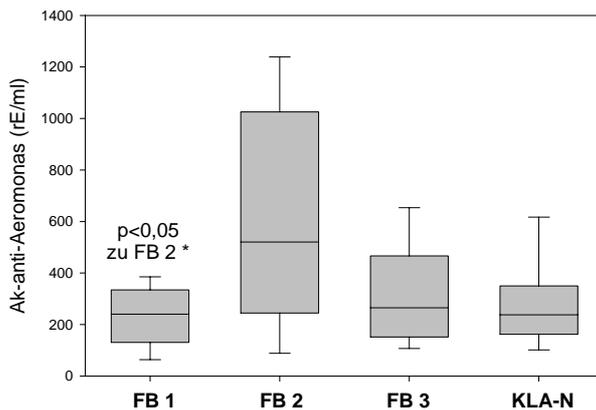
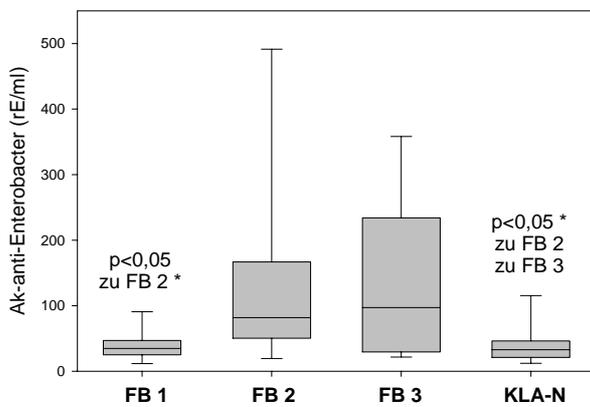
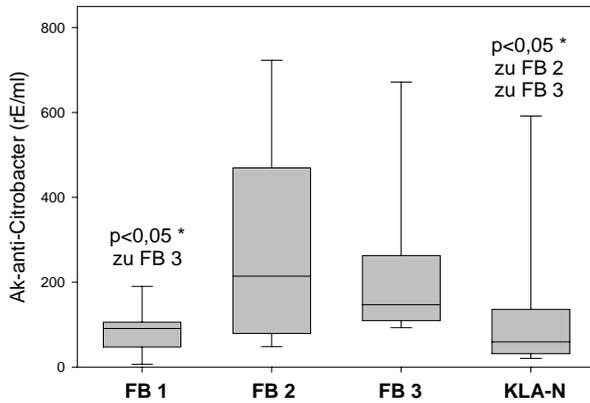


Abbildung 35: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *Aeromonas* in Heparinplasmen von Karpfen.



* Rangsummentest nach Mann-Whitney (U-Test)

Abbildung 36: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *Enterobacter* in Heparinplasmen von Karpfen.



* Rangsummentest nach Mann-Whitney (U-Test)

Abbildung 37: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *Citrobacter* in Heparinplasmen von Karpfen

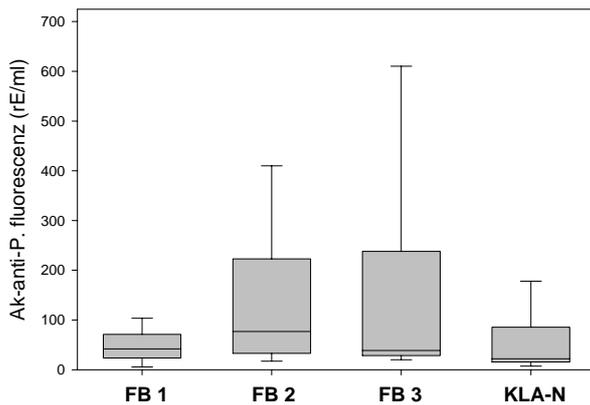


Abbildung 38: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *P. fluorescenz* in Heparinplasmen.

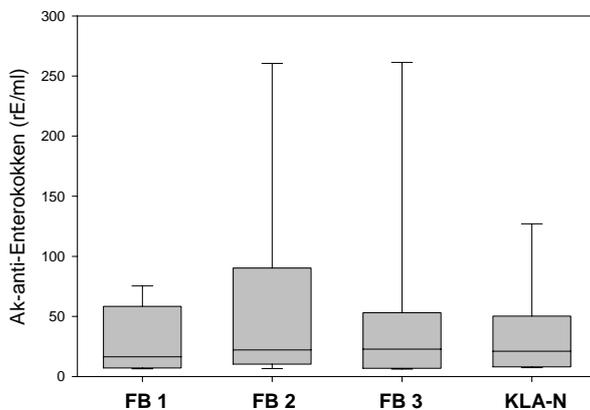


Abbildung 39: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Extraktantigen von *Enterokokken* in Heparinplasmen.

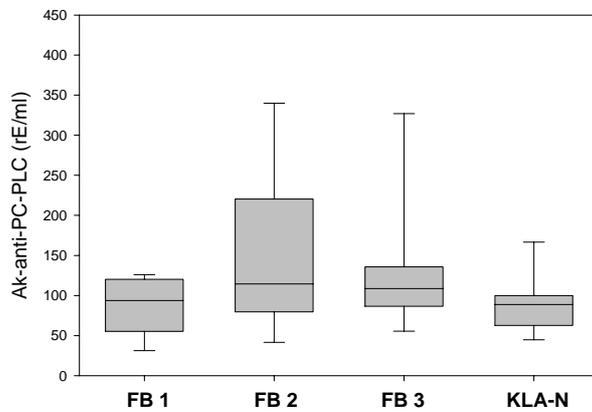


Abbildung 40: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen PC-Phospholipase C von *C. perfringens* (PC-PLC) in Heparinplasma von Karpfen.

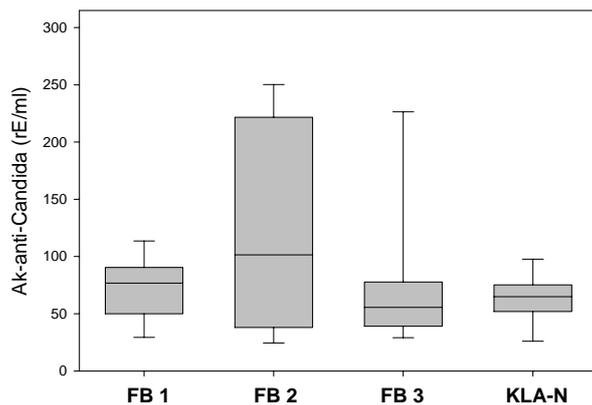


Abbildung 41: Bestimmung der relativen Antikörperkonzentration (Ak, Immunglobulin) gegen Candida-Extraktantigen in Heparinplasma von Karpfen.



7 Zusammenfassung

Die Defizite im Stand der Technik bei derzeitigen Aquakulturkanalanlagen konnten weitgehend beseitigt werden.

Trinkwasser: In einer Versuchsphase von 6 Monaten wurde nur das verdunstete Kreislaufwasser mit Trinkwasser ergänzt. Das täglich zu ergänzende Trinkwasser entsprach einer Menge von weniger als 0,05 % des Kreislaufvolumens.

Energieverbrauch: Eine Aufheizung des zugeführten Trinkwassers war bei diesen geringen Mengen nicht nötig. Der Energieverbrauch für die Membranbioreaktoren wird im Abschlussbericht diskutiert.

Abwasser / Kreislaufwasser: Es ist kein Abwasser angefallen. Die Kreislaufwasserqualität war hervorragend. Die Versuchsanlage mit Biomembrantechnik ermöglicht auch bei ständiger Kreislaufführung ein klares, fast schwebstofffreies, gering mit Nährsalzen und mit Kohlenstoffverbindungen belastetes Produktionswasser. Die Denitrifikation war auch ohne die Zugabe einer externen Kohlenstoffquelle ausreichend.

Krankheitserreger: Eine zu hohe Rückbelastung des zur Produktion benötigten Kreislaufwassers mit Bakterien und Parasiten wurde nicht festgestellt. Dieses wird auch in den umfangreichen Untersuchungen der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig dokumentiert. Insbesondere wurden bisher durch die Antikörperuntersuchungen an den Fischen keine negativen Veränderungen in der Immunaktivität, trotz Besatzdichten über 90 kg/m³, nachgewiesen. Fischtherapeutika wurden nicht angewendet.

Schlamm: Es wurde bisher kein Überschussschlamm abgeführt. Der sedimentierte Schlamm konnte weitgehend in den Membranbioreaktoren stabilisiert und veratmet werden. Eine Geruchsbelästigung konnte für die Umgebung bisher nicht festgestellt werden.

Bakteriologische Untersuchungen des Darminhaltes:

Die aeroben Gesamtkeimzahlen, die Gram-negativen Keimzahlen sowie die hohen *Aeromonas*-Keimzahlen unterscheiden sich bei den untersuchten Tieren nicht signifikant. Bei der Betrachtung der Keimzahlen muss berücksichtigt werden, dass die Tiere aus KLA-N ausschließlich und die Tiere aus FB1 überwiegend sehr klein waren (mitunter 10fach geringeres Körpergewicht als FB2 und FB3), obwohl sie sich altersmäßig homogen mit den anderen entwickelten. Die gefundenen Keimzahlen entsprechen weitestgehend den Normwerten, wie wir sie auch bei warmblütigen Tieren mit einhöhligen Magen und ähnli-



cher Futterbasis vorfinden (Krueger et al., Eur. J. Nutr, 2002, 41, Suppl 1:I/26-I/31). Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Tiere aus den vier untersuchten Fischanlagen keine Differenzen in diesen Parametern aufweisen. Das unterstreicht für vergleichbare Bedingungen in diesen Anlagen.

Bakteriologische Untersuchungen des Wassers:

Gesamtkeimzahlen, Gram-negative Keimzahlen und *Aeromonas*-Keimzahlen liegen zu den untersuchten Zeitpunkten bis auf MF1 und MF2 in vergleichbaren Konzentrationen. Die negativen Keimzahlen bei MF1 und MF2 weisen auf eine im wesentlichen 100%ige Filtrationsleistung hin. Dadurch kann immer wieder sauberes Wasser in das Fischbecken verbracht werden, das dann einen ähnlichen Effekt wie der Frischwasserzusatz in der Kreislaufanlage besitzt.

Immunologische Untersuchungen:

Die Befunde sagen über das CRP ganz eindeutig aus, dass der Belastungsgrad in den vier Fischbecken gleich hoch oder gleich niedrig ist. Die Fische sind ähnlich belastet. Da es für Fische noch keine Referenzwerte für CRP gibt, muss diesem Parameter in weiteren Untersuchungen Beachtung geschenkt werden. In den Untersuchungen zum Antikörpergehalt gegenüber Gram-positiven und Gram-negativen Bakterien aus dem Wasser bzw. aus den Fischen wird deutlich, dass FB1 und KLA-N gegenüber FB2 und FB3 häufig signifikant niedrigere Antikörpertiter aufweisen. Vergleicht man das Körpergewicht der Gruppen zum Untersuchungszeitraum, wird deutlich, dass es sich in beiden Gruppen bis auf eine Ausnahme (FB1, 23.10.2003) um Tiere unter 100g Körpergewicht handelte. Da diese Tiere gleichaltrig zum übrigen Besatz der Fischbecken waren, ist davon auszugehen, dass es sich hier um abgedrängte, unterernährte Tiere handelte, die auch nicht adäquat auf die beeinflussenden Antigene reagieren konnten. Da dieses für die Kreislaufanlage und für eines der Fischbecken mit Mikrofiltration zutrifft, kann man durch die Filtration nicht von einer Verschlechterung der Wasserqualität gegenüber der Kreislaufanlage sprechen.

Fazit

Der Einsatz der Mikrofiltration hat gegenüber der Kreislaufanlage zu vergleichbaren Ergebnissen in den bakteriologischen und immunologischen Parametern geführt. Das Verfahren ist demzufolge geeignet, die Wasserqualität in den Fischbecken zu verbessern. Es ist mit Sicherheit davon auszugehen, dass nur ein Verfahren, welches eine dauerhafte und zuverlässige Senke für Bakterien und Parasiten integriert hat, wie die Biomembrantechnologie, den zukünftigen Anforderungen an die Intensivtierhaltung gerecht werden kann.



8 Ausblick

Hauptziel der Fischzucht ist die Produktion von Fischen entweder als Nahrungsmittel für den Menschen oder für den Besatz natürlicher Gewässer. Die Produktion wird vom Zuwachs des einzelnen Tieres bestimmt, dessen relative Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit während *des Lebens* ständig abnimmt. Es wird normalerweise nur der erste Abschnitt des gesamten Gewichtsbereiches vom Fischzüchter genutzt und der Produktionszyklus wird meistens beendet, ehe die Geschlechtsreife eintritt. Die Fische haben dann oft nicht mehr als 5 bis 10 % ihres Maximalgewichtes erreicht. Diese kurzen Produktionszyklen mit relativ kleinen Fischen, die in hoher Besatzdichte gehalten werden, benötigen oft und viele Setzlinge. Hinzu kommt, dass die Jungfische in den ersten Lebensphasen sehr empfindlich sind und deshalb von höheren Anfangszahlen ausgegangen werden muss, um die Verluste aufzufangen.

2. Phase: Entwurf, Bau und Betrieb eines produktionsnahen Prototypen.

Durch die bisher erreichten Ergebnisse können wir von einem erfolgreichen Abschluss der ersten Projektphase ausgehen. Durch die angespannte Wettbewerbssituation in Deutschland vor allem durch Billigimporte, ist es aber leider fraglich, ob sich diese hochwertige Anlagentechnik mit ihrer unbestritten hervorragenden Reinigungsleistung im realen Wettbewerb für z.B. billige Speisefische, wie Karpfen, für einen Betreiber rechnen wird. Jedoch für hochwertige Speisefische und vor allem in den Anlagen für die Aufzucht dieser Fische (Produktion von Besatzfischen), können höhere Investitionskosten durch die Wasserqualität und die damit verbundenen geringeren Verlustraten ausgeglichen werden.

Die Teichwirtschaften Wermsdorf/Torgau haben aus diesen Gründen bereits jetzt ihr Interesse an einer Aufzuchtanlage für die Produktion von hochwertigen Speisefischen (Besatzfischen) bekundet.

In Abhängigkeit von den Versuchsergebnissen der ersten Phase und den Rahmenbedingungen des Kooperationspartners (Teichwirtschaften Wermsdorf/Torgau) möchten wir in der zweiten Phase einen produktionsnahen Prototypen einer Brut- und Aufzuchtanlage mit einer Behandlungskapazität von ca. 20 m³/h Kreislaufwasser anstreben.



Die Anlage soll für die kontinuierliche und parallele Wasseraufbereitung in vier aufeinander folgenden Aufwuchsphasen von hochwertigen Speisefischen (Raubfischen wie z.B. Zander) in vier verschiedenen Beckenarten geeignet sein.

Die Phasen sind:

1. Die Brutaufzucht,
2. die Inkubation,
3. die Fütterung mit Lebendfutter wie z.B. Tubifex und
4. die Gewöhnung an Trockenfutter.

In diesem Beckenvolumen wird ein Endgewicht von ca. 10 g angestrebt, so dass die Fische in für die Produktion geeignete Becken umgesetzt bzw. als Besatzfische verkauft werden können.

9 Literatur

- [1] Rosenberger, Kraume, Belz: Dezentrale Abwasserreinigung in Hauskläranlage mit dem Membranbelebungsverfahren, *Korrespondenz Abwasser* 2003, 50, 45-51.
- [2] C. Belz, R.-P. Busse: Vorzüge der dezentralen Abwasserreinigung-Erfahrungen und Entwicklungen. In: *Wasser im 21. Jahrhundert – Perspektiven, Handlungsfelder, Strategien*, Deutsche Bundesstiftung Umwelt 2001, 339-348
- [3] ATV-DVWK: Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe Membranbelebungsanlagen, *Korrespondenz Abwasser* 2000, 47, 1547-1553.
- [4] M. Bohle: Zucht und Produktion von Süßwasserfischen, DLG-Verlags-GmbH, 1999
- [5] H.-W. Pfeiffer et al.: Ermittlung des Standes der Technik für Abwässer aus der Fischintensivhaltung unter wirtschaftlich durchführbaren, fortschrittlichen Verfahren für Kreislaufanlagen in der Fischhaltung, Umweltbundesamt, Fachgebiet III 3.4 (P), Februar 2002
- [6] J. Einfeld, et al.: Schneckenbefall bei Nitrifikationstropfkörpern, *Korrespondenz Abwasser* 2004, 51, 44-47



10 Anhang

10.1 Stellungnahme des Instituts für Binnenfischerei e.V., Potsdam Sacrow

INSTITUT FÜR BINNENFISCHEREI e.V.
Potsdam Sacrow



Potsdam Sacrow, Jägerhof am Sacrower See, Post: 14476 Groß Glienicke

12. Feb. 2004

Busse GmbH
z. Hd. Herrn Busse
Zaucheweg 6
04316 Leipzig

Potsdam, d. 11.02.2004

Betreff: **Stellungnahme „Entwicklung und Erprobung einer Versuchsanlage in zwei Phasen zur Biomembranfiltration in Kreislaufanlagen für die Fischzucht“**

Sehr geehrte Herr Busse,
anbei übersenden wir Ihnen unsere Stellungnahme zum o.g. Projekt zur Weiterleitung an Herrn Belz.

Wie Sie dem Schreiben entnehmen können, sind aus produktionsbiologischer und fischpathologischer Sicht nur geringfügige Änderungen zu empfehlen. In Bezug auf die zweite Projektphase wünschen wir Ihnen einen positiven Förderungsbescheid seitens der DBU und viel Erfolg bei der weiteren Bearbeitung des Themas.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr. habil. Knösche
Direktor

Anlagen
Stellungnahme

☎: ++ 49 (033201) 406- 0
☎: ++ 49 (033201) 40 6- 40
E-Mail: institut.fischerei.potsdam@ifb-potsdam.de
<http://www.ifb-potsdam.de>

Direktor: Prof. Dr. habil. R. Knösche
USL-IDNr.: DE 167978173
Steuer-Nr.: 047/141/02953

Deutsche Bank
Konto-Nr. 309 818 300
BLZ: 120 700 24



Stellungnahme zum Projekt AZ 18579 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt „Entwicklung und Erprobung einer Versuchsanlage in zwei Phasen zur Biomembranfiltration in Kreislaufanlagen für die Fischzucht“ aus produktionsbiologischer und fischpathologischer Sicht

Die erste Phase des o.g. Projektes zielte darauf ab, grundlegende Erkenntnisse zur Verwendung des Biomembranfiltrationsverfahrens unter den besonderen Bedingungen einer Kreislaufanlage zur Produktion von Fischen zu gewinnen. Als Untersuchungsobjekte wurden juvenile Karpfen (*Cyprinus carpio*, K₁₋₂, Anfangsstückmassen ca. 140 g) verwendet, welche nach der Installation der Anlage und dem Einfahren des Filters über einen Zeitraum von ca. 200 Tagen in produktionsüblichen Hältereinheiten aufgezogen wurden.

Die gewählten Besatzdichten von etwa 30 kg/m³ entsprechen den Normen zur Aufzucht von K₁₋₂ unter Warmwasserbedingungen und sind eher im unteren Bereich der empfohlenen anfänglichen Bestandsbiomasse anzusiedeln. Für die beabsichtigten Untersuchungen waren sie jedoch ausreichend und boten zugleich eine erhöhte Sicherheit beim möglichen Eintreten von Havarien.

Zur Ernährung der Fische und Erzielung eines Zuwachses kamen während des gesamten Versuchzeitraumes handelsübliche Karpfenfutter (KA 30/15 Ex; KM 28/08) zum Einsatz. Diese entsprachen hinsichtlich ihrer qualitativen Zusammensetzung den Anforderungen, welche an vollwertige Karpfenfuttermittel zu stellen sind, als Alleinfuttermittel jedoch einen etwas zu geringen Eiweißgehalt aufweisen. Die tägliche Futtermenge wurde für jede Aufzuchteinrichtung entsprechend der jeweils aktuellen Bestandsmasse festgelegt und variierte zwischen einem und 2,5 %. In Bezug auf die verabreichte Futtermenge ist festzustellen, dass zum Erreichen eines maximalen Zuwachses, welches häufig ein wesentliches Ziel der Aquakultur darstellt, geringfügig höhere Futtergaben je Zeiteinheit erfolgen. Für zukünftige Versuchsdurchführungen wäre zu beachten, dass unter Produktionsbedingungen der prozentuale Anteil der Futtermenge bezogen auf die aktuelle Fischmasse mit zunehmender Körpergröße der Tiere abnimmt. In jedem Fall bleibt jedoch festzustellen, dass die Fische in der ersten Projektphase ausreichend gefüttert wurden um die normalen Lebensfunktionen aufrecht zu erhalten und darüber hinaus auch einen gewissen Zuwachs zu erzielen. Der Durchschnittswert des täglichen Zuwachses entspricht einem Niveau, welches auch unter normalen Produktionsbedingungen erzielt wird. Bei Optimierung des Fütterungsregimes wäre unter den gegebenen Bedingungen jedoch ein noch höheres Produktionsergebnis möglich gewesen.



Die im Rahmen der Versuchsdurchführung gemessenen Wasserparameter erfüllten in ihrer Gesamtheit die physiologischen Ansprüche von Karpfen bezüglich der Qualität des Produktionswassers. Die Werte der Wassertemperatur befanden sich nahezu ausschließlich im für diese Fischart definierten Optimum. Abrupte Temperaturschwankungen, welche bei poikilothermen Tieren Schädigungen verursachen können, traten nicht auf. Die am Ablauf des Fischbehälters 2 gemessenen Sauerstoffwerte lagen während der gesamten Produktionsphase im optimalen Bereich und erfüllten somit ebenfalls die physiologisch notwendigen Anforderungen. Der pH-Wert schwankte im Projektzeitraum zwischen 5,0 und 8,3 und lag in der Regel im unteren eingeschränkten Bereich. Zu verschiedenen zeitlichen Abschnitten wurden allerdings auch pH-Werte ermittelt, welche unterhalb des empfohlenen Produktionsbereiches lagen. Ein langandauerndes Absinken des pH auf Werte unterhalb 6,0 sollte zukünftig vermieden werden. Das von Fischen als Stoffwechselprodukt ausgeschiedene Ammonium befindet sich im Wasser in einem temperatur- und pH-Wert-abhängigen Gleichgewicht mit dem stark fischtoxischen Ammoniak. Insbesondere aufgrund des geringen pH-Wertes kann eingeschätzt werden, dass im Verlaufe der Versuchsdurchführung keine nennenswerten Ammoniakgehalte im Produktionswasser auftraten. Die Konzentration salpetriger Säure überstieg gelegentlich die empfohlenen Grenzwerte. Es sollte versucht werden, durch eine Anhebung des pH bzw. Optimierung der Nitrifikations-/Denitrifikationsprozesse einer dauerhaften Konzentrationserhöhung an salpetriger Säure entgegen zu wirken.

Im Rahmen der ersten Projektphase traten verschiedene makroskopisch sichtbare Schädigungen an den Fischen sowie diverse Verluste auf. Die Ursache der festgestellten Geschwüre war jedoch mechanischer Natur. Aufgrund der insgesamt guten Umweltbedingungen konnten die Schäden nach Beseitigung der die Verletzungen hervorrufenden Ausrüstungsteile problemlos verheilen. Die aufgetretenen Verluste an den Versuchstagen 126 und 132 waren auf ein defektes Ventil zurück zu führen und stehen damit in keinem direkten Zusammenhang zu den allgemeinen Produktionsbedingungen. Die Verlustrate von insgesamt nur 13 % ist gut.

Dr. Michael Pietrock



Teil B: Bericht zur Vorbereitung der Projektphase 2:

„Entwurf und Planung einer produktionsnahen Pilotanlage für den Standort Torgau-Neiden“

Zeitraum: 01.04.2004 bis 31.10.2004

- 1. Randbedingungen und Verlauf der Projektphase 2**
- 2. Planungsergebnisse**
- 3. Finanzierungshintergrund und erforderliche Konzeptanpassung**



1. Randbedingungen und Verlauf der Projektphase 2

Die erreichten Ergebnisse belegen einen erfolgreichen Abschluss der ersten Projektphase. Durch die angespannte Wettbewerbssituation in Deutschland vor allem durch Billigimporte, ist es aber leider fraglich ob sich diese hochwertige Anlagentechnik mit ihrer unbestritten hervorragenden Reinigungsleistung im realen Wettbewerb für z.B. billige Speisefische wie Karpfen für einen Betreiber rechnen wird.

Jedoch für hochwertige Speisefische und vor allem in den Anlagen für die Aufzucht dieser Fische (Produktion von Besatzfischen) können höhere Investitionskosten durch die Wasserqualität und der damit verbundenen geringeren Verlusten ausgeglichen werden.

Die Teichwirtschaften Wermsdorf/Torgau hatten aus diesen Gründen nach Abschluss der 1. Projektphase ihr Interesse an einer Aufzuchtanlage für die Produktion von hochwertigen Speisefische (Besatzfischen) bekundet.

In Abstimmung mit dem Kooperationspartner und zukünftigen Investor (Teichwirtschaften Wermsdorf/Torgau) erfolgte für die zweite Phase des Projektes ab April 2004 die Planung einer produktionsnahen Prototypanlage einer Brut- und Aufzuchtanlage mit einer Behandlungskapazität von ca. 25 m³/h Kreislaufwasser.

Die Anlage war für die kontinuierliche und parallele Wasseraufbereitung von vier aufeinander folgenden Aufwuchsphasen in vier verschiedenen Beckenarten von hochwertigen Speisefischen (Raubfischen wie z.B. Zander) ausgerichtet.

Die Phasen sind:

1. Die Brutaufzucht,
2. die Inkubation,
3. die Fütterung mit Lebendfutter wie z.B. Tubifex und
4. die Gewöhnung an Trockenfutter.

In diesem Beckenvolumen wird ein Endgewicht von ca. 10 g angestrebt, so dass die Fische in für die Produktion geeignete Becken umgesetzt bzw. als Besatzfische verkauft werden können.

Projektverlauf:

Im Zeitraum April bis Oktober 2004 erfolgte die verfahrenstechnische Konzipierung, technische Auslegung und Detailplanung dieser Kreislaufanlage für den Standort Tor-



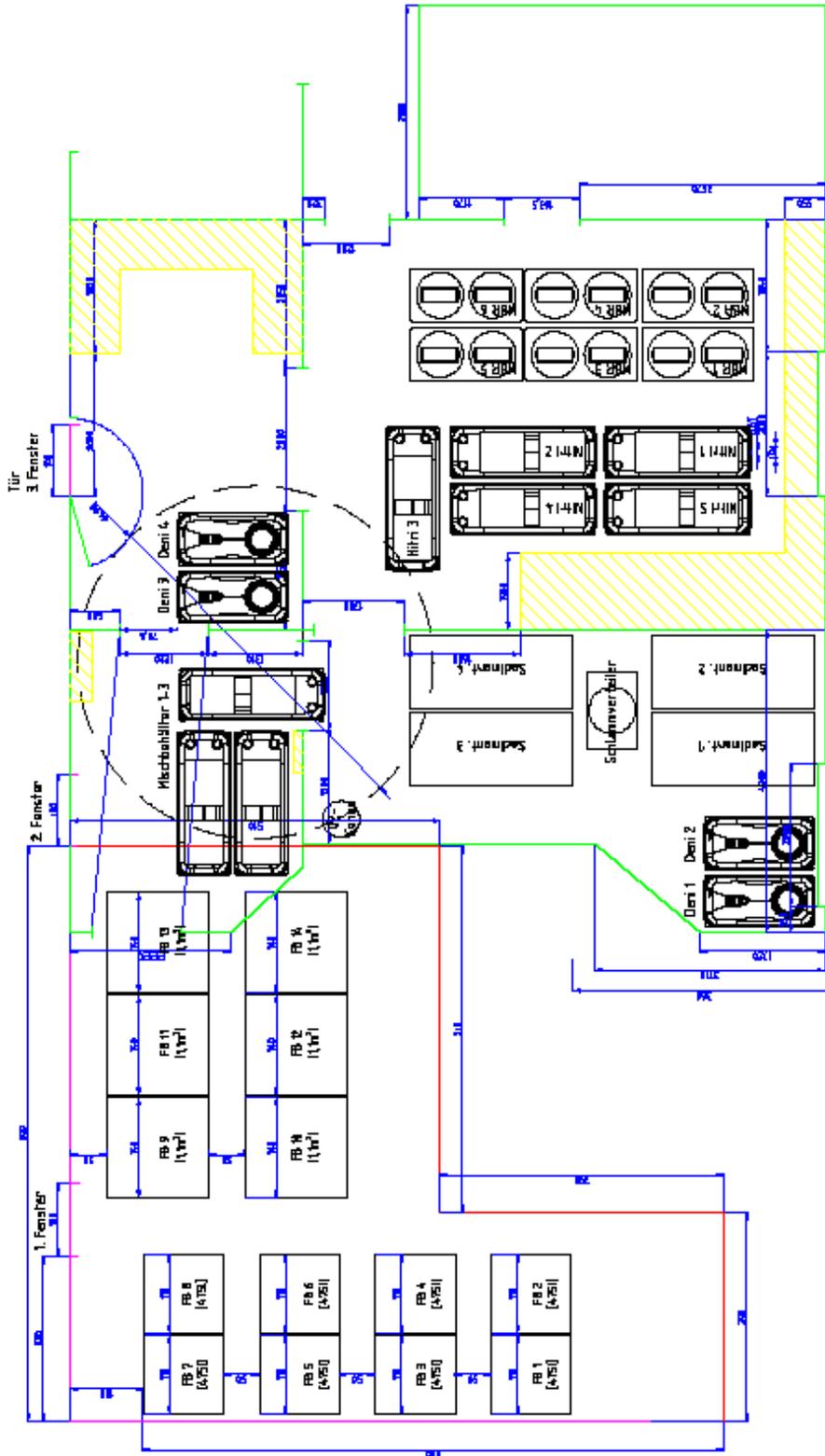
gau/Neiden in Anpassung an die vorhandene Fischzuchtanlage des Fischzuchtbetriebes Torgau-Wermsdorf.

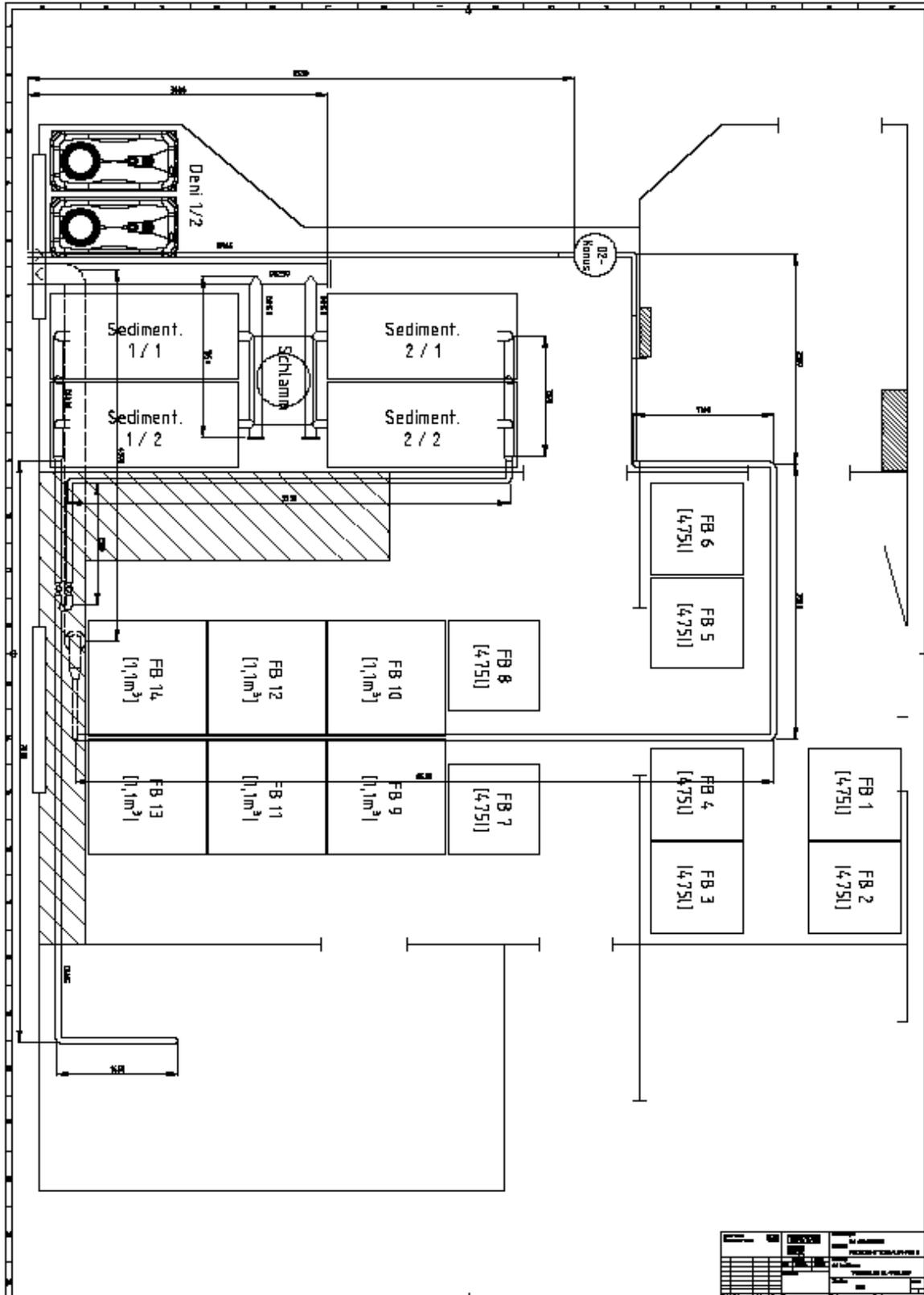
Die beengten räumlichen Bedingungen erforderten die Aufteilung der Kreislaufanlage in 2 Bereiche, wobei zunächst die Abwasserbehandlung als Containeranlage im Außenbereich konzipiert wurde. Die technische Lösung setzt vollständig das Verfahren und die Erkenntnisse aus der 1. Projektphase um.

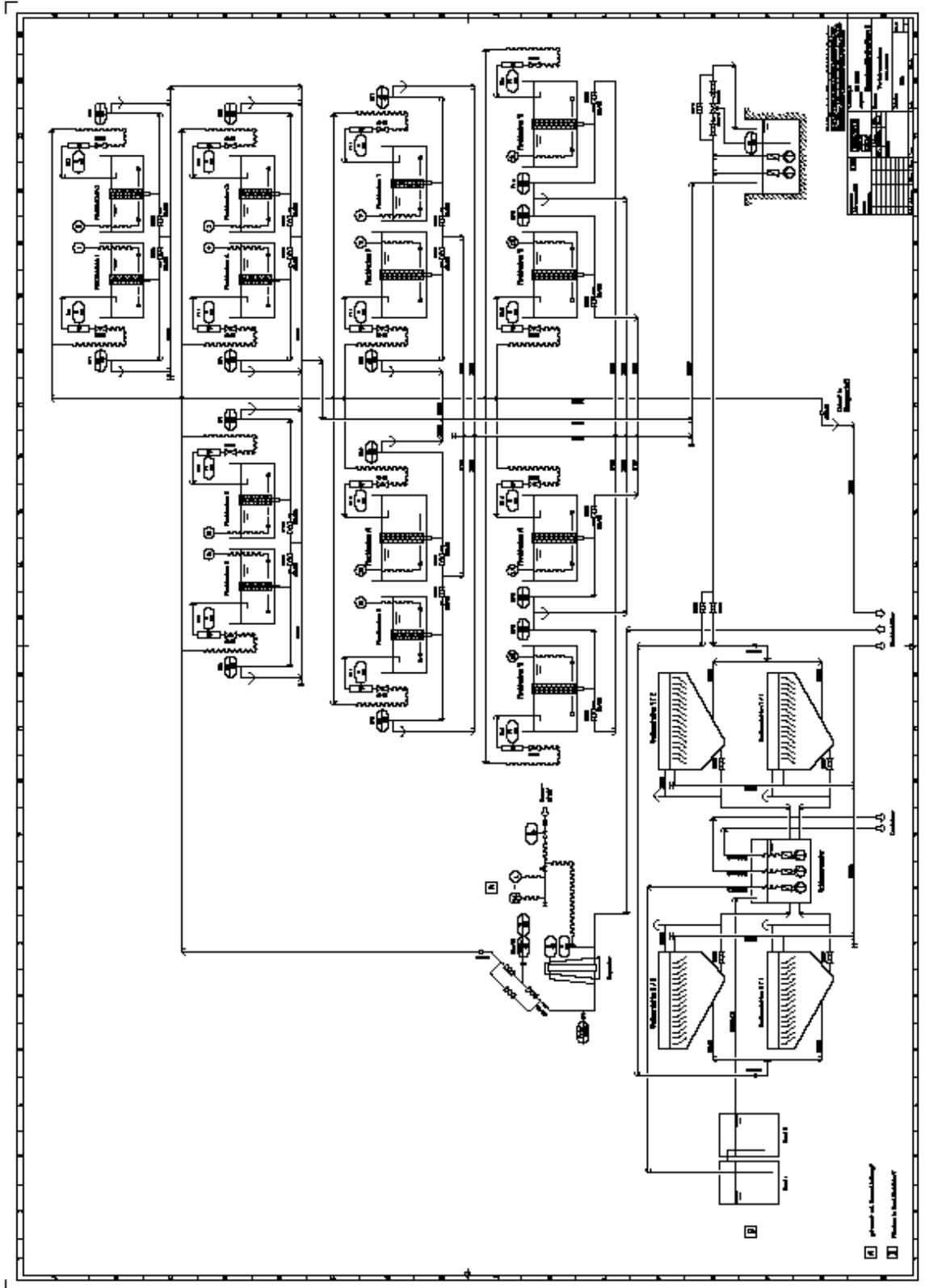
Bei der weiteren Bearbeitung wurde das Konzept der Containeraufstellung auf Grund der Problematik des Winterbetriebes aufgegeben und eine Aufstellung der Aufbereitungsanlage im Erdgeschoß des Gebäudes planerisch umgesetzt.

2. Planungsergebnisse

- Aufstellungsplan in zwei Ebenen
- Aufstellung in einer Ebene
- Technologisches Schema









3. Finanzierungshintergrund und erforderliche Konzeptanpassung

Gleichzeitig mit der Detailplanung erfolgte durch den Fischzuchtbetrieb die Antragstellung auf Förderung des Investitionsvorhabens beim Landwirtschaftsministerium des Landes Sachsen im Bereich Innovationsförderung. Die im DBU Projekt enthaltenen Sachkosten erlaubten keine Realisierung einer Anlage in dieser Größenordnung. Die ermittelten Gesamt-Investitionskosten und das verbleibende Restrisiko veranlassten den Investor die Investition von einer anteiligen staatlichen Förderung abhängig zu machen.

Nach mehrmonatiger Prüfung des Antrages erfolgte im Januar 2005 die Ablehnung der Förderung für die beantragte Lösungsvariante durch das SMUL.

Dennoch signalisierte der Fischzuchtbetrieb sein weiterhin bestehendes Interesse an einer derartigen Kreislaufanlage für die er neue Lösungsansätze und Finanzierungsquellen suchte.

Im April 2005 wurden die von November 2004 bis März 2005 unterbrochenen Entwicklungsarbeiten an der Umsetzung der 2. Projektphase durch die Busse GmbH wieder aufgenommen. Der Fischzuchtbetrieb hatte nach Gewinnung eines Kooperationspartners und in Aussichtstellung einer Investitionsförderung durch den Freistaat Sachsen ein neues, wesentlich größeres Anlagenkonzept an einem neuen Standort in Thierbach in Angriff genommen.

Ab April 2005 erfolgte die Erarbeitung des verfahrenstechnischen Grundkonzeptes einer Kreislaufanlage in einer modernen 2.000 m² großen früheren Fischzuchtthalle in Thierbach bei Leipzig.

Zusätzlich zu dem durch die Busse GmbH innerhalb des DBU Projektes entwickelten Kreislaufverfahren mit Membrantechnik (Patent Busse) sollte die vom Investor entwickelte Technologie einer neuartigen biologischen Abwasserreinigung mittels spezifischer Mikroorganismen (Patent v. Bresinski) zur Anwendung kommen. Für dieses Verfahren entwickelte die Busse GmbH ebenfalls technische Lösungen zur Anwendung der Mikrofiltrationstechnik zur Zurückhaltung und Abtrennung der Mikroorganismen.



Dieses neuartige Reinigungsverfahren wurde im Rahmen des DBU-Projektes in Testanlagen der Busse GmbH im Zeitraum Juni bis August 2005 in Feldversuchen im Fischzuchtbetrieb von Bresinski in Ölschau bei Leipzig erprobt und in eine anwendbare technische Lösung überführt.

Die Besonderheit dieses neuen Verfahrens des Investors vereint die Vorteile der vollständigen Kreislaufschließung durch Einsatz von Membrantechnik unter Anwendung hocheffizienter Mikroorganismen zur Reinigung des Abwassers bereits innerhalb der Fischzuchtbecken unter erheblicher Minimierung des Ausrüstungsaufwandes.

Aus den erarbeiteten Grundlagen wurde gemeinsam mit dem Fischzuchtbetrieb die Aufgabenstellung für die Konzipierung und Planung einer abwasserfreien Kreislaufanlage für die Produktion von Brut und Setzlingen erarbeitet.

Der Gesamtinvestitionsaufwand wurde vom Investor auf 2,1 Mio. Euro berechnet.

Die Busse GmbH beendete im Oktober 2005 die Forschungsarbeiten am DBU-Projekt.



Teil C: Bericht zur Projektphase 2:

„Realisierung einer Aquakulturanlage für Brut und Setzlinge in Thierbach durch die Fisch und Wasser Oelzschau GmbH“

Zeitraum: 01.11.2005 bis 31.3.2007

- 1. Rahmenbedingungen für das Investitionsvorhaben**
- 2. Anlagenkonzept**
- 3. Bewertung der ersten Betriebsphase**
 - 3.1. Verfahrensvergleich als Praktikumsarbeit**
 - 3.2. Betriebswirtschaftliche Daten**
- 4. Bedeutung der Projektergebnisse für Aquakultur und Umweltschutz**



1. Rahmenbedingungen für das Investitionsvorhaben

Im Oktober 2005 wurde die technologische Entwicklung des Gesamtanlagenkonzeptes für die Fischzuchtanlage durch die Busse GmbH abgeschlossen. Parallel zu diesen Arbeiten erfolgten durch den Investor „Fisch und Wasser GmbH“ ein Antragsverfahren zur Investitionsförderung und ein Baugenehmigungsverfahren zur Realisierung des Investitionsvorhabens. Das für die Förderung zuständige Landesamt in Sachsen bewilligte die Förderung der Errichtung einer innovativen Aquakulturanlage für Brut und Setzlinge in Thierbach.

Das Investitionsvorhaben wurde ausgeschrieben und die Realisierung des Vorhabens auf Grund der nachgewiesenen fachlichen Kompetenz an die Busse GmbH als Generalunternehmer vergeben.

Der GU-Vertrag wurde im Dezember abgeschlossen und mit dem Bau nach Vorliegen der vorläufigen Baugenehmigung noch im Dezember 2005 begonnen.

Die vorgesehene Bauzeit betrug ca. 10 Monate.

Die Anlagenrealisierung ist nicht Gegenstand des DBU-Förderprojektes.

2. Anlagenkonzept

Das Investitionsvorhaben umfasst die Ertüchtigung der Infrastruktur der bestehenden Betriebshalle von ca. 2.000 m², unter Realisierung moderner Wärme- und Energieversorgungsanlagen, sowie die Errichtung von Kreislaufanlagen zur Fischeaufzucht in Kombination mit Kreislaufwasserbehandlungsanlagen unter Einsatz der Membrantechnologie.

Die Fischeaufzuchtanlagen sind unterteilt in:

- 6 Glasanlagen je 6 m³ Wasserinhalt verteilt auf je 12 Glasbecken
- 10 Langstrombeckenanlagen je 7 m³ Wasserinhalt in einem Langstrombecken
- 6 Rundbeckenanlagen je 20 m³ Wasserinhalt in einem Rundbecken
- 1 Nebenanlage je 1 m³ Wasserinhalt in 3 Rundbecken
- 2 Brutanlagen je 5 und 8 Becken und Zugergläsern

Diese Anlagen arbeiten durch den Einsatz von Membranreinigungsverfahren weitgehend abwasserfrei.



Bereich der 6 Glasanlagen

Es kommen dabei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz:

- Verfahren 1 analog Phase 1 mit KUBOTA Membranen in Glasanlage 6 (GA6)
- Verfahren 2 mit Plattenmembranen und zusätzlicher Ultrafiltration in GA 5
- Verfahren 3 mit Biomasseabbau durch Bakterien in der Mikrofiltrationsanlage und Abtrennung der Bakterien durch ZENA (EIDOS) Membranen in GA1 bis GA 4
- Verfahren 4 mit Biomasseabbau durch Bakterien im Fischbecken und Abtrennung der Bakterien durch ZENA (EIDOS) Membranen in Langstromanlagen 1 bis 10 und Rundstromanlagen 1 bis 6



Glasanlage 5 (Verfahren *BusseMT*)



Ultrafiltrationseinheit der Glasanlage 5



Glasanlage 6 (Verfahren Busse-MF mit Kubota-Membranen)



10 Langstrombecken-Anlagen f. Setzlinge



eine von 6 Rundstrombecken-Anlagen (rechts im Bild Membranfilter)



Teil der Brutanlage



Brutanlage



Glasanlage 1 mit „Kleinstfischen“



Bei der Errichtung der Anlagen wurde bei den zugehörigen Nebenanlagen durch Einsatz von thermischer Solartechnik gekoppelt mit einem Blockheizkraftwerk auf moderne alternative energietechnische und umwelttechnische Lösungen gesetzt.



Luftkompressoren mit Abwärmenutzung



Solaranlage zur Wärmeengewinnung



Alle Sozialabwässer und eventuell anfallende Abwässer aus den Anlagen werden einer BUSSE-MF Kläranlage mit Mikrofiltrationstechnik zugeführt, die dieses Abwasser wieder zu Brauchwasser aufbereitet oder entsprechend der vorliegenden wasserrechtlichen Genehmigung in den Vorfluter abgibt.



Abwasserbehandlungsanlage **Busse-MF** für Sozial und Produktionsabwasser

Aufstellungsplan der Fischaufzuchtanlagen (siehe folgende Seite).



3. Bewertung der ersten Betriebsphase

In der Endphase der Realisierung wurde schrittweise mit der Inbetriebnahme der 22 einzelnen Aquakulturanlagen begonnen, so dass mit der Fertigstellung der Anlage im November 2006 die Voraussetzungen zur Übernahme von Kleinfischen in die Glasanlagen geschaffen waren.

Nach der schrittweisen Systeminbetriebnahme wurde im Januar 2007 erstmals die Produktion von Karpfenbrut begonnen.

Die Kapazität der bestehenden Anlagen wird zurzeit noch nicht vollständig genutzt, da natürlich Beckenkapazität für die begonnene Aufzucht freigehalten werden muss.

Die realisierten technischen Anlagen erfüllten im Wesentlichen die Anforderungen an die für einen Fischzuchtbetrieb enorm wichtige Zuverlässigkeit und Ausfallfreiheit. Anfangs bestehende Probleme bei der Arbeitsluftversorgung und am Blockheizkraftwerk konnten von den realisierenden Unternehmen inzwischen beseitigt werden.

3.1. Verfahrensvergleich als Praktikumsarbeit

Wie eingangs beschrieben wurden in der Gesamtanlage unterschiedliche Kreislaufverfahren realisiert, deren Bewertung für den Fischzuchtbetrieb von besonderer Bedeutung war. Aus diesem Grund übernahm ein Praktikant der TU Dresden unter Anleitung des Projektleiters DI Belz (Busse GmbH) die mehrwöchige analytische Auswertung und Bewertung von 2 Teilanlagen.

Der Praktikumsbericht ist bei Interesse einsehbar und liegt an der TU Dresden, sowie bei der Busse GmbH vor.

Die Schlussfolgerungen des Praktikanten aus seiner Arbeit sind im folgenden Abschnitt zusammengefasst.



Praktikumsbericht - Schlussfolgerungen

Der durchgeführte Anlagenvergleich hat sowohl die Stärken, als auch die Schwächen beider Anlagen aufgezeigt.

Es kann allgemein festgehalten werden, dass beide Anlagentypen eine Daseinsberechtigung haben und der Nutzer (i.A. der Fischwirt/ -züchter), je nach Anwendung, selbst die Entscheidung pro oder contra einer der beiden Anlagentypen treffen sollte.

Nachfolgend sind Stärken und Schwächen der Anlagen in Tabelle 4.1 gegenübergestellt:

	Glasanlage 3	Glasanlage 5
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Wartungsaufwand • Geringe Abhängigkeit von der Druckluftversorgung • Kürzere Rohrleitungsführung und somit weniger Fläche für Biomassewachstum • Geringes Fehlerpotenzial durch elektrische Steuereinheiten • Anlage ist einfach und überschaubar 	<ul style="list-style-type: none"> • Nahezu schwebstofffreies Wasser realisierbar • Keine Abhängigkeit von externer C-Quelle • Reinigung der Aufwuchsträger in der Biologie durch Druckluft möglich • Einstellmöglichkeiten hinsichtlich der Teilströme über die Verfahrenstufen je nach Anlagenbelastung
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängigkeit von externer C-Quelle bei Betrieb der Eidosfiltration • Kaum Einstellmöglichkeiten bei wechselnden Belastungen • Reinigung der Aufwuchsträger in der Biologie nur durch Demontage möglich • Erhöhter Messaufwand durch Überwachung der heterotrophen Mikroorganismen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Wartungsaufwand durch Spülungen der Ultrafiltration • Starke Abhängigkeit von der Druckluftversorgung • Anlage ist für Laien schwer überschaubar • Mehr Rohrleitungen und somit mehr Fläche für Biomassewachstum

Tabelle 0.1: Stärken und Schwächen der Anlagen

Aufgetretene Betriebsprobleme wurden im vorliegenden Bericht nicht gesondert diskutiert, da diese stets zeitnah behoben werden konnten und meist nicht anlagenspezifisch (Probleme bei der Druckluftversorgung, Pumpendefekte, etc.) waren.

Der Wasserverbrauch der Anlagen kann trotz unterschiedlicher Auffassungen der an der Untersuchung beteiligten Parteien als gleich angegeben werden. Das Ziel einer weitgehend vollständigen Schließung des Wasserkreislaufes in den Anlagen wird damit erreicht.

Problemen hinsichtlich Ablagerungen und Faulprozessen in den Ablaufleitungen sollte bei zukünftigen Projekten konstruktiv begegnet werden. Ansatzpunkte sind dabei in einer Veränderung des Leitungsgefälles / Leitungsführung oder einer Vereinfachung der Reinigung zu sehen. Eine zusätzliche Belastung der Reinigungsstufen durch Fäulnisprozesse ist in jedem Falle zu vermeiden, da die Anlagen nur so beste Reinigungsleistungen erzielen werden.



Darüber hinaus sind Langzeitstudien für beide Anlagen wünschenswert, um Betriebsprobleme bei längeren Laufzeiten der Anlagen ermitteln und beheben zu können. Die Versuchsdauer der vorliegenden Untersuchung von 44 Tagen ist dafür als unzureichend anzusehen.

Die Aufgaben der Kreislaufwasserführung und somit die Schonung wichtiger Umweltressourcen werden durch beide Anlagentypen weitgehend erfüllt und bilden daher eine solide Grundlage für weitere Forschungsvorhaben in diesem Bereich.

Sebastian Beetz



3.2. Betriebswirtschaftliche Bewertung der Gesamtanlage:

Entsprechend den Angaben des Fischzuchtbetriebes wurden folgende Werte für die Gesamtanlage festgestellt:

Verbräuche:	Menge	11/ 2006 bis 04/2007	
		in	Mengen
Wasserverbrauch	m3	980	1.176,-
- davon Erstfüllung		280	
- davon Erstspülung		240	
- davon Betrieb		420	
- davon Biomasse		40	
Luftverbrauch	kwh	64.000	6.400,-
- Druckluft 4 bar			
Sauerstoffverbrauch			
- davon flüssig	m3	5	1.100,-
Wärmeverbrauch			
- als Gasverbrauch	l	10500	4.095,-
ELT-Verbrauch	kWh	76.000	7.600,-
ELT- Einspeisung	kWh	630	75,60
BHKW - ab 15.04.2007			
Futtermittelverbrauch	kg	470	1.400,-
Biomasseanfall	m3	40	---
- davon verwertet (Biogas)	m3	40	---
Fischtherapeutika		keine	---
Erlöse aus Fischverkauf	kg	Eigennutzung	---
Bestand Fische per 30.04.07 (voraussichtl. Erlös)	Stück	Störsetzlinge: 90.000	---
		Karpfensetzli. 3 Mio	---
		Koissetzlinge. 800	---
		Tilapiensetzli.: 5000	---

Erläuterung und Bewertung:

- Wasserverbrauch: im Betrieb nur durch Verdunstung der offenen Becken
- Luftverbrauch: an Mikrofiltrationen und Glasbeckennotbelüftung
- Sauerstoffverbrauch zur Anreicherung des Wassers zum Fischbecken
- Wärmeverbrauch zur Temperaturhaltung im Fischbecken



- ELT-Verbrauch Antriebe ohne Beleuchtung und ohne Nebenanl.
- ELT-Einspeisung BHKW erst ab 15.04.2007 in Betrieb
- Futtermittelverbrauch bezogen auf Fischmasse
- Biomasseanfall Übergabe an Biogasanlage zu Versuchen
- Fischtherapeutika keine notwendig
- Erlöse aus Fischverkauf Verwertung der Setzlinge in Eigenanlagen

Zur Bewertung der vorstehenden Daten ist wichtig zu wissen, dass die Wasser-, Energie-, und Gaskosten im Umfang der voll in Betrieb befindlichen Systeme angefallen sind, die Nutzung der Becken zu Produktionszwecken jedoch in Folge der schrittweisen Inbetriebnahme nur teilweise erfolgte. Die in 6 Monaten aufgelaufenen Betriebskosten lassen sich jedoch durch die Erlöse aus dem aktuellen Bestand, auch wenn dieser fast ausschließlich der Eigennutzung im Unternehmen zugeführt wird, abdecken.

Das bestehende Optimierungspotential im Betrieb der Anlagen und die vorliegenden Daten lassen absolut die Einschätzung zu, dass ein profitabler Betrieb dieser Investition sicher ist.

4. Bedeutung der Projektergebnisse für Aquakultur und Umweltschutz

Ende der neunziger Jahre wurde durch das Umweltbundesamt zur Entlastung der Gewässer der Einsatz der Membrantechnologie angeregt, wobei zu den Problembereichen auch die Intensivfischzucht in Kreislaufanlagen zählte.

Aufbauend auf einer Entwicklung und den Erfahrungen im Bereich der Reinigung von häuslichem Abwasser durch Einsatz der Membrantechnologie nahm die Busse GmbH 1999 in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt die Anwendungsentwicklung der Membrantechnologie in der Aquakultur auf.

Mit der Zusage der Förderung einer Pilotanlagenentwicklung durch die DBU wurde die begonnene Technologieentwicklung fortgeführt und in einer ersten produzierenden Prototypanlage in einem Fischzuchtbetrieb umgesetzt. Die im DBU-Projekt geplante Realisierung einer produktionsnahen Pilotanlage in einer Größenordnung von ca. 25 bis 50 m³ Kreislaufmenge wurde aus verschiedenen Gründen nicht realisiert. Durch Engagement,



Überzeugungskraft und mit guten Entwicklungsergebnissen gelang es der Busse GmbH einen Fischzuchtbetrieb als Investor für einen wesentlichen größeren Anlagenkomplex zu gewinnen und in einer verfahrenstechnischen Gemeinschaftsarbeit neuartige Technologien in der Abwasserreinigung in der Intensivfischzucht erfolgreich zur Anwendung zu bringen.

Eine der wichtigsten Zielstellungen war die Verringerung der Gewässerbelastung durch Abwasser aus den Intensivfischzuchthalungen. Diese Zielstellung konnte durch den konsequenten Einsatz der Membrantechnologie voll erfüllt werden. Darüber hinaus ist sogar eine Betriebsführung völlig abwasserfrei möglich. Die im Baugenehmigungsverfahren gestellten Umweltverträglichkeitsanforderungen beinhalteten höchste Anforderungen für den Gewässerschutz. Selbst das Abwasser aus Sozialräumen, dem Labor und aus Bodenabläufen der Fischzuchthalle wird erst nach intensivster Reinigung über eine Membrankläranlage (Busse-MF) in den Vorfluter abgeleitet.

Die neu entwickelten Verfahren der beteiligten Partner brachten auch hinsichtlich des Energieverbrauches deutliche Verbesserungen. Der Wärmebedarf die Aufheizung von Frischwasser zum Ausgleich durch den Abwasserverlust entfällt bei diesen abwasserfreien Kreislaufanlagen völlig. Es bleibt die Aufheizung der Betriebshalle auf die optimale Temperatur und die wird durch die Anwendung von alternativen Energiequellen wie Solarthermie und Kraft-Wärmekopplung optimal unterstützt. Dennoch verbleiben noch erhebliche Verbesserungspotentiale durch Ausbau der Solarfläche und Energieoptimierungsarbeiten an Technologien und Aggregaten.

Die Vorzüge der innovativen Technologien werden aber vor allem in der erreichten Kreislaufwasserqualität deutlich, die je nach angewandtem Verfahren eine sehr hohe Klarheit und Keimfreiheit des Kreislaufwassers (Busse-MT-Verfahren) ermöglichen, oder eine extrem einfache und effiziente Kreislaufführung (Verfahren v. Bresinski) ebenso abwasserfrei erlauben. Die tiermedizinischen Aspekte wurden bereits in der Zwischenauswertung hervorgehoben.



Die Abwasserfreiheit ermöglicht den Einsatz dieser Intensivfischzuchttechnologie auch in wasserarmen Gebieten und unter widrigen klimatischen Verhältnissen.

Die praktischen Erfahrungen der ersten 6 Betriebsmonate erlauben die Aussage, dass in diesen Technologien ein hohes Entwicklungspotential liegt und Anwendungen auch für sensible und hochwertige Speisefische sicher realisierbar sind.

Leipzig, im Mai 2007

Ralf-Peter Busse

Geschäftsführer

Carsten Belz

Projektleiter