



Das Lebensministerium



Berichte aus der Fischerei

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 13/2006

Freistaat  Sachsen
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Dr. Frank Rümmler, Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow,
Dr. Stefan Heidrich, Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow,
Matthias Pfeifer, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Kombinierte Satzkarpfen-Edelfischaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen 1

Dr. Stefan Heidrich, Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow,
Dr. Helmut Wedekind, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fi-
scherei, Starnberg (bis 09/2004: Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow)
Matthias Pfeifer, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Optimierung biologischer und technologischer Parameter für die Aufzucht von Stören in geschlossenen Kreislaufanlagen 56

Kombinierte Satzkarpfen-Edelfischaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen

1	Einleitung	2
2	Entwicklungsstand der Nutzung geschlossener Kreislaufanlagen zur K ₁ - K ₂ - Aufzucht in Sachsen zu Projektbeginn	5
3	Aufgabenstellung für die Arbeiten	9
4	Grundlegender Aufbau und Funktionsweise der Kreislaufanlage Neiden	10
5	Ergebnisse der Karpfenaufzucht in der Anlage Neiden	15
6	Ergebnisse der Aufzucht anderer Fischarten in der Anlage Neiden	21
7	Bewertung der bisherigen Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt einer kombinierten Satzkarpfen-Edelfisch-Produktion	26
7.1	Bewertung der produktionstechnologischen Ergebnisse	26
7.2	Bewertung der Verfahrens- und Anlagentechnik sowie der Bewirtschaftung	29
7.3	Ökonomische Bewertung der bisherigen Produktion	34
8	Schlussfolgerungen und Vorschläge zur weiteren Verfahrensweise	37
9	Wahl einer geeigneten Edelfischart und technologische Probleme einer kombinierten Edelfisch - Satzkarpfen - Produktion	39
9.1	Generelle Betrachtung	39
9.2	Wahl einer geeigneten Edelfischart	39
9.3	Technologische Probleme einer kombinierten Edelfisch - Satzkarpfen - Produktion ...	40
10	Weitere Möglichkeiten der intensiven, kormorangeschützten Satzkarpfenerzeugung	44
11	Zusammenfassende Schlussfolgerung	50
12	Literatur	50
	Anhang	Siehe Datei "Schriftenreihe 13/06 Berichte aus der Fischerei Anhang"

1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Produktion von Karpfen nach der Forellenerzeugung der wichtigste Produktionszweig der Binnenfischerei. Im Jahr 2004 lag das Abfischungsergebnis bei insgesamt 16 832 t. Davon entfielen 11 514 t auf Speisekarpfen, 4 530 t auf Satzkarpfen und 788 t auf Nebenfische der Karpfenteichwirtschaft (BRÄMICK 2005). Die Karpfenteichwirtschaften befinden sich überwiegend in Sachsen, Bayern und Brandenburg. In Sachsen lag die Karpfenerzeugung 2004 bei 2 810 t Speisekarpfen, 2 010 t Satzkarpfen und 150 t Nebenfischen (BRÄMICK 2005). Durch die Einwirkung des Kormorans wird eine zuverlässige und ökonomische Erzeugung von Satzkarpfen in Teichen zunehmend in Frage stellt. Im Jahr 2004 war in Sachsen mit 15 516 Exemplaren als Summe aller Monatswerte ein weiterer Anstieg der Kormoranzahl gegenüber den Vorjahren erkennbar (ANONYM 2005).

Die bisher erprobten bzw. angewandten aktiven Gegenmaßnahmen, wie verschiedene Vergrämungsstrategien und Abschüsse sowie passive Maßnahmen, wie Teil- oder Rasterüberspannung von Teichflächen ermöglichen keine oder nur eine begrenzte Lösung des Problems. Lediglich die Totalüberspannung von Teichen gestattet einen weitgehenden Schutz der Satzkarpfenbestände vor Kormoranen. Die Kosten für diese Überspannung lassen aber eine Anwendung, wenn überhaupt, nur für kleine K_v - K_1 Teiche, die mit hoher Produktionsintensität bewirtschaftet werden müssen, zu (SCHRECKENBACH ET AL. 1998, SCHRECKENBACH ET AL. 1999, SCHRECKENBACH 2000a).

Der andere, aussichtsreichere Weg besteht darin, die Erzeugung von Satzkarpfen in abgeschirmten, intensiv betriebenen Anlagen vorzunehmen. Dabei kommt es darauf an, aus K_1 „kormoranfeste“ K_2 zu erzeugen. Neben Zielstückmassen der K_2 von 500 g, besser 600 g, ist auch eine gute Sortierung mit möglichst wenigen untermaßigen Fischen von Bedeutung. Satzkarpfen mit einer Stückmasse bis zu 600 g und auch darüber können zusätzlich zu den unmittelbaren Fraßschäden auch erhebliche Verletzungen und Stressbelastungen durch den Kormoran aufweisen, die zu Konditionsmängeln und Erkrankungen führen und ihre Überwinterung sowie ihr weiteres Überleben im Folgejahr in hohem Maße gefährden (SCHRECKENBACH 1998, SCHRECKENBACH ET AL. 1998, 1999). Für die K_1 - K_2 - Aufzucht während des Sommers, d. h. unter Beibehaltung des herkömmlichen dreisömrrigen Produktionszyklus (FÜLLNER ET AL. 2000) könnte zukünftig die Teich-in-Teich-Technologie eingesetzt werden, die sich gegenwärtig aber noch in der Entwicklungsphase befindet (PIETROCK U. RÜMMLER 2005).

Neben dem Schutz vor dem Kormoran ermöglicht die K_1 - K_2 -Warmwasserproduktion während des Winterhalbjahres eine Reihe produktionstechnologischer Vorteile. Gegenüber der durchgängigen Teichbewirtschaftung führt die Karpfenproduktion unter Einschluss der K_1 - K_2 -Aufzucht im Winterhalbjahr zu einer Verkürzung des Produktionszyklus um ein Jahr, die hohen

K₁-Überwinterungsverluste werden vermieden und durch die Bereitstellung gut konditionierter schwerer K₂ werden die Voraussetzungen zur verlustarmen Erzeugung starker Speisekarpfen geschaffen. Weil die Karpfenerträge unter den klimatischen Verhältnissen Mitteleuropas in starkem Maße von den Witterungsverhältnissen abhängig sind und dadurch erhebliche jährliche Schwankungen aufweisen, kann die K₁ - K₂ -Warmwasserproduktion ein wesentliches stabilisierendes Kettenglied des dreistufigen Produktionszyklus bilden.

Diese Vorteile wurden bereits im Zeitraum von Ende der 1960er-Jahre bis kurz nach der Wende in den Warmwasseranlagen der ehemaligen DDR genutzt (SÄUBERLICH 1972, STEFFENS 1981, SOBOTA 1984, BREUNINGER 1984, AUERBACH 1984, FRITSCH 1984, SCHRECKENBACH ET AL. 1987). Der Hauptteil des Aufkommens wurde damals in vier großen Rinnen- bzw. Beckenanlagen, die das Ab-salz-wasser von Braunkohlekraftwerken nutzten, erzeugt. Zur weitgehenden Ausnutzung des verfügbaren Warmwassers arbeiteten diese Anlagen im offenen Kreislauf mit herkömmlicher Belüftung (STEFFENS 1981, SCHRECKENBACH ET AL. 1987). In den Jahren 1986 bis 1989 ergaben sich folgende Mittelwertspannen der Produktionsergebnisse dieser Anlagen: Verluste 27 bis 40 Prozent, Ab-fischungsstückmasse 202 bis 248 g, Futterquotient 2,64 bis 2,41 kg Futter/kg Zuwachs, Endbe-standsdichte 132 bis 153 kg/m³ (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1990). Nur in einem Fall konnte in diesem Zeitraum eine mittlere Stückmasse nahe 400 g erreicht werden (Anlage Hirschfelde 1987 bis 1988, 397 g).

Die Bedeutung der Warmwasser - K₂ für die Speisekarpfenaufzucht wird daran deutlich, dass die Verluste im dritten Zuchtjahr in Teichen beim Besatz mit Warmwasser - K₂ mit 5 Prozent nur etwa ein Drittel so hoch waren wie die bei der Nutzung von Teich - K₂, die in der Regel eine schlechtere Kondition aufwiesen (KNÖSCHE 1998). Die heute als relativ schlecht anzusehenden Produktionskennziffern der K₂ - Aufzucht im Warmwasser hatten eine Reihe allgemeiner, aber auch anlagen-bezogener Ursachen. Insbesondere die schlechten Futtermittel und die Sauerstoffkonzentrationen nur über dem unteren Grenzwert sind hier zu nennen. Daneben spielten auch eine nicht optimale oder schwankende Wasserqualität und Temperatur verschiedentlich eine Rolle.

Alle aufgeführten Produktionskennziffern sind daneben in starkem Maße von der Kondition, d. h. insbesondere vom Fettgehalt der besetzten K₁ abhängig. Erst in den 1980er-Jahren wurde die Bedeutung protein- und energiereicher Futtermittel für die Warmwasserproduktion erkannt und die Fütterung schrittweise darauf umgestellt (SCHRECKENBACH ET AL. 1984, STEFFENS U. RENNERT 1987, SCHRECKENBACH ET AL. 1987).

Daneben konnten durch die Schaffung optimaler Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes in der ersten Versuchsanlage mit Sauerstoffbegasung und Rundbecken wesentliche Verbesserungen der Produktionskennziffern erreicht werden: Verlustsenkung um 62 Prozent, Ver-

besserung des Futterquotienten um 15 Prozent, Senkung des Frischwassereinsatzes um 40 Prozent sowie Steigerung des Stückmassewachstums um 11 Prozent und des Bestandsmassezuwachses um 34 Prozent (RÜMMLER U. PFEIFER 1987, 1991). Durchschnittlich wurde mit K_1 von 24 g Besatzstückmasse nach einer Produktionsdauer von 222 Tagen eine Abfischungsstückmasse von 344 g erreicht. Das entspricht einem Stückmassezuwachs von 1,19 Prozent/d. Die Endbestandsdichte lag bei 179 kg/m^3 , die Verluste betragen 15,5 Prozent und die Futtermittelverwertung 1,99 kg Futter/kg Zuwachs (RÜMMLER U. PFEIFER 1991).

Gegenwärtig gibt es nur noch eine Anlage zur $K_1 - K_2$ - Warmwasserproduktion während des Winterhalbjahres. Im Braunkohlekraftwerk Jänschwalde erfolgte 1998 der Neubau einer Anlage mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung, die direkt im Kühlkreislauf des Kraftwerkes arbeitet (BLUME 1998, RÜMMLER 2003). Im Jahr 2004 wurden hier neben anderen Fischarten 150 t Satzkarpfen produziert (BRÄMICK 2005). Im Durchschnitt ergeben sich folgende Produktionskennziffern: Abfischungsstückmasse ca. 400 g, Verluste 5 bis 10 Prozent, Futtermittelverwertung 1,3 bis 1,7 kg Futter/kg Zuwachs und Endbestandsdichte ca. 120 kg/m^3 (mündl. Mitteilung MICHAELIS).

Ein wesentlicher Nachteil dieser Produktionsform besteht in der Abhängigkeit der Wasserversorgung, der Wassertemperatur und der übrigen Wasserqualitätsparameter von der Fahrweise des Kraftwerks. Die Eindickung des Kühlkreislaufwassers führt zu hohen Sulfat-, Härte- und Leitfähigkeitswerten. Durch die Kalkmilch- und Flockungsmittelzugabe zur Eisenausflockung in der Wasseraufbereitung entstehen relativ hohe pH - Werte. Zusätzlich werden dem Kühlkreislaufwasser Konditionierungsmittel zur Härtestabilisierung und Dispergierung sowie zur Beseitigung von Algen und Mikroorganismen zugesetzt. Die Satzkarpfenaufzucht ist nach den bisherigen Erfahrungen unter diesen Bedingungen mit guten Ergebnissen möglich, obwohl die wasserchemischen Bedingungen nicht als optimal eingestuft werden können.

Ende der 1990er-Jahre war eine zukünftige Verfügbarkeit größerer Warmwasseraufkommen zur Satzkarpfenproduktion in Sachsen nicht absehbar. Daher war zu diesem Zeitpunkt durch das sächsische Landwirtschaftsministerium auf die Nutzung von geschlossenen Kreislaufanlagen zur Satzkarpfenproduktion orientiert worden. In Zusammenarbeit mit Anlagenproduzenten und Teichwirtschaftsbetrieben sollten bewährte Anlagenkonzepte analysiert und verifiziert sowie anschließend durch den Einsatz neuer technischer Lösungen und die Weiterentwicklung der Produktionsbiologie für die Satzkarpfenaufzucht optimiert werden. In diesem Rahmen wurde auch die geschlossene Kreislaufanlage in Neiden bei Torgau als Pilotanlage und ein wesentliches Kernstück dieser Konzeption errichtet.

In der Endphase des bearbeiteten Projektes hatte sich die Situation aber verändert. Seit 2004 gibt es in Sachsen verstärkte Anstrengungen, an zwei Standorten Warmwasseranlagen für die Satz-

karpfenaufzucht im offenen Kreislauf unter Nutzung des Absalzwassers oder des Kühlkreislaufwassers von Braunkohlekraftwerken zu errichten.

2 Entwicklungsstand der Nutzung geschlossener Kreislaufanlagen zur K₁ - K₂ -Aufzucht in Sachsen zu Projektbeginn

Der geschlossene Kreislauf stellt die aufwendigste Anlagenform der Fischproduktion dar. Neben den Fischhaltebecken und der Sauerstoffanreicherung besitzen diese Anlagen eine mechanische und biologische Reinigung zum Abbau der Stoffwechselprodukte der Fische, Einrichtungen zur Temperierung des Wassers sowie weitere Anlagenteile. Der Frischwassereinsatz wird dadurch auf 1 - 0,1 m³/t*h reduziert (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998).

Geschlossene Kreislaufanlagen sind gegenüber Warmwasseranlagen im offenen Kreislauf generell wesentlich standortunabhängiger. Bei der Standortwahl ist es aber trotzdem von Bedeutung, Vorteile in Form von Abwärme oder Warmwasser aus Kühlanlagen, preiswerte Wasserquellen und Möglichkeiten der Abwasseraufbereitung sowie bestehende Gebäude zu nutzen. Der Energieeinsatz für die Erwärmung des Wassers hat sich durch verbesserte Isolierungen der Bauhüllen und die Nutzung von Prozesswärme durch intelligente Systeme (Kraft-Wärme-Kopplung) beträchtlich verringert (ANONYM 1999). Geschlossene Kreislaufanlagen gestatten die konstante Aufrechterhaltung optimaler Temperaturen. Die wasserchemischen Parameter sind in erster Linie von der steuerbaren Arbeitsweise des biologischen Reinigungssystems abhängig. Der geringe Frischwasserbedarf kann in der Regel durch Leitungs-, Brunnen- oder Oberflächenwasser guter Qualität gesichert werden. Verfahrensbedingt spielt das Problem schwankender Wasserdurchsätze durch die Anlage keine Rolle. Insgesamt bieten geschlossene Kreislaufanlagen gegenüber offenen Kreislaufanlagen, die mit dem Kühlwasser von Braunkohlekraftwerken arbeiten, in höherem Maße die Möglichkeit weitgehend konstante und optimierte Haltungsbedingungen für die Fische und dadurch bessere Aufzuchtergebnisse zu erreichen. Anlagengestaltung sowie Betrieb und Bewirtschaftung der Anlagen entsprechend des wissenschaftlich-technischen Höchststandes werden dabei vorausgesetzt. Im Vergleich zu Absalzwasseranlagen kommt bei geschlossenen Kreislaufanlagen mit eigener Schmutzwasseraufbereitung, z. B. in Rückhalte- oder Schönungsteichen, die fehlende Abwasserabgabe noch hinzu.

Die komplexe Anlagentechnik sowie die erforderliche Bauhülle zur Begrenzung der Wärmeverluste führen aber zu hohen Investitionskosten der geschlossenen Kreislaufanlagen. Als Medien müssen Frischwasser, Elektroenergie, Wärmeenergie, Sauerstoff und Schmutzwasser zugeführt bzw. entsorgt und bezahlt werden. Insgesamt ergeben sich dadurch gegenüber den offenen Kreislaufanlagen höhere Betriebs- und Investitionskosten sowie Bewirtschaftungsaufwendungen. Die Intensität

der Produktion und die erzielten Erlöse pro kg erzeugtem Fisch müssen dementsprechend hoch sein. Insbesondere die vergleichsweise niedrigen Preise für Warmwasser-K₂ haben die praktische Nutzung geschlossenen Kreislaufanlagen für die Satzkarpfenproduktion bisher verhindert. Obwohl dieses hoch spezialisierte Verfahren mit einem erheblichen betriebswirtschaftlichen Risiko behaftet ist, wird die Technologie dennoch als zukunftsfähig angesehen und stetig weiterentwickelt. Das setzt allerdings voraus, dass diese Anlagen funktionssicher arbeiten und wirtschaftlich betrieben werden können.

Die Anzahl der in Deutschland kommerziell genutzten geschlossenen Kreislaufanlagen ist schwankend und liegt nach eigenen Schätzungen unter 25. Die hier produzierte Fischmenge beträgt gegenwärtig ca. 500 t im Jahr (s.a. BRÄMICK 2005). Die gegenwärtigen Möglichkeiten zur Erzeugung von Fischen in geschlossenen Kreislaufanlagen werden aber unverändert sehr differenziert eingeschätzt. Insbesondere ergeben sich durch die aufwendige Anlagentechnik, die hohen Betriebskosten sowie die Überschätzung des Marktes und der erzielbaren Preise ökonomische Probleme (WEDEKIND U. KNÖSCHE 2000).

Die generelle biotechnologische Eignung auch geschlossener Kreislaufanlagen für die K₁ - K₂-Aufzucht kann als gegeben vorausgesetzt werden. In der kleintechnischen Versuchskreislaufanlage des Instituts für Binnenfischerei (IfB) wurde bei der Aufzucht von Karpfen, beginnend mit dem Brutstadium, in 230 Tagen eine mittlere Stückmasse von 410 g erreicht (GÖTHLING U. KNÖSCHE 1987). Die Endbestandsdichte betrug dabei 143 kg/m³.

In der ersten geschlossenen Kreislaufanlage der ehemaligen DDR mit 46 m³ Produktionsvolumen wuchs Karpfenbrut bei 26 C Wassertemperatur innerhalb von sechs bis sieben Monaten zu Speisekarpfen mit mittleren Stückmassen von 1,3 bzw. 2,0 kg ab. Die Aufzuchtphase von K₁ mit 19 bis 21 g Stückmasse bis zu K₂ mit 369 g Stückmasse erstreckte sich bei Endbestandsdichten von 75 kg/m³ über einen Zeitraum von 35 - 59 Tage. Daraus ergibt sich ein Stückmassewachstum von 4,9 - 8,5 Prozent/d, das aufgrund der fehlenden Verluste mit dem Bestandsmassewachstum gleichzusetzen ist (HAHLWEG 1990). Dieses Ergebnis verdeutlicht das hohe Wachstumspotenzial des Karpfens unter den Bedingungen einer Warmwasser-Kreislaufanlage (s.a. KNÖSCHE U. PREDEL 1985, WOHLFAHRT U. LAHMANN 1971).

Nach KNÖSCHE UND RÜMMLER (1998) lassen sich auch unter großtechnischen Bedingungen für die K₁ - K₂ - Aufzucht Zuwachsraten von 4 bis 2 Prozent/d erreichen. Mit der Verfügbarkeit extrudierter Hochenergiefuttermittel haben sich die biotechnologischen Voraussetzungen für eine Aufzucht dieser Fischart in geschlossenen Kreislaufsystemen in den 1990er-Jahren weiter verbessert.

Im Rahmen eines ersten Projektes zur Nutzung geschlossener Kreislaufanlagen für die K_1 - K_2 - Aufzucht in Sachsen wurde in den Jahren 1998 bis 1999 eine Modellanlage nach dem System Stählermatic® mit einer geplanten Kapazität von 25 t Satzkarpfen errichtet (RÜMMLER U.A. 1998, MEHNER U. HANKE 1999).

Das Ziel der anschließenden Arbeiten bestand darin, ausgehend von der Erprobung und Beurteilung der Verbesserungsmöglichkeiten der Anlage eine weitere anlagentechnische und produktionsbiologische Optimierung vorzunehmen, die vor allem zu einer betriebswirtschaftlichen Realisierbarkeit derartiger Produktionsformen führen sollte. Dabei sollten auch unterschiedlichen Anforderungen durch verschiedene Fischarten im Rahmen der angestrebten ganzjährigen Auslastung der Anlage Rechnung getragen werden.

In der Pilotanlage Neiden sollten aus ca. 55 000 Stück K_1 mit Stückmassen im Bereich von 20 bis 30 g von Oktober bis zum Mai des folgenden Jahres, d.h. in einem Zeitraum von ca. 210 Tagen, K_2 mit einer mittleren Stückmasse von 500 g erzeugt werden. Die biotechnologischen Vorgaben lagen bei einer Überlebensrate von mindestens 90 Prozent, einer Futtermittelverwertung unter 1,2 kg Futter/kg Zuwachs, einer Endbestandsdichte in den Fischhalteeinrichtungen über 145 kg/m³, einem spezifischen Stückmassewachstum von mindestens 1,34 bis 1,53 Prozent/d und einem spezifischen Bestandsmassewachstum von mindestens 1,29 bis 1,49 Prozent/d. Als spezifische Verbrauchskennwerte wurde auf die Erreichung eines Sauerstoffverbrauchs von unter 0,8 kg Sauerstoff/kg Zuwachs, eines Frischwassereinsatzes unter 1 m³/t*d und eines Elektroenergieverbrauches von 3,6 kWh/kg K_2 abgezielt. Die absoluten Verbrauchszielangaben lagen bei einer Futtermenge unter 28,5 t, einer Sauerstoffmenge von weniger als 19 t und einem Aufwand an Elektroenergie unter 90 MWh (RÜMMLER U.A. 1998).

Die ersten betriebswirtschaftlichen Berechnungen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass eine ausschließliche K_1 - K_2 - Winterproduktion in der Pilotanlage Neiden auch auf der Basis der sehr guten produktionsbiologischen Vorgaben und Aufwandskriterien keine ökonomische Rentabilität ermöglicht. Diese Aussage wurde bereits auf der Grundlage der Deckungsbeitragsrechnung ohne Berücksichtigung fixer Kosten getroffen (WEDEKIND U. KNÖSCHE 1998, WEDEKIND 1998). Dabei wurde von einem Preis von K_2 - 3,50 Euro/kg K_2 ausgegangen.

Eine ökonomische Rentabilität sollte durch die ergänzende Produktion einer hochpreisigen Fischart erreicht werden. Die für die K_1 - K_2 - Aufzucht genutzte Mastanlage ist für die „Edelfischart“ aber nur im Zeitraum ohne Karpfenbesatz (Mai bis Oktober) bzw. mit geringer Satzkarpfenbiomasse (November bis Februar) nutzbar. Entsprechende betriebswirtschaftliche Berechnungen für die zusätzliche Erzeugung von 12 t Europäischen Welsen führten zumindest zu einem positiven Deckungsbeitrag (WEDEKIND U. KNÖSCHE 1998, WEDEKIND 1998). Daneben ist aus ökonomischer Sicht

auch die Erzeugung früherer Lebensstadien in der Brut- und Vorstreckanlage erforderlich (WEDEKIND U. KNÖSCHE 1998, WEDEKIND 1998).

Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurde vorrangig auf Störe als hochpreisige Fischart orientiert. Hierbei wurde von einem Preisniveau von 6,00 Euro/kg und vermarktungsfähigen Stückmassen der Speisestöre von 3,00 bis 5,00 kg ausgegangen. Erste biotechnologische Untersuchungsergebnisse zur Störaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen lagen zu diesem Zeitpunkt bereits vor (PETERI U.A. 1988, WILLIOT U.A. 1988, STEFFEN U.A. 1990A,B, RONYAI U.A. 1990, JACOBSEN 1993, HOCHLEITHNER 1996, RÜMMLER U. PFEIFER 1998). Der bisherige Erkenntnisumfang kennzeichnete aber nur den Beginn einer Technologieentwicklung.

Die parallele Aufzucht einer anderen Fischart bei feststehender Karpfenproduktion bereitet auch erhebliche Probleme bei der Gestaltung der produktionstechnologischen Abläufe. Bei Fischen mit sehr hohem Vermarktungsgewicht wie den Stören kann entweder nur eine Satzfish- oder eine Speisefischproduktion vorgenommen werden. Nur in größeren Anlagen mit einer Reihe von Teilanlagen könnten sich diese Probleme etwas entspannen. Die betriebswirtschaftlichen Berechnungen einer derartigen kombinierten Produktion in einer Großanlage zur Produktion von 300 t K₂ haben ergeben, dass eine Karpfen-Stör-Aufzucht erst ökonomisch ist, wenn nur noch 10 bis 15 Prozent Karpfen, aber 85 bis 90 Prozent Störe produziert werden würden, d.h. der Karpfen die eigentliche Nebenfischart wäre. Unter der Voraussetzung der Investitionsförderung durch das FIAF (60 Prozent) ergab sich ein Satzkarpfenanteil an der Gesamtproduktion von 50 Prozent (MEHNER U. HANKE 1999).

Die verfahrenstechnische Realisierung der einzelnen Teilprozesse und die Verfahrensgestaltung der Anlage Neiden insgesamt stellten lediglich den Stand der Technik dar. Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurde nur der vorhandene Zustand analysiert (s. MEHNER U. HANKE 1999). Eine Verbesserung und Optimierung der technischen Anlagengestaltung und verfahrenstechnischen Abläufe erfolgte nicht. Nach dem Anlagenaufbau verblieben eine Reihe bedeutender anlagentechnischer Mängel, die einen erfolgreichen Betrieb der Anlage sowie die Gewährleistung optimaler Haltungsbedingungen erschwerten oder weitgehend verhinderten. Diese anlagentechnischen Probleme wurden dargestellt und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt (RÜMMLER 2000).

Ein erster Probesatz der Anlage erfolgte 1999 mit schweren K_v und K₁ sowie Satzstören (ca. 20 cm Länge). Das Verlustgeschehen, der Zuwachs und die Futtermittelverwertung waren nicht zufriedenstellend (MEHNER U. HANKE 1999). Die anschließende Winterproduktion war durch Anlaufprobleme der Anlage und den späten K₁ - Besatz ebenfalls durch hohe Verluste, im Durchschnitt unzureichendes Wachstum und eine ungenügende Anlagenauslastung gekennzeichnet.

Im Rahmen der biotechnologischen Arbeiten im Zusammenhang mit diesem Projekt wurden in der Versuchskreislaufanlage des IfB Fütterungsversuche mit K_1 aus der Frühjahrsabfischung, die Energiemangelsymptome („Drehersymptomatik“) aufwiesen, durchgeführt. Das höchste Wachstum ergab sich beim Einsatz des energiereichsten Futters mit einer verdaulichen Energie von 17,66 MJ/kg und einem günstigen Energie-Protein-Verhältnis von 0,43. Hier wurde beim Zuwachs von 52 g auf 112 g innerhalb von sechs Wochen, d.h. bei einem spezifischen Stückmassewachstum von 3,3 Prozent/d, eine Futtermittelverwertung von 0,86 kg Futter/kg Zuwachs erreicht (WEDEKIND u.a. 1998).

In einem anschließenden Versuch während der Endphase der ersten K_1 - K_2 - Aufzucht in Neiden 1999 bis 2000 wurde mit zwei Hochenergiefuttermitteln in einem Zeitraum von 22 Tagen im Durchschnitt ein spezifisches Stückmassewachstum von 1,35 Prozent/d sowie eine mittlere Futtermittelverwertung von 1,27 kg Futter/kg Zuwachs erreicht. Die anschließende Aufzucht von zwei Größengruppen über einen Zeitraum von 72 Tagen ergab ein spezifisches Stückmassewachstum von 1,56 bzw. 2,14 Prozent/d und eine Futtermittelverwertung von 0,97 bzw. 1,20 kg Futter/kg Zuwachs. Die Ergebnisse zeigten die Realisierungsmöglichkeiten der biotechnologischen Vorgaben unter der Voraussetzung optimierter Haltungsbedingungen und einer fachkundigen Bewirtschaftung der Anlage. Gleichzeitig ist auch ein sehr starkes Auseinanderwachsen der Fische beobachtet worden, das weitere technologische Anforderungen stellt (WEDEKIND ET AL. 2000).

Ab 2000 wurde die Anlage durch zwei Teichwirtschaftsbetriebe bewirtschaftet. Während der ersten Produktionszyklen erfolgte nur eine unzureichende Anlagenauslastung und die Produktionsziele wurden zum Teil mit großem Abstand nicht erreicht. Im Winterhalbjahr 2001/2002 erfolgte keine Satzkarpfenaufzucht. Als hochpreisige Feinfischarten wurden 2000/2001 Störe und 2001/2002 in geringerem Umfang Streifenbarschhybriden aufgezogen. In beiden Fällen waren Stückmassezuwachs und Futtermittelverwertung unzureichend. Ein ökonomischer Betrieb der Anlage konnte während dieser Zeit nicht realisiert werden (mündl. Mitteilung MÜHLE). Die Aufzuchtergebnisse dieses Zeitraumes wurden in die weitere Auswertung mit einbezogen.

3 Aufgabenstellung für die Arbeiten

Die unzureichenden Produktionsergebnisse in der Anlage Neiden waren ein wesentlicher Anlass für das durchgeführte Projekt. Unter wissenschaftlicher Begleitung sollte die Satzkarpfenaufzucht in der Pilotanlage mit dem Ziel einer maximalen Anlagenauslastung und der Erreichung einer mittleren Abfischungsstückmasse von 600 g vorgenommen werden. Bei einer mittleren K_1 - Stückmasse von 25 g entspricht das einem Stückmassewachstum von 1,51 Prozent/d. Die übrigen Zielstellungen blieben dieselben. Gleichzeitig sollte die Aufzucht alternativer Feinfischarten zum Stör erfolgen.

Auf der Grundlage der Erfassung biotechnologischer, verfahrenstechnischer und betriebswirtschaftlicher Daten sollten Empfehlungen für einen optimierten Betrieb der Pilotanlage Neiden gegeben werden. Weiterhin sollten Schlussfolgerungen zur technologischen und wirtschaftlichen Gestaltung der kombinierten Satzkarpfen-Edelfischproduktion in der Anlage gezogen werden. Dabei war davon ausgegangen worden, dass die bekannten anlagentechnischen Unzulänglichkeiten beseitigt werden.

Aufbauend auf dem Einzelbeispiel Neiden sollten anhand vorliegender weiterer Erkenntnisse zur Verfahrensgestaltung, Bewirtschaftung und Ökonomie geschlossener Kreislaufanlagen die Möglichkeiten der kombinierten Satzkarpfen-Edelfisch-Produktion analysiert und abschließend bewertet werden.

Parallel dazu wurden in einem zweiten Forschungsprojekt zur Optimierung der kombinierten Satzkarpfen-Edelfisch-Produktion Untersuchungen zu offenen Fragen der Technologie der Störaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen durchgeführt (HEIDRICH U. PFEIFER 2006). Insbesondere stand dabei die Verträglichkeit der Eindickung des Anlagenwassers für Störe im Vordergrund, die für Satzkarpfen weitgehend unproblematisch ist und als Folge des angestrebten geringen Wasseraustausches auftritt.

4 Grundlegender Aufbau und Funktionsweise der Kreislaufanlage Neiden

Die geschlossene Kreislaufanlage am Standort Neiden wurde in einer zweigeschossigen Halle mit den Abmessungen 39,1 * 11,9 m errichtet. Im Erdgeschoss befinden sich neben der Erbrütungsanlage das Überwachungs- und Steuerungssystem, das Labor sowie die Sozial- und Büroräume. Im oberen Geschoss sind die Rundbecken sowie die Abfischungs- und Ablaufrinne untergebracht. Am Standort der Bio-Stufe ist die Zwischendecke unterbrochen. In diesem Bereich wurden zusätzlich der Reaktor zur Sauerstoffanreicherung und der Pumpensumpf untergebracht.

In geschlossenen Kreislaufanlagen können prinzipiell alle wesentlichen Lebensbedingungen der Fische mit technischen Mitteln aufrechterhalten und so optimal gestaltet werden. Das durch die Fischproduktion mit Ammoniak, Futterresten, Kot und Kohlendioxid (CO₂) belastete Wasser wird ständig wieder aufbereitet und den Fischbecken erneut zugeführt. Zusätzlich müssen Systeme zur Aufrechterhaltung optimaler Temperaturen und Sauerstoffkonzentrationen vorhanden sein. Die Frischwasserzufuhr beschränkt sich auf den Ausgleich von Reinigungs- und Verdunstungsverlusten sowie den Wasserbedarf für technologische Prozesse (Schlammabführung, Begrenzung der Nitratkonzentration zur pH-Pufferung, Abfischung).

In Abb. 1 des Anhangs (MEHNER U. HANKE 1999) und Abb. 2 des Anhangs (RÜMMLER ET AL. 1998) ist anhand des Fließschemas des Wasserkreislaufes die technologische und geometrische Anordnung der einzelnen Anlagenteile erkennbar. Weitere Detailangaben zur Anlagengestaltung sind bei RÜMMLER ET AL. (1998) und MEHNER UND HANKE (1999) zu finden.

Als Fischhalteeinrichtungen und Sauerstoffanreicherungssystem ist die Kombination von Rundbecken und Sauerstoffbegasung am günstigsten, die im vorliegenden Fall realisiert wurde. Hierbei wird das Wasser hoch mit Sauerstoff angereichert und mit vergleichsweise geringen Wasserdurchsätzen gearbeitet. Durch die tangentielle Wasserzufuhr am Beckenrand und die Wasserabführung in der Mitte des Beckenbodens entsteht in den Rundbecken eine Kreisströmung, die einen guten Austrag des Kots und eventueller Futterreste gewährleistet. Es kommt zur Ausbildung eines einheitlichen Konzentrationsprofils der Sauerstoffkonzentration sowie der anderen Wasserparameter im gesamten Beckenvolumen.

Die Anlage Neiden weist fünf Rundbecken mit jeweils 21,6 m³ Wasservolumen und sechs Rundbecken mit jeweils 10,6 m³ Wasservolumen auf. Die Becken wurden aus PP-hellgrau hergestellt. Das gesamte Produktionsvolumen beträgt 172 m³. Die kleineren Becken werden mit einem Wasserdurchsatz von jeweils maximal 25 m³/h, die größeren mit jeweils maximal 50 m³/h beaufschlagt. Die Wasserwechselraten liegen jeweils bei 2,33 h⁻¹.

Die Fütterung erfolgt mit Futterautomaten kontinuierlich über einen täglichen Zeitraum von ca. 16 Stunden und ergänzend von Hand. Die maximal zu verabreichende tägliche Futtermenge liegt bei ca. 375 kg/d (max. 1,5 Prozent der maximalen Fischbestandsmasse/d). Mit einer kontinuierlichen Futtergabe ist eine gleichmäßige Ammoniumbelastung verbunden, die sich günstig auf die Funktionsweise der Biostufe auswirkt. Durch die kontinuierliche Futtergabe werden gleichzeitig die Regelungsprobleme der Sauerstoffkonzentration bzw. des Sauerstoffbegasungssystems verringert.

Sauerstoff wird zur Atmung der Fische benötigt und ist ein wesentlicher produktionsbiologischer Faktor. Die Arbeit mit optimalen Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes ermöglicht eine optimale Futtermittelverwertung, hohe Zuwachsraten und geringe Verluste. Als Sollwert der Sauerstoffkonzentration in den Becken wurden 8 mg/l (ca. 97 Prozent des Luftsättigungswertes bei 25 °C) festgelegt.

Bei einem spezifischen Sauerstoffverbrauch für K₂ während der Fütterungsphase von 350 g/t*h (RÜMMLER 2003) ergibt sich für das Begasungssystem eine erforderliche Sauerstoffeintragsleistung von 8,75 kgO₂/h. Für eine „Sauerstoffaufstockung“ des Kreislaufwassers um 22 mg/l auf ca. 30 mg/l am Auslauf der Sauerstoffbegasungseinrichtung ist ein Wasserdurchfluss von ca. 400 m³/h erforderlich. Der mit Sauerstoff anzureichernde Wasserstrom wird aus dem Pumpensumpf in einen

Strahlenreaktor SR 300 der Fa. Linde gepumpt, hier unter geringem Überdruck von 0,7 - 0,8 bar auf maximal 30 mg/l angereichert und anschließend über ein Rohrleitungssystem den einzelnen Rundbecken zugeleitet. Im Strahlenreaktor werden durch einen Lochboden Wasserstrahlen erzeugt, die nach Passage des Gasraumes in das Unterwasser eintauchen. Durch die entstehende Turbulenzzone wird die für den Stoffübertragungsprozess notwendige große Kontaktfläche zwischen Flüssigkeit und Gas erzeugt. Für die Anreicherung auf 30 mg/l ist ein Pumpendruck von 1 bar bzw. eine Pumpenleistung von ca. 15 kW erforderlich.

Das Sauerstoffanreicherungssystem besteht zusätzlich noch aus einer Mess- und Stellstrecke für den Sauerstoffdurchfluss, der Druckvergaseranlage zur Sauerstoffversorgung und einer Notbegasung für Havariefälle. Bei letzterer wird eine feinblasige Ausströmung des Sauerstoffs direkt in den Rundbecken vorgenommen. Die Sauerstoffverbrauchsschwankungen der Fische erfordern eine automatische Regelung der Sauerstoffkonzentration in den Produktionseinheiten durch die Beeinflussung des zugeführten Sauerstoffmassesstromes.

Die Notbegasung wird bei zu geringen Sauerstoffkonzentrationen in den Rundbecken, Pumpenausfall oder Ausfall der Elektroenergieversorgung automatisch eingeschaltet. Die feinblasige Ausströmung des Sauerstoffs in den Rundbecken führt bei der vorhandenen Wasserstandshöhe von ca. 1 m nur zu einer ca. 10-prozentigen Lösung des zugeführten Sauerstoffs. Der Sauerstoffvorrat und die Größe der Druckvergaseranlage wurden so ausgelegt, dass der maximale Fischbestand mindestens fünf Stunden lang durch die Notbegasung mit maximal 90 kg/h (6 Nm³/h) versorgt werden kann. Es wurde eine 5 t - Flüssigsauerstoffanlage installiert. Die Abläufe der Rundbecken entwässern in eine Abfischungs- und Ablaufrinne, die das Kreislaufwasser zur Biostufe führt.

Neben der Sauerstoffkonzentration und der Temperatur ist die Ammoniumkonzentration (NH₄) des Wassers der dritte wesentliche Haltungsfaktor, der bei der Fischproduktion in geschlossenen Kreislaufanlagen mit technischen Mitteln optimiert wird. Die im Fischkörper nicht umgesetzten Futterproteine werden als Ammoniak (NH₃) über die Kiemen oder als Kot ausgeschieden. Weiterhin wird aus Kot und Futterresten durch bakteriellen Abbau Ammonium freigesetzt. Das stark fischtoxische NH₃ liegt im Wasser in einem vom pH - Wert abhängigen Dissoziationsgleichgewicht zum Ammonium (NH₄) vor. Für K₂ sollen NH₃ - Werte von 0,02 mg/l nicht überschritten werden.

In der biologischen Reinigungsstufe (Biofilter, Biostufe) wird das fischtoxische NH₃ durch bakterielle Nitrifikation von Ammonium zu Nitrit und die anschließende bakterielle Nitratation zum fischungiftigen Nitrat abgebaut. Dieser Prozess ist mit einer pH - Wertabsenkung verbunden. Nitrat ist auch in hohen Konzentrationen physiologisch weitgehend unbedenklich (s. 9.3). In dem in der Anlage Neiden eingesetzten Reinigungssystem können neben der Nitrifikation (Nitrifikation und Nitratation) auch Denitrifikationsvorgänge ablaufen, die beim partiellen Vorhandensein anaerober Bedingungen

einen Nitratabbau zu molekularem Stickstoff bewirken. Der Anstieg der NO_3 - Konzentration wird aber hauptsächlich durch Frischwassergaben begrenzt.

Zur Durchführung der Neutralisation des Kreislaufwassers mit Kalkhydrat sollten NO_3 - Werte von 1 000 mg/l nicht überschritten werden (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998). Die Denitrifikationsvorgänge leisten ebenfalls einen Beitrag zur pH-Stabilisierung. Der wichtigste Parameter der Nitrifikationsleistung des Biofilters ist die Größe der Substratfläche, die den Nitrifikanten als Besiedelungsfläche zur Verfügung steht.

In der Anlage Neiden kommt ein Stählermatik[®]-Biofilter-System nach dem Belebtschlamm-Tauchtropfkörper-Verfahren zur Anwendung, das sich im Wesentlichen aus einem im Wasser rotierenden Zellrad als Biostufe und einem Nachklärbecken zusammensetzt. Das Zellrad besteht aus Kunststoffscheiben, die in geringem Abstand auf einer Achse montiert sind und ein spezielles Profil aufweisen, so dass sie einzelne Kammern ausbilden. Durch die besondere Formgebung nehmen diese Kammern bei der langsamen Rotation des zu drei Viertel untergetauchten Zellrades Luft mit in die Tiefe. Bei der weiteren Drehung tritt die mitgenommene Luft in Etappen aus (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998).

Die im belüfteten Zellrad unter aeroben Bedingungen zirkulierenden Belebtschlammflocken sowie die Oberfläche des Zellrades bilden die Besiedelungsfläche für die NH_4 -abbauenden Bakterien. Eine ausreichende Turbulenz und Sauerstoffversorgung des Belebtschlammes sowie aller Oberflächen des Tropfkörpers wird durch die Rotation des Zellrades mit 1 bis 2 Umdrehungen pro Minute gewährleistet. Bei Herabsetzung der Drehzahl des Rades kann man partiellen Sauerstoffmangel erzeugen und damit den parallelen Ablauf von Denitrifikationsvorgängen erreichen.

Die notwendige hohe Konzentration an Schlammflocken für das Belebtschlammverfahren wird durch die Schlammabscheidung im anschließenden Nachklärbecken und die kontinuierliche Schlammrückführung in den Biofilter mit Hilfe einer Rücklaufschlammpumpe erreicht. Bei einer Schlammkonzentration über 300 ml/l wird ein Schlammabschlag vorgenommen.

Bei der maximal veranschlagten Futtermenge von 375 kg (1,5 Prozent der Endbestandsmasse) ergibt sich mit einem Rohproteingehalt des Futters von 40 Prozent eine maximale NH_4 - N - Belastung von 12,0 kg/d. Mit den aus praktischen Erfahrungen gewonnenen Parametern der Abbauleistung von 2 g NH_4 - N/m² Scheibenfläche * d für die Tauchtropfkörperwirkung und 20 g NH_4 - N/kg Trockensubstanz * d des Belebtschlammes (Trockensubstanzkonzentration 2 - 4 g/l) (KNÖSCHE 1994, ANONYM 1997) wurde eine Biostufe mit zwei Zellrädern ZR 6 * 2,5 mit einer Oberfläche von 3674 m² und einem Biovolumen von 97,2 m³ konzipiert. Die Abbauleistung von 13,2 kg NH_4 -N/d weist eine ausreichende Reserve auf.

Das vertikal durchströmte runde Nachklärbecken mit Rundräumer und Abschäumer hat ein Volumen von ca. 245 m³ und eine Querschnittsfläche von 70 m². Um einen ausreichenden Absetzeffekt zu gewährleisten, muss eine Oberflächenbeschickung von ca. 3 m/h und eine Wasserverweilzeit von ca. 1 h erreicht werden. Dazu dürfen nur etwa 210 m³/h des Kreislaufwassers über die Biostufe geleitet werden. Das Klarwasser des Nachklärbeckens läuft über die als Zackenüberfall ausgebildete Oberkante des Behälters ab, sammelt sich in einer umlaufenden Rinne und wird über eine Sammelrinne dem Pumpensumpf zugeführt. Der Rest des Kreislaufwassers wird über einen regulierbaren Bypass aus der Abfischungs- und Ablaufrinne direkt dem Pumpensumpf zugeführt.

Die Atmung der Fische ist neben der Sauerstoffaufnahme mit einer proportionalen Kohlendioxidabgabe verbunden. Bei hohen Fischbestandsdichten können in Anlagen mit Sauerstoffbegasung hohe CO₂ - Konzentrationen im Kreislaufwasser entstehen. Ursache ist der geringe Gasaustausch mit der Atmosphäre. Als Grenzwert günstiger Produktionsbedingungen werden für Karpfen 20 mg/l angegeben (SCHRECKENBACH ET AL. 1987). Andere Warmwasserfischarten (Tilapia, Marmorwels) tolerieren höhere Konzentrationen (SUMMERFELT ET AL. 2000). Bei der Aufzucht von Karpfen (PFEIFER 1987) und Marmorwelsen (COLT U. WATTEN 1988) unter Warmwasserbedingungen und erhöhten Sauerstoffkonzentrationen wurden CO₂ - Werte von 30 - 50 mg/l festgestellt, ohne dass deutliche Schädigungen der Fische oder vermehrte Verluste auftraten. Durch die erhöhte CO₂ - Konzentration kommt es zu einem leichten Absinken des pH - Wertes im Wasser. Als positiver Nebeneffekt verringert sich dadurch die Konzentration des toxisch wirkenden Ammoniaks.

Mit einem respiratorischen Koeffizienten von 1,0 (KUTTY 1968) ergibt sich ein Masseverhältnis von Kohlendioxidabgabe zu Sauerstoffaufnahme von 1,375. Bei der Aufzucht von Stören in einer Versuchskreislaufanlage wurde ein Mittelwert dieses Verhältnisses von 1,15 ermittelt, der auch die bakterielle Oxidation organischer Substanz in den Produktionseinheiten mit einschließt (RÜMMLER U. PFEIFER 1998).

Im vorliegenden Fall würde sich danach für die K₁ - K₂ - Aufzucht bei Endbestand bzw. maximalem Sauerstoffbedarf von 8,75 kg/h und einem Wasserdurchsatz von 400 m³/h eine zusätzliche CO₂ - Beladung des Wassers von 25 mg/l ergeben. Zur Entgasung von Kohlendioxid wird eine Kaskade unter dem Auslauf der Abfischungs- und Ablaufrinne angebracht. Der Kohlendioxidübergang in die Atmosphäre erfolgt durch die Schaffung einer großen Kontaktfläche zwischen Wasser und Luft. Gleichzeitig wird damit auch ein Beitrag zur pH - Stabilisierung geleistet. Durch die vorzunehmende Neutralisation wird das Kalk-Kohlensäure-Dissoziationsgleichgewicht aber bereits entscheidend in die Richtung geringerer CO₂-Konzentrationen verschoben.

Die Absenkung des pH - Wertes durch die Nitrifikation und bei hohen Bestandsdichten zusätzlich durch die CO₂ - Abgabe der Fische sollen durch Kalkhydratgaben (Ca(OH)₂) von Hand bzw. durch

Drehzahlregelung des Zellrades ausgeglichen werden. Zur Erzielung einer guten Arbeitsweise der Biostufe und optimaler Wachstumsbedingungen für die Fische sollte eine Stabilisierung des pH-Wertes im Bereich von 6,7 - 7,3 angestrebt werden (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998).

Aus der Nachklärung und der Abfischungs- und Ablaufrinne sammelt sich das Wasser im Pumpensumpf. Durch diesen Betonbehälter wird ein ständiger Mindestwasserstand an der Saugseite der Kreislaufpumpen gewährleistet. Weiterhin werden Wasserstandsveränderungen in den Rundbecken und der Biostufe sowie Veränderungen des Wasserdurchflusses durch die automatische Frischwasserzufuhr oder den Wasserüberlauf ausgeglichen. Das Volumen des Pumpensumpfes müsste größer als 20 m^3 sein, um einen Wasserwechsel von mindestens 20 h^{-1} im Behälter zu gewährleisten. Angesichts der beschränkten Grundfläche der Halle konnte das Pumpensumpfvolumen nur im Bereich der vertretbaren Untergrenze bemessen werden. Kurzfristigen Wasserstandsschwankungen im Pumpensumpf muss durch einen ausreichenden Frischwasserzufluss von mindestens $30 \text{ m}^3/\text{h}$ begegnet werden (5 - 10 Prozent des Kreislaufwasserdurchflusses).

Die Erzeugung optimaler Wassertemperaturen, die eine weitgehende Ausschöpfung der Wachstumspotenz der Fische ermöglichen, ist eine Grundvoraussetzung zur Erzielung hoher Zuwachsergebnisse und betriebswirtschaftlich günstiger Produktionsergebnisse. Für die Karpfenproduktion liegt die Optimaltemperatur im Bereich von 23 bis $28 \text{ }^\circ\text{C}$ (SCHRECKENBACH ET AL. 1987). Störe, Welse und Zander haben ähnliche Optimalwerte.

Die Aufheizung des Wassers erfolgt mittels Wärmetauscher im Pumpensumpf. Die automatische Regelung der Wassertemperatur wird durch die Steuerung des Warmwasserdurchflusses mit Hilfe eines Motorstellventiles vorgenommen.

Neben den bereits aufgeführten Prozessgrößen Sauerstoffkonzentration, Temperatur und Wasserstand im Pumpensumpf bzw. Frischwasserzufuhr werden weitere Größen wie Wasserstand in jeder Rundbeckenreihe, Kreislaufwasserdurchfluss, pH-Wert und Sauerstoffdruck gemessen, überwacht und gegebenenfalls registriert oder weiter verarbeitet. Weiterhin wurde nachträglich ein Strömungswächter in jeder Beckenzulaufleitung installiert.

5 Ergebnisse der Karpfenaufzucht in der Anlage Neiden

Ein vollständiger K_1 - K_2 - Produktionszyklus mit höherer Anlagenauslastung wurde erstmals im Winterhalbjahr 2000/2001 durchgeführt. Im Herbst 2000 erfolgte der Besatz mit 25 000 Stück teichgezogenen K_1 mit einer mittleren Stückmasse von 54 g. Im folgenden Frühjahr konnten 23 000 Stück K_2 mit einer Gesamtmasse von 13 625 kg abgefischt werden. Die mittlere Stückmasse betrug 592 g, das spezifische Stückmassewachstum lag bei 1,04 Prozent/d. Die hohe Abfischungsstückmasse wurde bei dem begrenzten Stückmassewachstum aufgrund der hohen Besatzstückmasse

erreicht. Durch die geringen Stückverluste von 8 Prozent war das Bestandsmassewachstum mit 1,04 Prozent/d nur geringfügig niedriger als das Stückmassewachstum (Tab. 1). Bei diesem und den folgenden Produktionszyklen wurden zwei handelsübliche Futtermittel mit 36 Prozent Protein und 18 Prozent bzw. 22 Prozent Fett sowie einer verdaulichen Energie von 18,2 bzw. 19,5 MJ/kg eingesetzt. 2000/2001 kam überwiegend das energiereichere Futter (KA 36/22 EX) zur Anwendung. Der Futterquotient der Produktionsperiode lag bei 1,7 kg Futter/kg Zuwachs.

Während der nachfolgend durchgeführten K_1 - K_2 - Produktionszyklen im Rahmen des dargestellten Projektes wurden keine Verbesserungen der Wachstumsdaten mehr erzielt (Tab. 1). Lediglich 2004/2005 waren die Abfischungsmasse und der absolute Zuwachs mit Werten von 14 425 kg bzw. 12 865 kg aufgrund der verlängerten Aufzuchtdauer am höchsten (Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht über die K_1 - K_2 - Produktionsperioden 2000 bis 2005

Winterperiode (Jahre)	2004/2005	2003/2004	2002/2003	2000/2001
Besatz				
Gesamtmasse (kg)	1.560	900	900	1.350
Stück	43.000	45.000	25.000	25.000
Stückmasse (g)	36	20	36	54
Abfischung				
Gesamtmasse (kg)	14.425	8.467	7.400	13.625
Stück	41.335	42.942	20.150	23.000
Stückmasse (g)	349	197	367	592
Bestandsdichte (kg/m ³)	103	99	53	115
Stückverluste (Prozent)	4	5	19	8
Futtermenge (kg)	21.403	12.102	14.119	20.862
Zuwachs (kg)	12.865	7.567	6.502	12.275
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	1,66	1,60	2,20	1,70
genutztes Produktionsvolumen (m ³)	139	86	139	119
Produktionsdauer (d)	233	223	218	221
spezifisches Stückmassewachstum (%/d)	0,98	1,03	1,07	1,08
spezifisches Bestandsmassewachstum (%/d)	0,90	1,00	1,00	1,04
Auslastung				
genutztes/ ges. Produktionsvolumen (%)	81	50	81	79

Im Oktober 2002 wurde die Kreislaufanlage mit 25 000 Stück K_1 besetzt. Die mittlere Stückmasse lag bei 36 g. Die Fütterung der Karpfen erfolgte durch die Anwendung von Bandfutterautomaten kontinuierlich. Es wurde das energieärmere Futter (Pro Aqua K 18) eingesetzt. Das Anlagenpersonal war angewiesen, täglich eine Futtermenge von 2,5 bis 3 Prozent der Bestandsmasse zu verabreichen.

Die eingesetzten K_1 zeigten nach Ablauf des ersten Monats der Produktionsperiode ein tägliches Stückmassewachstum von nur 0,91 Prozent. Mit zunehmender Versuchsdauer ab ca. der 10. Woche nahm das Wachstum weiter ab. Hinzu kam ein sehr starkes Auseinanderwachsen des Bestandes mit Stückmassen zwischen 39 und 173 g, das eine Sortierung der Fische erforderte. Die Futterverwertung lag bei 1,47 - 1,65 kg Futter/kg Zuwachs. In der Zeitspanne zwischen der 17. und der 20. Woche nach dem Besatz zeigte sich nur für die größte der vier Sortierungen ein befriedigendes Stückmassewachstum von 2,8 Prozent/d. Die unterschiedliche Entwicklung der einzelnen Größen- gruppen wurde auch anhand der verschiedenen Futterquotienten (FQ) deutlich: Während die größte Sortierung einen FQ von 1,13 kg Futter/kg Zuwachs aufwies, lag die Futterverwertung der beiden mittleren Sortierungen bei 1,57 und 1,44 kg Futter/kg Zuwachs. Der Zuwachs der kleinsten Sortierung war sehr gering und führte folgerichtig zu einem hohen Futterquotienten von 1,83 kg Futter/kg Zuwachs.

Innerhalb von 218 Tagen wurde ein Bestandsmassewachstum von 0,9 t K_1 auf 7,4 t K_2 und ein Stückmassezuwachs von 36 g auf 367 g erreicht. Die Verluste waren mit 19 Prozent und der Futterquotient mit 2,2 kg Futter/kg Zuwachs im Vergleich zu den anderen drei Produktionszyklen am höchsten, die Endbestandsdichte mit 53 kg/m³ am niedrigsten (Tab. 1). Auf die gesamte Aufzucht- dauer berechnet betrug das spezifische Bestandwachstum 1,0 Prozent/d und das spezifische Stückmassewachstum 1,07 Prozent/d. Bei der Abfischung fiel eine starke Differenzierung der Stückmasse der Tiere auf. Die mittleren Abfischungsstückmassen lagen in den einzelnen Produkti- onsbecken zwischen 122 bis 517 g (Tab. 2).

Tabelle 2: Abfischungsergebnis in der K₁ - K₂ - Produktionsperiode 2002/2003

Becken - Nr.	Volumen (m ³)	Stückzahl	Stückmasse (g)	Bestandsmasse (kg)	Besatzdichte (kg/m ³)
1	21,6	2.683	517	1.387	64
2	21,6	4.891	340	1.663	77
3	21,6	1.445	780	1.127	52
4	21,6	2.700	510	1.377	64
6	10,6	1.731	271	469	44
8	10,6	1.486	144	214	20
9	10,6	1.803	122	220	21
10	10,6	1.812	292	529	50
11	10,6	1.600	260	416	39
Summe, Mittel	139,4	20.150	367	7.400	53

Für den zweiten Produktionszyklus während der Projektlaufzeit wurden im Oktober 2003 zwei Rundbecken mit 45 000 Stück K₁ besetzt. Die mittlere Stückmasse lag bei 20 g und die anfängliche Bestandsdichte betrug 22,5 kg/m³. In der ersten Produktionsphase verlief die Entwicklung der K₁ annähernd normal. Das spezifische Stückmassewachstum lag bei 1,1 Prozent/d.

Ab Anfang Januar 2004, d.h. nach der 11. Versuchswoche, wurde bis Ende Februar 2004 ein negatives Wachstum festgestellt. Die Karpfen zeigten eine auffallende Lethargie und ein eingeschränktes Fressverhalten. Die elektrische Leitfähigkeit stieg in diesem Zeitraum auf Werte um 1 500 µS/cm. Weil diese offensichtliche Eindickung des Anlagenwassers im zeitlichen Zusammenhang mit Verlusten und Wachstumseinbußen insbesondere der empfindlicheren Edelfischarten Zander und Streifenbarsch-Hybriden stand, wurden erweiterte Untersuchungen der Wasserqualität durchgeführt. Es ergaben sich Konzentrationen an Blei, Kupfer, Quecksilber, Eisen und Mangan, die die fischtoxikologisch unbedenklichen bzw. einzuhaltenden Grenzwerte überschritten (KÖCK 1996, MATTHEIS 1979, NOGA 2000). Die gemessenen Werte und die Grenzwerte sind in Tab. 3 dargestellt. Diese massiven Störungen des Anlagenbetriebs waren im Wesentlichen auf einen Defekt der Brunnenwasserpumpe seit Ende 2003 und den ungenügenden Ausgleich des Frischwasserbedarfes durch die ersatzweise Einspeisung aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung zurückzuführen. Die Frischwasserzufuhr lag in diesem Zeitraum bei ca. 0,4 Prozent des Anlagenvolumens pro Tag.

Ab Februar 2004 wurde die tägliche Frischwassermenge wieder auf 0,4 Prozent des Anlagenvolumens gesteigert. Danach zeigten die Satzkarpfen wieder ein normales Wachstum. Die Abfischungsergebnisse sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Für den gesamten Produktionszyklus ergab sich mit 1,0 bzw. 1,03 Prozent/d ein ähnliches spezifisches Bestands- und Stückmassewachstum wie im Vorjahr (Tab. 1). Aufgrund der geringen K_1 -Stückmassen von 20 g wurde bei diesem Wachstum nur eine unakzeptable mittlere K_2 -Stückmasse von unter 200 g erreicht. Die Differenzierung der Stückmasse der Satzkarpfen in den einzelnen Becken war, wahrscheinlich aufgrund der generell schlechten Bedingungen, geringer als im Vorjahr. Auffällig waren die geringen Verluste von 5 Prozent und die beste Futtermittelverwertung aller vier Produktionszyklen mit 1,6 kg Futter/kg Zuwachs.

Tabelle 3: Messwerte der Wasseranalyse in der Anlage Neiden und Höchstwerte nach verschiedenen Angaben

Metall	Messwerte Neiden 19.01.04	Höchstwerte (KÖCK 1996)	Grenzkonzentration (MATTHEIS 1979)	Qualitätsziel (HOFER U. LACKNER 1995)	Akzeptable Werte (NOGA 2000)	Einsetzen von Fischsterben (NOGA 2000)
Blei (µg/l)	1,0	0,4 - 5	12	< 5 - 15	< 20	>1000 - 31500
Cadmium (µg/l)	< 0,5	0,1 - 1	1 - 2	< 0,5 - 0,1	0,5 - 3	> 1000 - 3700
Chrom, gesamt (µg/l)	< 5,0	2 - 5	50 - 200	< 5 - 25	k. A.	k. A.
Kupfer (µg/l)	7,8	1 - 3	3 - 10	< 5 - 10	<6	> 30 - 6400
Quecksilber (µg/l)	0,2	0,02 - 0,05	0,029 - 2,5	akut <0,2 - 0,9	0,2	> 170
Eisen (mg/l)	0,34	k. A.	0,004 - 0,2	k. A.	< 0,1	> 0,5
Mangan (mg/l)	0,03	k. A.	k. A.	k. A.	< 0,01	> 75
Zink (mg/l)	< 0,02	0,01-0,05	0,14	>0,02 - 0,1	< 5	0,4 - 1,760

Aufgrund der unzureichenden Wachstumsergebnisse in der Produktionsperiode 2003/2004 wurde ein Teil der Karpfen weiter zu Versuchszwecken aufgezogen. Dem Futter einer Versuchgruppe, die aus 100 K_2 mit einer mittleren Stückmasse von 135 g bestand, wurde ein Immunstimulans-Präparat (ACG, Fa. H.U. Hoffmann, Schweiz) zugesetzt. Die Ergebnisse wurden mit einer gleichstarken Kontrollgruppe mit einer Stückmasse von 159 g ohne Futterzusatz verglichen. Die Karpfen der ACG-Gruppe wiesen gegenüber der Kontrollgruppe ein etwas besseres Wachstum auf, das zu einem geringeren Futterquotienten der ACG-Gruppe (1,05 gegenüber 1,21 kg Futter/kg Zuwachs) und einem geringfügig höheren spezifischen Bestandsmassewachstum (1,66 gegenüber

1,51 Prozent/d) führte. Die Besatzdichte lag jedoch mit ca. 5 kg/m³ weit unterhalb von Produktionsbedingungen.

Tabelle 4: Abfischungsergebnis in der K₁ - K₂ -Produktionsperiode 2003/2004

Becken - Nr.	Volumen (m ³)	Stückzahl	Stückmasse (g)	Bestandsmasse (kg)	Besatzdichte (kg/m ³)
2	21,6	9.719	241	2.338	108
4	21,6	10.076	238	2.398	111
6	10,6	8.451	155	1.309	123
8	10,6	5.617	161	906	85
9	10,6	3.408	157	535	50
10	10,6	5.671	173	981	93
Summe, Mittel	85,6	42.942	197	8.467	99

Zu Beginn des Produktionszyklus 2004/2005 wurde die Anlage erneut mit einer relativ hohen K₁ - Stückzahl von 43 000 Fischen besetzt. Die Satzkarpfen wiesen eine gute mittlere Stückmasse von 36 g auf. Das Abfischungsergebnis lag bei 41 335 Stück K₂ mit einer mittleren Stückmasse von 349 g. Daraus ergibt sich ein spezifisches Stückmassewachstum von 0,98 Prozent/d. Bei der Abfischungsmasse von 14 425 kg betrug die mittlere Endbestandsdichte 103 kg/m³. Die Verluste waren mit 4 Prozent wiederum sehr gering und der Futterquotient lag mit 1,66 kg Futter/kg Zuwachs im mittleren Bereich der vier Versuchszyklen (Tab. 1). Auffällig war hier ebenfalls wieder die Differenzierung der mittleren Stückmasse in den einzelnen Becken.

Tabelle 5: Abfischungsergebnis in der K₁ - K₂ -Produktionsperiode 2004/2005

Becken - Nr.	Volumen (m ³)	Stückzahl	Stückmasse (g)	Bestandsmasse (kg)	Besatzdichte (kg/m ³)
1	21,6	2.937	551	1.618	75
2	21,6	3.210	551	1.769	82
3	21,6	8.540	361	3.079	143
4	21,6	7.900	314	2.481	115
6	10,6	3.040	385	1.170	110
7	10,6	2.444	333	814	77
8	10,6	6.100	200	1.221	115
10	10,6	4.270	275	1.174	111
11	10,6	2.894	380	1.099	104
Summe, Mittel	139,4	41.335	349	14.425	103

6 Ergebnisse der Aufzucht anderer Fischarten in der Anlage Neiden

Für die Produktionsperiode 2000/2001 waren Sibirische Störe (*Acipenser baeri*) als Edelfischart vorgesehen. Im September 2001 erfolgte ein Besatz mit 4 000 kg Stören verschiedener Größenklassen. Nach einer mittleren Aufzuchtdauer von 248 Tagen konnten nur 5 816 kg abgefischt werden. Die aufgetretenen Erkrankungen und hohen Verluste bedingten eine niedrige spezifische Wachstumsrate des Bestandes von 0,15 Prozent/d und einen hohen Futterquotient von 5,54 kg Futter/kg Zuwachs. Im Rahmen des Projektes wurden auch Streifenbarsch-Hybriden (HSB) aus den Arten *Morone saxatilis* und *M. chrysops* aufgezogen. Die Kreuzung gilt als besonders robust und schnellwüchsig. Für diese Fischart werden zukünftig gute Vermarktungsbedingungen und Preise abgeschätzt (WEDEKIND 2001).

In einem 76-tägigen Aufzuchtversuch (20.07. - 4.10.2001) von HSB-Setzlingen erhöhte sich die mittlere Stückmasse von 1,4 auf 12 g und die Bestandsmasse von 7,2 auf 55,1 kg. Das entspricht einem spezifischen Stückmassewachstum von 2,95 Prozent/d und einem spezifischen Bestandsmassewachstum von 2,83 Prozent/d (Tab. 6).

Tabelle 6: Ergebnisse des Aufzuchtversuches von HSB-Setzlingen 2001

Parameter	Besatz	Abfischung
Gesamtmasse (kg)	7,2	55,2
Anzahl (Stück)	5.000	4.600
Stückmasse (g)	1,44	12
Stückverluste (Prozent)	24,2	
Zuwachs (kg)	47,9	
Futtermenge (kg)	100,7	
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	2,1	
Produktionsdauer (d)	76	
spezifisches Stückmassewachstum (%/d)	2,95	
spezifisches Bestandsmassewachstum (%/d)	2,83	

Ein weiterer Aufzuchtversuch mit HSB-Setzlingen einer mittleren Besatzstückmasse von 1,1 g und einer Gesamtbesatzmasse von 7,96 kg ergab ähnliche Wachstumsdaten. Nach 86 Tagen (25.06. bis 19.09.2002) betrug die mittlere Stückmasse 86 g und die Bestandsmasse 68,23 kg. Das spezifische Stückmassewachstum lag bei 2,57 Prozent/d und das spezifische Bestandsmassewachstum bei 2,50 Prozent/d (Tab. 7).

Tabelle 7: Ergebnisse des Aufzuchtversuches von HSB-Setzlingen 2002

Parameter	Besatz	Abfischung
Gesamtmasse (kg)	7,96	68,23
Anzahl (Stück)	7.200	6.640
Stückmasse (g)	1,11	10
Stückverluste (Prozent)	7,8	
Zuwachs (kg)	60,3	
Futtermenge (kg)	95,2	
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	1,6	
Produktionsdauer (d)	86	
spezifisches Stückmassewachstum (%/d)	2,57	
spezifisches Bestandsmassewachstum (%/d)	2,50	

Im Rahmen eines Mastversuches mit HSB wurden Fische mit einer mittleren Stückmasse von 13 g und einer Bestandsmasse von 78,5 kg über 340 Tage (5.10.2001 bis 10.09.2002) weiter aufgezogen. Aufgrund des geringen Stückmassewachstums von 1,08 Prozent/d konnte nur eine mittlere Körpermasse von 477 g erreicht werden. Zusätzlich traten Verluste von 24 Prozent auf, die zu der relativ geringen Endbestandsmasse von 4 475 kg und einem spezifischen Bestandsmassewachstum von lediglich 0,53 Prozent/d führten (Tab. 8).

Tabelle 8: Ergebnisse des Mastversuches mit HSB 2001/2002

Parameter	Besatz	Abfischung
Gesamtmasse (kg)	78,5	2.136
Anzahl (Stück)	5.900	4.475
Stückmasse (g)	13	477
Stückverluste (Prozent)	24,2	
Zuwachs (kg)	2.057,5	
Futtermenge (kg)	4.432	
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	2,2	
Produktionsdauer (d)	340	
spezifisches Stückmassewachstum (Prozent/d)	1,08	
spezifisches Bestandsmassewachstum (Prozent/d)	0,53	

Im weiteren Verlauf der HSB-Aufzucht ergab sich aufgrund von Problemen im Anlagenmanagement eine nochmalige starke Reduzierung des Wachstums der Streifenbarsch-Hybriden. Daraufhin wurde die Aufzucht der HSB₃ eingestellt. Im Ergebnis der abschließend durchgeführten Schlachtuntersuchung wurde bei zehn HSB₃ mit einer mittleren Stückmasse von 777,5 g eine Bruttoenergie von nur 5,3 MJ/kg festgestellt. Die Fische wiesen infolge der unzureichenden Wachstumsbedingungen eine sehr schlechte Kondition auf. Die weiteren Ergebnisse der Schlachtuntersuchung sind in Tab. 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Ergebnisse der Schlachtuntersuchung von zehn HSB₃ am 14.03.2003 (Mittelwerte)

Parameter	Mittelwert
Stückmasse (g)	777,5
Totallänge (cm)	36,7
Korpulenzfaktor (g *100/cm ³)	1,56
Kopfmasse (g)	175,1
Kopfmasse (Prozent)	22,5
Parameter	Mittelwert
Gonaden (g)	3,5
Gonaden (Prozent)	0,5
Lebermasse (g)	20,0
Leber (Prozent)	2,6
Bauchfett (g)	46,8
Bauchfett (Prozent)	6,0
Restkörper amK (g)	661,3
Restkörper (Prozent)	85,1
Filets mit Haut (g)	358,7
Filets mit Haut (Prozent)	46,2
Filets ohne Haut (g)	298,1
Filets ohne Haut (Prozent)	38,4
Kiemen (g)	25,7
Kiemen (Prozent)	3,3
Trockensubstanz (Prozent)	24,0
Bruttoenergie (MJ/kg)	5,3

Die deutlich besseren Wachstumsleistungen und Konditionsparameter, die die HSB bei Versuchen in der Kreislaufanlage des IfB zeigten und die Marktperspektive dieser Fischart gaben Anlass zu einer erneuten HSB-Setzlingsaufzucht.

Die Anlage wurde am 12.06.2003 mit 16 800 vorgestreckten Streifenbarsch-Hybriden mit einer mittleren Stückmasse von 0,5 g besetzt. Bereits nach drei Wochen machte das starke Auseinanderwachsen der Fische eine Sortierung erforderlich. Trotzdem wurden danach erhebliche Verluste

durch Kannibalismus beobachtet, die ein weiteres Sortieren nach der 5. und 8. Versuchswoche unumgänglich machten. Trotzdem waren in allen Gruppen weiterhin kontinuierlich Verluste zu verzeichnen. Bis zum Oktober 2003 war die Anzahl der Fische auf etwa 50 Prozent abgesunken.

Während der Produktionsperiode im Winterhalbjahr 2003/2004 stellten sich neuartige anlagentechnische Probleme ein. Im Gegensatz zur normalen Betriebssituation wurde seit Dezember 2003 eine starke Belastung des Anlagenwassers mit Schweb- und Farbstoffen festgestellt. In allen Becken war auf der Wasseroberfläche ein Fettfilm und in einigen Becken zusätzlich Schaum zu erkennen. Darüber hinaus fiel ein extrem starkes Aufkommen an Schnecken und Schwimmschlamm in einigen Produktionseinheiten auf. Parallel zu diesen Erscheinungen wurden erhebliche Verluste der HSB festgestellt. Die Ursache dieser Betriebsstörung wurde bereits unter 5. aufgeführt. Vom Ursprungsbesatz der Mastbecken am 08.08.2003 in Höhe von 8 655 HSB-Setzlingen konnten am 19.01.2004 lediglich 58 Fische abgefischt werden. Das entspricht einer Verlustrate von 95,5 Prozent. Auf Grund der unbefriedigenden Ergebnisse wurden die Aufzuchtversuche von Streifenbarsch-Hybriden eingestellt.

In zwei Sommer-Produktionsperioden wurde die Umstellung von teichgezogenen vorgestreckten Zandern auf Trockenfutter und die weitere Aufzucht umgestellter Zandersetzlinge in der Anlage Neiden untersucht.

Bei der ersten Aufzucht 2003 mit Fischen von 2,5 cm Stücklänge und 0,11 g Stückmasse traten umfangreiche Probleme mit Fischkrankheiten (Parasitosen, Bakteriosen), Kannibalismus sowie dem Fütterungs- und Reinigungsregime auf. Nach der 71-tägigen Aufzuchtperiode mit einem Verlust von 96 Prozent wiesen die verbliebenen wenigen Fische eine Stückmasse von 11 g auf. Während der zweiten Sommer-Produktionsperiode 2004 führten die Durchmischung der teichgezogenen vorgestreckten Zander mit Kaulbarschen und eine deutlich aufgetretene Gasblasenkrankheit, die Folgeerkrankungen verursachte und zu hohen Verlustraten führte, wiederum zu unakzeptablen Ergebnissen. Nach der 100-tägigen Aufzuchtphase mit Verlusten von wiederum 96 Prozent ergab sich eine mittlere Stückmasse der restlichen Zander von 33 g.

Der hohe Anteil von Fischen mit Gasblasen in den Augen war erneut Anlass, im Herbst 2004 eine ausführliche Untersuchung der Gasverhältnisse in der Anlage Neiden durchzuführen (s. 7.2). Die Veränderungen in den Augen waren insbesondere nach einem ausgedehnten Wasserwechsel mit Brunnenwasser aufgetreten. Im Ergebnis der Untersuchungen wurden in den Produktionsbecken Stickstoffübersättigung und teilweise auch zu hohe CO₂-Konzentrationen insbesondere nach der Einspeisung von Brunnenwasser festgestellt.

Bei der Aufzucht von Koi-Karpfen und Graskarpfen konnten ebenfalls nur geringe Zuwachsraten erreicht werden und es traten zum Teil sehr hohe Verluste auf. Während eines 33-wöchigen Produktionsabschnitts in den Jahren 2003/2004 ergab sich ein Stückmassewachstum der Koi-Karpfen von 6,8 auf 60 g bzw. ein spezifischer Wert von nur 0,94 Prozent/d. Die Verluste betragen 10 Prozent. Die Koi-Karpfen und die Graskarpfen zeigten sich deutlich anfälliger gegenüber Krankheiten, insbesondere Bakteriosen, als einsömrrige Karpfen.

Tab. 10 zeigt die Bestandsentwicklung der Karpfen und der Edelfischarten in der Anlage Neiden für die Winter-Produktionsperiode 2004/2005. Zwischenzeitliche negative Bestandsentwicklungen bzw. -stagnationen waren auf entsprechende Verluste zurückzuführen. Die Zander, Störe und Graskarpfen wurden im Verlauf der Winter-Produktionsperiode verkauft.

Tabelle 10: Bestandsentwicklung in der Winter-Produktionsperiode 2004/2005 in kg für die einzelnen Fischarten

Bestand (kg)	Okt. 04	Nov. 04	Dez. 04	Jan. 05	Feb. 05	Mrz. 05	Apr. 05	Mai 05
Karpfen, K ₁ - K ₂	1.500	2.240	2.726	4.700	7.000	9.000	11.765	14.425
Graskarpfen, Am _{v-1}	50	93	100	44	80	100		
Stör, S ₁₋₂	100	100	140	200	300			
Zander, Z ₁	280							

7 Bewertung der bisherigen Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt einer kombinierten Satzkarpfen-Edelfisch-Produktion

7.1 Bewertung der produktionstechnologischen Ergebnisse

In der Winter-Produktionsperiode 2000/2001 konnten bei einer relativ hohen Bestandsdichte und Anlagenauslastung Satzkarpfen mit einer mittleren Stückmasse von 592 g abgefischt werden. Das Ziel der Erzeugung „kormoranfester“ Fische mit ca. 600 g Stückmasse wurde damit annähernd erreicht. Neben dem besten spezifischen Stückmassewachstum aller Zyklen von 1,08 Prozent/d spielte dabei auch die hohe K₁ - Stückmasse eine wichtige Rolle. Bis auf die Abfischungsstückmasse und die Stückverluste lagen aber alle anderen Kennwerte (Tab. 1) unter den biotechnologischen Zielvorgaben (s. 2.). Während der folgenden Produktionszyklen wurden die einzelnen biotechnologischen Vorgaben nur in zwei Fällen bei den Verlusten erreicht. In Tab. 11 sind die Mittelwerte der vier Produktionszyklen den biotechnologischen Zielkriterien gegenübergestellt. Die Ursachen für die schlechten Ergebnisse der K₁ - K₂ - Produktion sind in Tab. 12 aufgeführt.

Tabelle 11: Biotechnologische Zielvorgaben und erreichte Werte der K₁ - K₂ -Produktion

Biotechnologisches Kriterium	Zielvorgabe	Mittelwert 2000 - 2005	Spannweite 2000 - 2005
Abfischungsstückmasse (g)	600	376	197 - 592
spezifisches Stückmassewachstum (%/d)	1,5	1,04	0,98 - 1,08
Stückverluste (Prozent)	10	9	4 - 19
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	1,20	1,79	1,60 - 2,20
Endbestandsdichte (kg/m ³)	145	93	53 - 115

Tabelle 12: Ursachen für die schlechten Ergebnisse der K₁ - K₂ -Produktion

Produktionsperiode	Ursachen und Hypothesen für das Verfehlen der Aufzuchtziele
2000 - 2001	Probleme beim Anlagenbetrieb
2002 - 2003	gelegentlich Sauerstoffmangel und zu geringer Wasserwechsel in einzelnen Becken, zum Teil schlechte Wasserqualität durch Instabilitäten der biologischen Reinigung, Erkrankungen, hohe Verluste
2003 - 2004	zeitweise zu geringe Frischwasserzufuhr (Aufsalzung), Erkrankungen, zeitweise negative Bestandsentwicklung
2004 - 2005	sichtbare Vogelbissverletzungen der besetzten K ₁ (laut Anlagenpersonal), Erkrankungen

Die Aufzuchtergebnisse der als hochpreisige Feinfischarten vorgesehenen Störe, Streifenbarsch-Hybriden und Zander waren ebenfalls durch ein geringes Wachstum oder Wachstumsdepressionen sowie teilweise sehr hohe Verluste gekennzeichnet. Die Ursachen für die schlechten Ergebnisse sind in Tab. 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Ursachen für die schlechten Ergebnisse der Edelfischproduktion

Produktionsperiode	Fischart und Aufzuchtphase	Ursachen und Hypothesen für das Verfehlen der Aufzuchtziele
2000 - 2001	Stör - Setzlinge, Stör - Mast	sehr geringe Wachstumsrate (0,15 Prozent/d) durch Erkrankungen und sehr hohe Verluste u. a. durch hohe Nitratgehalte
2002 - 2003	HSB - Mast	s. Tab. 8 und 9, energetische Unterversorgung der Fische, starke Wachstumsdepression
2003	Zander - Setzlinge	starker Kannibalismus, Gasblasenkrankheit, Folgeerkrankungen, sehr hohe Verlustrate (96 Prozent)
2003 - 2004	HSB - Setzlinge	Kannibalismus, zeitweise zu geringe Frischwasserzufuhr (Aufsalzung), starke Wachstumsdepression mit negativer Bestandsentwicklung (Verlustrate 96 Prozent)
	Koi-Karpfen	Vorschädigung des Bestandes, Erkrankungen, Verluste
2004 - 2005	Zander - Setzlinge	Gasblasenkrankheit, Folgeerkrankungen, Kannibalismus, Bestandsdurchsetzung mit Kaulbarschen, Verluste
	Koi-Karpfen	Vorschädigung des Bestandes, Erkrankungen, Verluste
	Graskarpfen	Verfettung durch unzureichende Futtermittel, Erkrankungen, Sauerstoffdefizit (Havarie), Verluste

Die schlechten Zuwachsergebnisse, die geringe Futtermittelverwertung und die hohen Verluste insbesondere der Edelfischarten lassen sich neben gelegentlichen Vorschädigungen der Satzlinge und die für einige Fischarten noch nicht bedarfsgerechten Futtermittel in erster Linie auf die Haltungsbedingungen in der Anlage zurückführen.

Die K_1 - K_2 -Aufzucht 2002/2003 wurde von Wachstums- und Leistungsdepressionen mit Erkrankungen der Fische sowie relativ hohen Verlusten begleitet. Zum einen traten zeitweise fischtoxische Wasserparameter (Ammonium bis 10 mg/l) als Folge von Problemen der biologischen Reinigung und der pH - Wert - Stabilisierung auf (s. 7.2). Daneben führten schwankende Wasserdurchflüsse in den Zulaufleitungen immer wieder zu nicht optimalen oder kritischen Sauerstoffkonzentrationen in einzelnen Becken. Beispielsweise wurde am 18.03.2003 in Rundbecken 3 ein Wert von 13,46 mg/l und in Rundbecken 5 ein Wert von 3,96 mg/l gemessen.

Auffällig ist, dass im Verlauf der drei Produktionszyklen im Zeitraum von 2002 bis 2005 in den Becken 1 - 4 die höchsten mittleren Stückmassen der abgefischten K_2 auftraten und in den Becken 8 und 9 die niedrigsten (s. Tab. 2, 4 u. 5). Die höchsten mittleren Stückmassen lagen 2002/2003 bei

780, 517 und 519 g sowie 2004/2005 bei zweimal 551 g. Diese Verteilung lässt auf instabile Durchflussverhältnisse und damit verbundene Schwankungen der Sauerstoffkonzentrationen schließen. Nach Abstellung der technischen Mängel würden Stückmassen von 500 - 600 g wahrscheinlich häufig erreicht werden können.

In der Sommer-Produktionsperiode 2003 traten unerwartet große Wachstumsdepressionen und Fischverluste bei den in der Anlage aufgezogenen Zandern und Streifenbarsch-Hybriden auf. Zusätzlich zeigten die Zander umfangreiche Gasansammlungen im Augeninneren. In der Winter-Produktionsperiode 2003/2004 wurde eine hohe Belastung des Anlagenwassers mit Stoffwechselabbauprodukten und Schwermetallen festgestellt, die erneut zu erheblichen Verlusten bei den Streifenbarsch-Hybriden führten (95,5 Prozent). Die Depressionen in der Entwicklung der Karpfen wurden ab Anfang Januar 2004 in einem negativen Wachstum und Schwächeerscheinungen, die sich in Parasitenbefall und Kiemenschwellungen äußerten, deutlich. Der Zander-Restbestand verendete vollständig und zeigte darüber hinaus Augenschäden. Nachträglich stellte sich ein längerfristiger Ausfall der Frischwasserversorgung mit nachfolgender Aufsalzung und Qualitätsverschlechterung des Anlagenwassers als wahrscheinliche Hauptursache dieser Probleme heraus.

Zusätzlich wurden durch die Untersuchung der Gasverhältnisse Stickstoffübersättigungen festgestellt, die auf die direkte Einspeisung von Brunnenwasser und mangelnde Entgasungsprozesse in der Anlage insbesondere bei geringem Wasserdurchfluss zurückzuführen sind. Zur Verringerung der Stickstoffübersättigung des Anlagenwassers wurde das Frischwasser im letzten Produktionszyklus in einem der größeren Produktionsbecken einen Tag lang durch die Anlagenluft vorgewärmt und behelfsmäßig durch das Betreiben eines Schaufelradbelüfters entgast. Aus dem Frischwasser-Vorwärmbecken wurde die Anlage dann gespeist.

Die nicht zufrieden stellenden Ergebnisse bei der Aufzucht der Edelfischarten stehen teilweise im Widerspruch zu den bisherigen, im halbertechnischen Maßstab durchgeführten Untersuchungen am IfB. Die Karpfen bewiesen in Produktionsabschnitten und Becken mit günstigen Wachstumsbedingungen ein hohes Wachstumspotenzial und hatten im Vergleich zu den Nebenfischarten durch ihre relativ hohe Robustheit deutlich weniger Krankheitssymptome und geringere Verlustraten.

7.2 Bewertung der Verfahrens- und Anlagentechnik sowie der Bewirtschaftung

Nach der Inbetriebsetzung der Pilotanlage und im Verlauf der weiteren Versuchsproduktionen wurden einige technische und verfahrenstechnische Mängel festgestellt, die in der Folgezeit aber nicht beseitigt bzw. bei der Fahrweise der Anlage nicht berücksichtigt wurden.

Folgende wichtige Punkte sind dabei aufzuführen:

- Beim Betrieb einer Kreislaufpumpe mit voller Leistung wurde ein Wasserdurchfluss von ca. 200 m³/h gemessen. Am Auslauf des Strahlenreaktors bzw. am Einlauf der Fischhaltebecken wurde bei einem Druck im Strahlenreaktor von 0,75 bar eine Sauerstoffkonzentration von 28 mg/l erreicht. Das entspricht einer Sauerstoffaufstockung um ca. 20 mg/l und einem Sauerstoffeintrag von 4 kg/h durch die Sauerstoffbegasung. Dieser O₂-Massestrom ist bei einem spezifischen Sauerstoffbedarf der K₂ von 350 g/t *h ausreichend, um 11,4 t K₂ zu halten. Weil immer nur eine Pumpe betrieben werden kann, ergibt sich ein Sauerstoffeintrag und damit auch ein möglicher Fischhaltebestand von weniger als der Hälfte des geplanten Wertes. In den Produktionszeiträumen 2000/2001 und 2004/2005 wurden höhere Endabfischungsmassen von 19,4 t bzw. 14,4 t erreicht. Wahrscheinlich herrschten in der letzten Aufzuchtphase nicht mehr optimale Sauerstoffverhältnisse.

Mit der Nennleistung der Pumpen von 15 kW ergibt sich eine spezifische Sauerstoffeintragsleistung von 3,75 kW/kg Sauerstoff. Auch wenn die an der Kupplung der Pumpe aufzubringende Leistung unter der Nennleistung des Motors liegt, trägt dieser Wert wesentlich zu den hohen Energiekosten bei (s. 7.3). Zur Sicherung der Sauerstoffversorgung des geplanten maximalen Fischhaltebestandes von 25 t und zur Senkung der Energiekosten wäre eine Vergrößerung der Nennweiten der Rohrleitungen von den Pumpen zum Reaktor (DN 250) notwendig, um die Druckverluste zu verringern. Wenn sich der Wasserdurchsatz dadurch nicht auf über 300 m³/h erhöht, wäre die Installation einer Pumpenanlage mit einem höheren Wasserdurchfluss erforderlich. Am Ende der Produktionsphase sollte dann ein Parallellauf beider Pumpen möglich sein.

Der bisher eingestellte maximale Wasserdurchfluss von 200 m³/h liegt unterhalb des Minimalwertes für den Strahlenreaktor SR 300. Dadurch konnte sich im Reaktor keine kontinuierliche Gasphase aufbauen und die Desorption von Stickstoff und CO₂ war über diesen Weg nicht möglich. Abhilfe kann hier nur durch einen ständigen Betrieb des Wasserführungs- und Sauerstoffeintragungssystems mit Wasserdurchsätzen über 200 m³/h geschaffen werden. Zur Minimierung des Energieaufwandes kann bei geringem Fischbestand der Druck im Reaktor verringert werden.

- Nach den Angaben des Anlagenpersonals stellte die exakte Einregulierung der erforderlichen Wasserströme zu den einzelnen Becken und die Aufrechterhaltung dieser Werte über längere Zeiträume ein bedeutendes Problem dar, das in regelmäßigen Abständen zu ungünstigen oder kritischen Sauerstoffkonzentrationen mit Verlusten führte (s. 7.1) bzw. einen großen Arbeitsaufwand zur ständigen Überprüfung oder Neueinstellung erforderte. Als eine Ursache wurde die Ansammlung von Gaspolstern in den Leitungen angegeben. Weitere Entgasungs-

hähne und -leitungen vor den Membranventilen und deren Ersatz durch andere Stellorgane (z. B. Klappen) könnten hier wahrscheinlich Abhilfe schaffen. Durch die Art der Verlegung des Rohrleitungssystems sind wesentliche technische Voraussetzungen für die Gleichverteilung und eine genaue Regulierung vorhanden. Lediglich die installierten Durchflusswächter werden der Notwendigkeit einer Durchflussmessung nicht gerecht. Ein wichtiger Grund für diese Probleme könnte auch hier die Arbeit mit zu geringen und schwankenden Wasserdurchflüssen sein.

- Die automatische Regelung der Sauerstoffkonzentration hat nur bei nicht vorhandenen Störgrößen ihre Funktion erfüllt. Die Ursache war die Realisierung einer ungeeigneten Regelungsart. Nach Defekt des Gasmassedurchflussreglers wurde die Regelung außer Betrieb gesetzt. Den Schwankungen der Sauerstoffkonzentrationen infolge des unterschiedlichen Sauerstoffverbrauches der Fische wurde nur noch durch Regulierung des zugeführten Sauerstoffmassesstromes per Hand entgegengewirkt. Für einen optimalen Betrieb der Anlage ist eine automatische Regelung der Sauerstoffkonzentration unbedingt erforderlich. Ungünstig bei dieser verfahrenstechnischen Konzeption mit einem Sauerstoffreaktor und vielen Becken ist die Notwendigkeit, die Regulierung der Sauerstoffkonzentration in den einzelnen Becken über den zugeführten Wasserstrom vorzunehmen. Im Wesentlichen setzt dieses Konzept einen möglichst gleichmäßigen Fischbesatz der einzelnen Becken voraus. Auch verschiedene Fischarten bzw. Altersstadien können hier ungünstig sein. Vor einem erneuten Betrieb der Anlage müsste dieses Problem gelöst werden.
- Durch die geringen Wasserdurchflüsse und die mangelnden Möglichkeiten der Desorption und Abführung von Stickstoff und CO₂ aus der Gasphase des Sauerstoffreaktors besteht die Möglichkeit, dass sich beide Gase im Kreislaufwasser anreichern. Der Einfluss der Kaskade unter dem Auslauf der Abfischungs- und Ablaufrinne muss eher als begrenzt eingestuft werden. Erhöhte CO₂-Konzentrationen entstehen als Folge der Stoffwechseltätigkeit der Fische. Übersättigungen des Wassers mit molekularem Stickstoff können sich infolge der Aufheizung des zugeführten Brunnenwassers oder des Ansaugens von Luft auf der Saugseite der Pumpen ergeben. Ein Überschreiten bestimmter Schwellenwerte der Stickstoff-Sättigung des Wassers kann die Gasblasenkrankheit bei Fischen nach sich ziehen, die zu hohen Verlusten führen kann. Die Schwelle des Beginns von Beeinträchtigungen oder Schädigungen der Fische liegt für ältere Satzfisher und Speisefische bei 5 bis 20 Prozent Stickstoffübersättigung (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998). Brut kann schon ab 4 bis 10 Prozent Übersättigung betroffen sein.

Sehr eindeutige Symptome der Gasblasenkrankheit konnten bei der Aufzucht von Zanderbrut im Sommer 2003 und 2004 festgestellt werden. In geschlossenen Kreislaufanlagen mit dem Stählermatik - System[®] ist der Gasaustausch mit der Atmosphäre begrenzt. Die wesentlichste

und effektivste Desorptionsmöglichkeit ist unter diesen Bedingungen die Gasphase des Sauerstoffreaktors, die sich im vorliegenden Fall aber in der Regel nicht ausgebildet hat. Besonders kritische Verhältnisse lagen bei den geringen Wasserdurchsätzen während der Sommerproduktion mit begrenzter Auslastung der Anlage vor.

Die Messungen der Gasverhältnisse im Herbst 2004 (28.09. - 11.10.2004) ergaben Stickstoffübersättigungen des Brunnenwassers von 36 Prozent. Durch die Erwärmung steigt die prozentuale Übersättigung weiter. In Abhängigkeit vom Frischwassereinsatz und dem Wasserwechsel des Anlagenvolumens kann es dadurch zu Stickstoffübersättigungen des Anlagenvolumens kommen. Die Messwerte reichten bei einem geringen Wasserwechsel des Anlagenvolumens von $0,125 \text{ h}^{-1}$ von 24 Prozent Stickstoffübersättigung bei einem Frischwasseraustausch von 86 Prozent des Anlagenvolumens infolge einer Havarie bis zu 4 Prozent unter Normalbedingungen. Bei der Arbeit mit hohen Wasserdurchsätzen und einer Auslastung der Anlage in der geplanten Größenordnung kann der N_2 - und CO_2 -Haushalt in der Regel sehr gut über die Abgasung aus dem Sauerstoffreaktor gesteuert werden.

- Der längerfristige Ausfall der Frischwasserversorgung kommt bei einem ordnungsgemäßen Betrieb einer geschlossenen Kreislaufanlage nicht vor.
- Aufgrund der aufgeführten anlagentechnischen Probleme sowie der hohen Verluste und geringen Wachstumsraten konnte die geplante Futtermenge von maximal 375 kg/d nie verabreicht werden. Der Höchstwert lag bei ca. 200 kg/d. Aus diesem Grund wurde das Reinigungssystem eher unterfordert als überlastet. Gleichzeitig traten infolge des regulären Zuwachses, der geringeren Höhe der Sommerproduktionen sowie durch die aufgetretenen Wachstumsdepressionen und hohen Verlusten häufig Schwankungen der verabreichten Futtermengen auf bzw. verabreichtes Futter wurde nicht gefressen. Änderungen der Futterart kommen hinzu. Insgesamt führte das zwangsläufig zu größeren Schwankungen der organischen Belastung, der Ammoniumexkretion der Fische sowie der Ammonifikation. Derartige Belastungsänderungen sind neben der Bildung anaerober Zonen die Hauptursache für Schwankungen der Schlammqualität und damit der Nitrifikationsleistung von Belebtschlammanlagen (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998).

In der Anlage Neiden traten als Probleme des Reinigungssystems gelegentlich Schlammablagerungen im Klärbecken auf, die stark von der Art des verabreichten Futters abhingen. Die Folge waren erhöhte Ammoniumkonzentrationen. Weiterhin hat die zu geringe Nennweite der Leitung für die Schlammrückführung (besser DN 200 statt DN 150) dazu beigetragen. Als weiteres Problem kamen ab 2004 verstärkt Schnecken vor, die den biologischen Rasen dezimierten und damit die Reinigungsleistung des Systems reduzierten.

Die teilweise aufgetretenen Probleme bei der Steuerung des Reinigungssystems können anhand der Winterproduktion 2002/2003 verdeutlicht werden. Hier wurde eine stark schwankende Wasserqualität festgestellt. Besonders auffällig stieg die Ammoniumkonzentration ab dem 9.02.2003 an. Bis zum 07.03.2003 wurden fischtoxische Werte von 10 mg/l und bis zum 17.03.2003 Konzentrationen von 5 mg/l gemessen (Abb. 1). Die Nitritkonzentration lag während dieser Zeit im Bereich von 0,05 bis 0,25 mg/l. Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass die erste Stufe der Nitrifikation über einen längeren Zeitraum nur unbefriedigend arbeitete. Die hohen Ammoniumkonzentrationen waren mit hoher Wahrscheinlichkeit für die aufgetretenen Wachstumsdepressionen, Erkrankungen und Verluste der Fische verantwortlich. Für den Nitratgehalt wurden im Zeitraum vom 22.01.2003 bis zum 02.05.2003 Werte von 150 bis 900 mg/l gemessen (Abb. 2). Die Nitratkonzentration stieg erwartungsgemäß mit dem zunehmenden Fischbestand in der Anlage. Karpfen werden als relativ nitratolerant eingestuft (SCHRECKENBACH 2002), so dass die vorliegenden Nitratkonzentrationen vermutlich keinen bedeutsamen Anteil an den aufgetretenen Problemen besaßen. Zum Ausfall der ersten Nitrifikationsstufe könnten die pH - Wertschwankungen (Abb. 2) einen wesentlichen Beitrag geleistet haben. Diese haben mit hoher Wahrscheinlichkeit ihre Ursache in der Einbringung von Kalkhydrat per Hand. Eine automatische Steuerung des pH-Wertes unter Verwendung von Natriumbicarbonat ist Stand der Technik und sollte im Fall des weiteren Betriebs der Anlage nachgerüstet werden. Veränderungen des pH - Wertes von 0,2 innerhalb eines Tages können die Nitrifikationsleistung des Biofilters bereits beeinflussen (KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998). Neben den pH - Wertschwankungen können auch weitere Unregelmäßigkeiten und Bewirtschaftungsfehler zu den Instabilitäten des Reinigungssystems geführt haben.

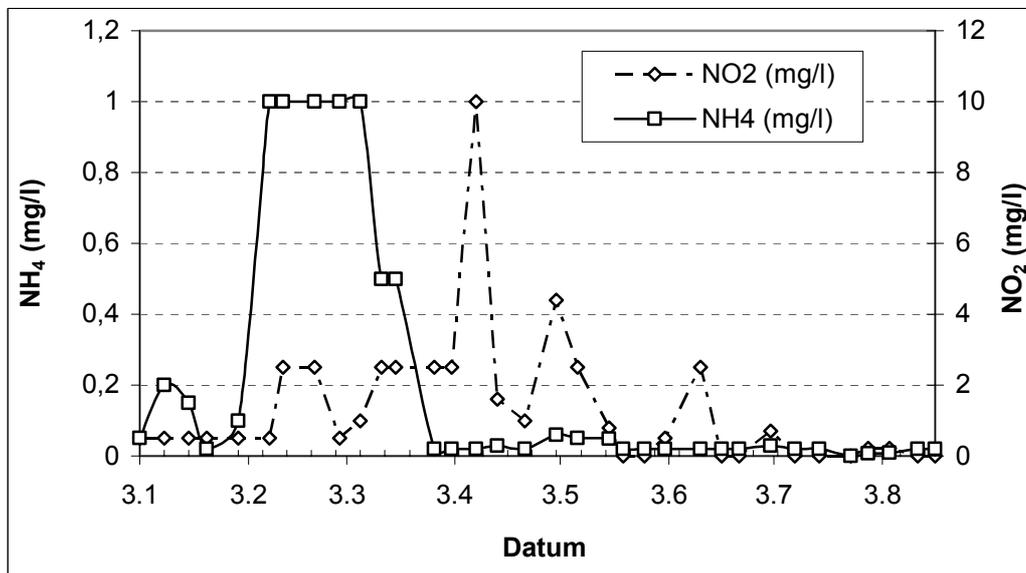


Abbildung 1: Verlauf der Ammonium- und Nitritkonzentrationen ab Anfang 2003

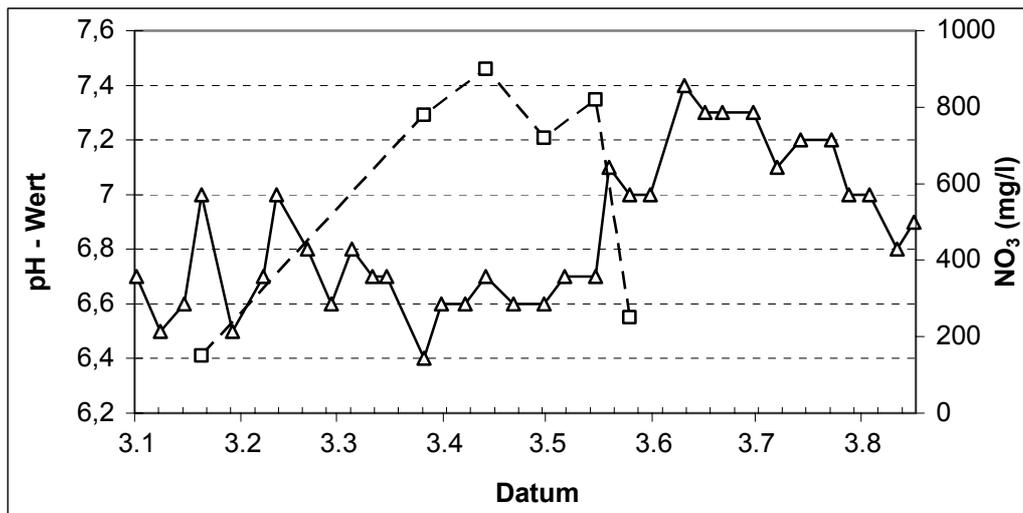


Abbildung 2: Verlauf der Nitratkonzentration und des pH-Wertes ab Anfang 2003

7.3 Ökonomische Bewertung der bisherigen Produktion

Für die Produktionszeiträume 2000/2001 und 2004/2005 mit den besten Ergebnissen der K₁ - K₂ - Produktion wurden die Abrechnungen der Aufwendungen und Erlöse des Betreibers ausgewertet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Werte wurden die wichtigsten variablen Kostenpositionen Satzfi-sche, Futter, Elektroenergie, Wärme, Sauerstoff, weitere Hilfsstoffe und Medikamente sowie Hilfskräfte und Reparaturen auf den Fischzuwachs bezogen angegeben (Tab. 14). Im vorliegenden Fall erfolgte die Wasserversorgung aus einem Brunnen und die Abgabe des Abwassers in einen vor-handen Klärteich, so dass Kosten für diese Medien nicht berücksichtigt werden mussten bzw. in den Elektroenergiekosten enthalten sind.

In beiden Produktionsperioden wurden neben der überwiegenden K₁ - K₂ -Bestandsmasse weitere Fischarten in der Anlage gehalten. Der Besatz 2004 erfolgte mit ca. einem Drittel Masseanteil an-derer Fischarten. Ihr Bestandsanteil verringerte sich durch den Karpfenzuwachs, hohe Verluste und Verkauf sehr schnell. Ab April 2005 setzte sich der Bestand nur noch aus Karpfen zusammen. Die Bestandsmasseentwicklung dieser Fischarten wurde bei der Berechnung der spezifischen Aufwen-dungen in Tab. 14 vernachlässigt. Im Winterhalbjahr 2000/2001 setzte sich der Fischbestand ne-ben Karpfen aus einem relativ gleich bleibendem Störbestand von 4,0 bis- 5,8 t zusammen (s. 6.). In diesem Fall wurden der Satzfish- und Futteraufwand auf die Karpfenaufzucht, alle übrigen Auf-wandskriterien aber auf den Fischzuwachs insgesamt bezogen. Zur besseren Vergleichbarkeit

wurden für die Aufzucht 2000/2001 dieselben Preise wie beim Produktionszyklus 2004/2005 zugrunde gelegt.

Weiterhin wurden in Tab. 14 die Personalkosten für die Anlagenbewirtschaftung berücksichtigt. Es wurde von einem Kostenaufwand von 20 Euro pro Arbeitsstunde ausgegangen (s. a. KLEMM u. FÜLLNER 1995, KLEMM u.A. 2000).

Die wichtigsten variablen Kosten und die personellen Aufwendungen für die Anlagenbewirtschaftung ergeben bereits eine Summe von 5,75 Euro/kg Zuwachs bzw. 5,13 Euro/kg Abfischung. Werden die Miete für die Anlage und die Gemeinkosten hinzugezogen ergibt sich ein Kostenaufwand von 7,83 Euro/kg Zuwachs bzw. 7,00 Euro/kg Abfischung. Unter den einzelnen Kostenpositionen sind neben den hohen Futteraufwendungen der hohe Elektroenergie- und Sauerstoffverbrauch auffällig. Außerdem sind die spezifischen Preise für diese beiden Medien sehr hoch.

Für die Warmwasser-K₂ wurde durch den Betreiber ein Erlös von 2,45 Euro/kg angesetzt. Nach Befragungen lassen sich aber für gut sortierte konditionsstarke Warmwasser-K₂ Preise bis zu 2,80 Euro/kg erzielen. Aber auch unter dieser Voraussetzung ist eine ökonomische Betriebsweise der Satzkarpfenproduktion in der geschlossenen Kreislaufanlage Neiden nicht möglich. Auch bei der ausschließlichen Aufzucht von hochpreisigen Warmwasserfischarten wie Stör oder Zander mit Abgabepreisen an den Großhandel in Ostdeutschland im Bereich von 5,00 bis günstigstenfalls 7,00 Euro/kg (s. 9.2) lässt sich die Anlage mit den bisherigen Produktionsergebnissen und Aufwandskriterien nicht wirtschaftlich betreiben.

Dadurch schließt sich natürlich auch eine kombinierte Karpfen-Edelfischproduktion aus.

Tabelle 14: Zuwachsbezogene variable Kostenpositionen und Aufwendungen für die Anlagenbewirtschaftung

Kennwert	Produktionsperiode	Kennwert/kg Zuwachs	Mittel Kennwert/kg Zuwachs	Euro/Kennwert	Euro/kg Zuwachs	Mittel Euro/kg Zuwachs
Satzfische (kg)	2000 - 2001	0,11	0,12	4,00	0,44	0,46
	2004 - 2005	0,12		4,00	0,49	
Futter (kg)	2000 - 2001	1,70	1,68	0,67	1,14	1,12
	2004 - 2005	1,66		0,67	1,11	
Sauerstoff (kg)	2000 - 2001	1,40	1,40	0,31	0,44	0,43
	2004 - 2005	1,40		0,31	0,43	
Elektroenergie (kWh)	2004 - 2005	5,39		0,168	0,90	1,10
Wärmeenergie (kWh)	2004 - 2005	5,56		0,046	0,26	
Elektroenergie und Wärme	2000 - 2001				1,03	
Salz, Chemikalien, Medikamente (Euro)	2000 - 2001	0,11	0,07			0,07
	2004 - 2005	0,03				
Aushilfskräfte, Reparaturen (Euro)	2000 - 2001	0,26	0,27			0,27
	2004 - 2005	0,28				
Anlagenbewirtschaftung (h)	2000 - 2001	0,092	0,089	20	1,85	1,78
	2004 - 2005	0,086			1,72	
Risikoansatz, 17 % Marktleistung (Euro)*	2000 - 2001	0,46	0,46			0,46
	2004 - 2005	0,46				
Zinsansatz Umlaufvermögen 3 Prozent	2000 - 2001	0,095	0,05			0,05
	2004 - 2005	0,096				
Summe variable Kosten und Arbeitskräfte (Euro/kg Zuwachs)						5,75
Erlöse K₂ Euro/kg Zuwachs						2,45

* Totalausfall alle sechs Jahre

8 Schlussfolgerungen und Vorschläge zur weiteren Verfahrensweise

Ohne Betrachtung der Ökonomie wären als Voraussetzung für den weiteren Betrieb der Anlage Neiden umfangreiche technische Ergänzungen sowie Änderungen in der Fahrweise der Anlage notwendig, die insbesondere das Wasserführungs- und Sauerstoffeintragungssystem betreffen:

- Umbau der Rohrleitungen von den Pumpen zum Reaktor und gegebenenfalls Einbau leistungsstärkerer Pumpen
- Sicherung stabiler Wasserzuflüsse zu den einzelnen Becken durch geeignete Maßnahmen und Fahrweise der Anlage mit höheren Wasserdurchsätzen
- Sicherung der Funktionsweise des Strahlenreaktors zur Realisierung des Sauerstoffeintrags und der Desorption von Stickstoff und CO₂ aus dem Wasser durch eine höhere Anlagenauslastung und eine Fahrweise mit höheren Wasserdurchsätzen
- Instandsetzung bzw. Änderung der automatischen Sauerstoffregelung
- Realisierung einer automatischen pH - Regelung oder zumindest einer weitgehend kontinuierlichen Kalkdosierung

Weiterhin gab es eine Reihe von protokollierten Hinweisen, dass der bekannte Wissens- und Erfahrungsstand zur Bewirtschaftung geschlossener Kreislaufanlagen in der Anlage Neiden nur ungenügend angewandt und umgesetzt wurde.

Aufgrund der aufgeführten Mängel der Verfahrens- und Anlagentechnik sowie beim Management konnten die Ziele für die K₁ - K₂ -Produktion in keinem der betrachteten vier Produktionszyklen erreicht werden. Weiterhin konnten auch die besetzten Nebenfischarten, v. a. Zander und Streifenbarsch-Hybriden und daneben auch Graskarpfen und Stör nicht erfolgreich bzw. nicht mit den üblichen Zuwachsergebnissen aufgezogen werden.

Die durchgeführten Untersuchungen der Verlustursachen und Wachstumsdepressionen unterstreichen die unzureichenden Haltungsbedingungen für die Fische infolge der aufgeführten Mängel. In den vorangegangenen Kapiteln wurden diese Untersuchungen nicht detailliert dargestellt, weil sie aufgrund der vorhandenen und nicht abgestellten grundlegenden Mängel nicht zur Problemlösung beitragen konnten. Folgerichtig zeigten auch die Abrechnungen der Aufwendungen und Erlöse des Betreibers und die berechneten spezifischen Aufwandskennwerte, dass bisher kein ökonomischer Betrieb der Anlage möglich war.

Weil die Versuche zur weiteren Optimierung des Betriebs der Anlage zu keinen Erfolgen führten, kann bei der ökonomischen Betrachtung der K₁ - K₂ -Produktion bestenfalls von den ursprünglichen Zielvorgaben ausgegangen werden. Die Ergebnisse der Berechnung der spezifischen Aufwandskennwerte für die Zielvorgaben sind unter ergänzender Nutzung vorhandener Angaben aus Neiden sowie aktueller Preise in Tab. 15 zusammengefasst. Auch unter diesen Bedingungen ergeben sich variable Kosten und Personalkosten für die Anlagenbewirtschaftung von 5,01 Euro/kg Zuwachs

bzw. 4,73 Euro/kg Abfischung sowie 7,10 Euro/kg Zuwachs bzw. 6,70 Euro/kg Abfischung mit Miete und Gemeinkosten, die eine ökonomische Produktion von Satzkarpfen nicht möglich machen. Die zuwachsbezogenen Produktionsaufwendungen sowie das Stückmassenwachstum und die Verluste sind für hochpreisige Warmwasserfischarten vergleichbarer oder älterer Lebensstadien nicht grundsätzlich besser als für die K₁ - K₂ -Aufzucht unter günstigen Bedingungen. Entsprechende Untersuchungsergebnisse für Störe wurden von RÜMMLER UND PFEIFER (1998) und für Zander von ZIENERT UND HEIDRICH (2005) dargestellt. Eine kombinierte Edelfisch -Satzkarpfen -Produktion oder eine ausschließliche Aufzucht von hochpreisigen Warmwasserfischarten wird daher in der Anlage Neiden ebenfalls nicht rentabel sein.

Die ursprünglich geplante Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion bereitet daneben eine Reihe technologischer Probleme, die abgesehen von der Rentabilität der Produktion auch die praktische Durchführbarkeit erschweren oder unmöglich machen. Für eine Parallelproduktion beispielsweise von Zandern mit der Endmastphase im Sommer wären zusätzlich eine Brutaufzucht- und eine Satzfishanlage mit unabhängigen Kreisläufen erforderlich. Hierzu sind zumindest zum Teil die Produktionseinheiten vorhanden, nicht aber die Reinigungs- und Wasseraufbereitungssysteme. Eine Reihe weiterer technologischer, sowohl produktionsbiologischer als auch verfahrenstechnischer und technischer Probleme, die auch für die Anlage Neiden zutreffen, sind unter 9.2 dargestellt.

Ein weiterer Betrieb der Anlage Neiden in ihrem jetzigen Zustand ist nicht sinnvoll.

Tabelle 15: Zuwachsbezogene variable Kostenpositionen und Personalkosten für die Anlagenbewirtschaftung bei Realisierung der Zielvorgaben

Kennwert	Kennwert/kg Zuwachs	Euro/Kennwert	Euro/kg Zuwachs
Satzfische (kg)	0,06	4,00	0,23
Futter (kg)	1,20	0,75	0,90
Sauerstoff (kg)	0,80	0,18	0,14
Elektroenergie (kWh)	3,60	0,17	0,61
Wärme (kWh)	5,00	0,05	0,25
Salz, Chemikalien, Medikamente (Euro)			0,07
Aushilfskräfte, Reparaturen (Euro)			0,27
Anlagenbewirtschaftung (h)	0,09	20	1,80
Risikoansatz, 17 Prozent Marktleistung (Euro)			0,67
Zinsansatz Umlaufvermögen 3Prozent			0,07
Summe			5,01

9 Wahl einer geeigneten Edelfischart und technologische Probleme einer kombinierten Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion

9.1 Generelle Betrachtung

Das Konzept einer kombinierten Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion in geschlossenen Kreislaufanlagen muss generell und insbesondere unter den heutigen Voraussetzungen in Sachsen kritisch bewertet werden.

Die Erzeugung einer hochpreisigen und einer niedrigpreisigen Fischart ist nur sinnvoll, wenn die geschlossene Kreislaufanlage von einem Unternehmen betrieben wird, das die niedrigpreisige Fischart mit großen Vorteilen in der anschließenden eigenen Produktion und Vermarktung nutzen kann und aus diesen Gründen geringere Gewinne bzw. Verluste in Kauf nimmt, d.h. dass durch diese Produktion Marktengpässe überwunden werden. Bei einer strikten unabhängigen Marktorientierung ist eine derartige Bewirtschaftung nicht haltbar und würde nach kurzer Zeit zur ausschließlichen Erzeugung der Edelfischart führen. Die Vermarktungsmöglichkeiten werden dabei vorausgesetzt.

9.2 Wahl einer geeigneten Edelfischart

Als hochpreisige Warmwasserfischarten könnten neben Stören Europäische Welse und in Anbetracht der letzten Fortschritte auch Zander in Frage kommen. Die Auswahl einer geeigneten Edelfischart muss in erster Linie nach den Absatzmöglichkeiten und den erzielbaren Preisen erfolgen. Die Aufzuchtmöglichkeiten in geschlossenen Kreislaufanlagen sind für alle genannten Arten vorhanden (RÜMMLER U. PFEIFER 1998, ZIENERT U. HEIDRICH 2005, LÄMMLE ET AL. 1999, OTTO-LÜBBKER 2004).

Aufgrund der Höhe der erforderlichen K_2 -Produktion und damit auch der zu nutzenden Kapazitäten für die „Ergänzungsproduktion“ muss für die erzeugten Edelfische ein Absatz an den Großhandel zugrunde gelegt werden.

Das deutsche Störaufkommen lässt sich auf unter 100 t/a abschätzen. Für die Warmwasserproduktion wurde 2002 bis 2004 ein Aufkommen von 12 bis 21 t mit Abgabepreisen an den Großhandel von 8,70 Euro/kg angegeben (LUKOWICZ U. BRÄMICK 2003, BRÄMICK 2004, 2005). Auch bei den gegenwärtig in Ostdeutschland veranschlagten geringeren Abgabepreisen an den Großhandel von 5 Euro/kg ist die Aufnahmefähigkeit des Marktes sehr begrenzt. Ohne gesicherte Absatz- und Verarbeitungswege sind größere Posten nicht zu verkaufen. Angesichts der jüngsten Festlegungen der CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna - Washingtoner Artenschutz-Abkommen, s.a. ANDERS 1999) über das zeitweise Verbot des Handels mit

natürlichem Kaviar (KNÖSCHE 2006) sind weitere Versuche der künstlichen Kaviarproduktion zu erwarten. Die dabei als Nebenprodukt anfallenden größeren Mengen Störfleisch werden mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Überangebot mit deutlichem Preisverfall führen. Eine Orientierung auf Störe als hochpreisige Fischart erscheint für das betrachtete Bewirtschaftungsmodell daher nicht mehr sinnvoll.

Das deutsche Aufkommen an Europäischem Wels lag in den Jahren 2000 bis 2004 im Bereich von 81 bis 145 t (LUKOWICZ U. BRÄMICK 2003, BRÄMICK 2004, 2005). Der Abgabepreis größerer Mengen an den Großhandel wurde mit 4,00 Euro/kg angegeben. Bei dem im Jahr 2005 weiter gesteigerten Angebot konnten für lebende Ware nur noch 3,50 Euro/kg erzielt werden. Auch diese Fischart scheidet damit aufgrund der Preissituation für eine kombinierte Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion in geschlossenen Kreisläufen aus.

Eine Technologie für die Zanderaufzucht unter Warmwasserbedingungen konnte in den vergangenen Jahren bis zur Praxisreife entwickelt werden (ZIENERT U. HEIDRICH 2005). Als Voraussetzung für die Nutzung des Zanders in der Aquakultur ist es notwendig, die Aufzucht der Fische mit Trockenmischfuttermitteln und eine weitgehend kontinuierliche Anlagenauslastung und Marktbeschickung zu erreichen. Neben der bereits realisierbaren Anfütterung und Aufzucht der Fische mit Trockenmischfutter wird daher gegenwärtig an der ganzjährigen Erzeugung der Brut gearbeitet. Der Zander bietet den Vorteil eines bereits in den Markt eingeführten Speisefisches und der zusätzlichen Abgabemöglichkeit von Satzfishen insbesondere an Anglervereine. Bei Abgabepreisen frischer Speisefische von 6,00 bis 7,00 Euro/kg bzw. entsprechend höheren Preisen als AMK-Ware auf Eis bietet der Zander von den betrachteten Fischarten die besten Voraussetzungen zur Verwirklichung des aufgeführten Konzeptes. Hinzu kommen die guten Preise, die Satzzander erzielen (Z_1 0,40 - 0,80 Euro/Stück, und Z_2 1,75 - 8,80 Euro/Stück, ZIENERT U. HEIDRICH 2005). Allerdings muss die Absatzschiene frischer Zander als Großhandelssegment erst entwickelt werden. Für eine kombinierte Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion in geschlossenen Kreisläufen wäre demnach unter Vermarktungsaspekten aus heutiger Sicht der Zander am besten geeignet.

Bei der Betrachtung der Vermarktung ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Warmwasser - K_2 - Bedarf für die sächsischen Teichwirtschaftsbetriebe bei mehreren hundert Tonnen anzusiedeln ist. Eine ähnlich hohe Edelfischproduktion zur Auslastung der geschlossenen Kreislaufanlagen würde aber auch beim Zander eine mehrjährige Anlaufphase der Vermarktung erfordern.

9.3 Technologische Probleme einer kombinierten Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion

Das Konzept der kombinierten Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion beinhaltet eine Reihe von Problemen bei der Gestaltung der produktionsbiologischen Abläufe, der Realisierung geeigneter Hal-

tungsbedingungen und der Erzeugung vermarktungsfähiger Fische. Im Einzelnen sind folgende wesentliche Aspekte zu nennen:

Für die Edelfischproduktion steht nur ein begrenzter Zeitraum zur Verfügung. Das dafür nutzbare „Sommerloch“ der K_1 - K_2 -Produktion erstreckt sich von Mitte Mai bis vorzugsweise Anfang Oktober (SCHRECKENBACH ET AL. 1984), d.h. über ca. 3,5 Monate. In der Anfangsphase der K_1 - K_2 -Produktion könnte die Edelfischproduktion mit sich schrittweise verringernder Bestandsmasse weiter geführt werden, sofern die vorhandenen Haltungsbedingungen das zulassen. Ende September bis Anfang Oktober müsste die Edelfischart ihre höchste Bestandsmasse erreicht haben und anschließend durch Ausmästung der kleineren Sortierungen und Vermarktung parallel zum Bestandsmassezuwachs der Karpfen reduziert werden. Das notwendige Herunterkühlen der Anlage für den Karpfenbesatz und die erforderlichen Sortierungs- und Umsetzungsprozesse der beiden Fischarten bedingen Zuwachsreduzierungen insbesondere bei der Edelfischart und eine begrenzte Anlagenauslastung während dieser Periode.

Während dieser Parallel-Produktionsphase, d.h. der Aufzucht beider Fischarten in einem geschlossenen Kreislauf mit demselben Anlagenwasser, müssen insbesondere die wasserchemischen Parameter optimale Lebens- und Wachstumsbedingungen für beide Fischarten gewährleisten. Während Karpfen eine hohe Eindickung bzw. Aufsatzung des Anlagenwassers infolge eines geringen Kreislaufwasseraustausches tolerieren, haben Störe sowie auch Steifenbarsch-Hybriden und Zander (mündl. Mitteilung ZIENERT 2005) damit Probleme. In diesem Zusammenhang zeigen Schwellenwerte der Nitratkonzentration entweder durch ihre direkte Wirkung oder als proportionale Größe der Eindickung den Beginn verschlechterter Lebens- und Wachstumsbedingungen und erhöhter Verluste an Karpfen tolerieren zumindest zeitweise Nitratkonzentrationen bis zu 800 mg/l (SCHRECKENBACH 2000b). Für die letale Konzentrationsgrenze (LC_{50}) wurden Werte von 1 000 bis 2 000 mg/l angegeben (MÁCHOVÁ 1988, SVOBODOVA u.a. 1993). Für Störe und Zander beginnt der kritische Bereich bereits bei 300 bis 400 mg/l (RÜMMLER U. PFEIFER 1998, SCHRECKENBACH 1996, 2000, HEIDRICH U. PFEIFER 2006). Kurzzeitig werden auch Werte bis 700 mg/l toleriert (HEIDRICH U. PFEIFER 2006).

Eine sichere Steuerung der Nitratkonzentrationen kann in geschlossenen Kreislaufanlagen, die in der Regel keine Denitrifikationsstufe besitzen, nur durch einen hohen Wasseraustausch, d.h. eine relativ hohe Frischwasserzufuhr erreicht werden. Die Folge sind erhöhte Kosten für Wasser oder Elektroenergie sowie Wärme. Außerdem sind damit Belastungsschwankungen der biologischen Reinigung verbunden, die für alle bekannten Reinigungssysteme und insbesondere Belebtschlammverfahren ein Problem darstellen (GÖTHLING U. KNÖSCHE 1987, KNÖSCHE U. RÜMMLER 1998). Die Nitrifikation arbeitet am stabilsten mit hoher Leistung, wenn die Anlage kontinuierlich bewirtschaftet wird. Die Vermeidung kurzfristiger Steigerungen der Futtermenge, der ausreichende

Abbau der organischen Substanz, die Vermeidung von pH - Wertschwankungen über 0,2 innerhalb weniger Tage, die Unterbindung von Temperaturschwankungen über 3 °C pro Tag insbesondere im Zusammenhang mit der Frischwasserzufuhr, eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Biofilters sowie die Vermeidung anaerober Zonen sind wichtige Voraussetzungen für eine stabile Arbeitsweise der Biostufe.

Weiterhin kommen bei der Parallelproduktion die bereits in der Anlage Neiden sichtbaren Probleme infolge größerer Unterschiede des Sauerstoffbedarfes in den einzelnen Becken hinzu. Aufgrund der einheitlichen O₂ -Zulaufkonzentration müssen die Wasserdurchflüsse entsprechend des Sauerstoffbedarfes in den einzelnen Becken genau eingestellt werden. Das erfordert eine Durchflussmessung an jedem Becken und geeignete Stellorgane. Gleichzeitig ist der Bedienungsaufwand hoch. Auch deshalb sollten geschlossene Kreislaufanlagen immer aus mehreren kompletten Modulen bestehen, in denen in den einzelnen Fischbecken möglichst ähnliche Fischbestandsmassen gleicher Fischart und -größe gehalten werden.

Eine Technologie der kombinierten Edelfisch-Satzkarpfen-Produktion setzt den anschließenden Absatz der Edelfisch-Sommerproduktion voraus. Eine Mastperiode von Mai bis Ende September, anschließendes „Herunterkühlen“ und zuwachsloses Überwintern der Fische im Teich ist betriebswirtschaftlich wenig sinnvoll. Insbesondere Störe mit ihrem hohen Vermarktungsgewicht sind auch unter diesem Aspekt wenig geeignet für eine derartige kombinierte Produktion.

Für eine Parallelproduktion von Zandern mit der Endmastphase im Sommer müsste eine entsprechende Anlage neben der Mastanlage für die kombinierte Produktion, aus der Erbrütung und Brutaufzucht sowie einer Satzfishanlage für die Edelfischart bestehen. Eine kontinuierliche Produktion und Marktbeschickung mit der hochpreisigen Fischart ist aber unter diesen Voraussetzungen nicht möglich. Auch aus diesen Gründen würde bei einer funktionierenden Zanderproduktion die unrentable Karpfenproduktion mit hoher Wahrscheinlichkeit eingestellt werden.

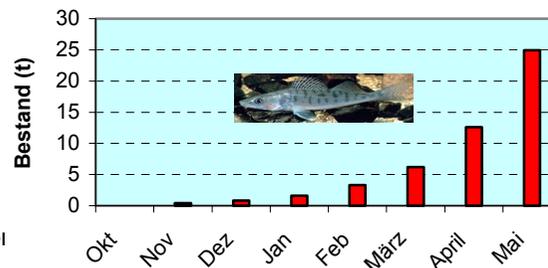
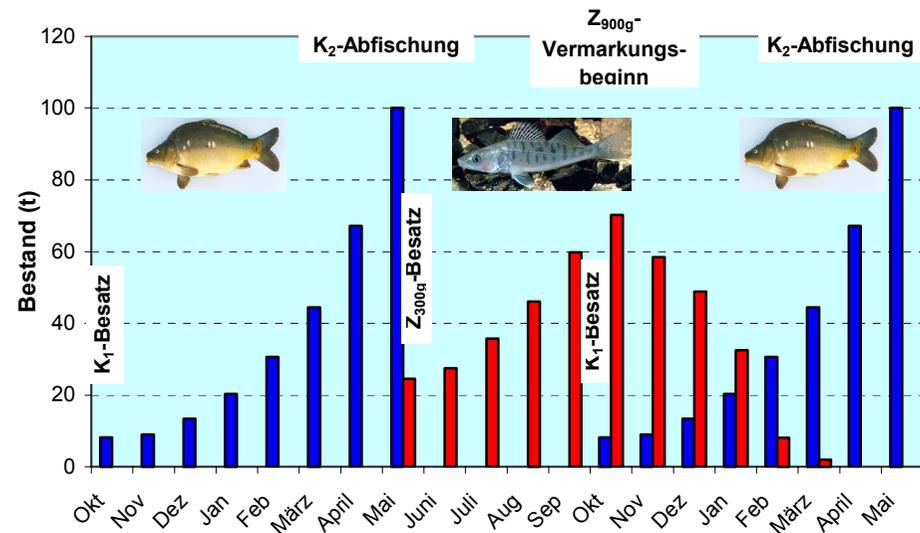
Ein möglicher produktionsbiologischer Ablauf einer kombinierten K₂ -Speisezanderproduktion mit einer Kapazität von 100 t K₂/a und 95 t Zander/a ist in Abb. 3 dargestellt. Bei den technologischen Vorgaben wurde von den Zielstellungen der Anlage Neiden für die K₁ - K₂ -Produktion sowie Werten von ZIENERT UND HEIDRICH (2005) für die Zanderaufzucht ausgegangen. Die Mastanlage hat ein erforderliches produktives Volumen 1 000 m³ und die Satzfishanlage von 360 m³.

Insgesamt wäre eine kombinierte Edelfisch - Satzkarpfen - Produktion neben den ökonomischen Problemen auch mit einer Reihe technologischer, sowohl produktionsbiologischer als auch verfahrenstechnischer und technischer Probleme verbunden.

Mastanlage: 1 000 m³ produktives Volumen,
 K₁ - K₂ - Produktion: 100 t Abfischung,
 Zander-Aufzucht 300 - 900 g: 70 t Abfischung

Laichfischhaltung
 Vermehrung
 Erbrütung
 Anfüttern der Brut (20 d)
 Vorstrecken bis 5 g (52 d)

Abbildung 3: Produktionsbiologischer Ablauf einer Mastanlage von links nach rechts)



Satzfishanlage: 360 m³ produktives Volumen,
 Zander-Aufzucht:
 bis 300 g: 25 t Abfischung im Mai,
 danach 300 - 900 g wie in der Mastanlage: 25 t
 Abfischung

100 t K₂/a und 95 t Zander/a (zeitlicher Ablauf)

10 Weitere Möglichkeiten der intensiven, kormorangeschützten Satzkarpfenerzeugung

Inzwischen sind andere, effektivere Verfahren einer intensiven, kormorangeschützten Satzkarpfenerzeugung verfügbar bzw. werden erprobt, die einen rentablen Betrieb auch ohne eine zusätzliche hochpreisige Fischart absehen lassen. Zum einen sind in Sachsen potenzielle Warmwasser-Ressourcen an Braunkohlekraftwerken vorhanden. Zum anderen kann auch in Teich-in-Teich-Anlagen eine intensive, kormorangeschützte Satzkarpfenerzeugung durchgeführt werden. Im Folgenden soll eine kurze Darstellung der verschiedenen Verfahrensgestaltungen und deren ökonomische Bewertung vorgenommen werden.

Die einfachste Form der Verfahrensgestaltung einer Warmwasseranlage ohne biologische Reinigung wurde im Kraftwerk Jänschwalde realisiert. Diese besteht in der direkten Nutzung des Warmwassers im Kühlkreislauf des Kraftwerkes. Zusätzlich muss Kaltwasser aus der Kühlwasseraufbereitung zugemischt werden, um die angestrebten Temperaturen von 22 bis 25 °C zu gewährleisten. In der Regel steht das Kühlwasser unter Drücken von 0,5 bar und das Kaltwasser mit mehreren bar an. Dadurch kann die Sauerstoffbegasung in den Zuläufen zu den einzelnen Rundbecken angeordnet werden und ein weiterer Energieaufwand für die Sauerstoffanreicherung entfällt. Allerdings ist durch die fehlende Kreislaufführung des Wassers bei den angestrebten Besatzdichten von 100 - 150 kg/m³ ein hoher spezifischer Frischwassereinsatz von über 15 m³/t*h erforderlich (RÜMMLER 2003).

Zum einen muss durch die Höhe des Wasserdurchsatzes der erforderliche Wasserwechsel zum Austrag der Stoffwechselprodukte der Fische aus den Becken von möglichst 1,5 h⁻¹ gewährleistet werden. Zum anderen sollte die Sauerstoffkonzentration im Zulauf 35 mg/l nicht überschreiten, um die optimalen Sauerstoffkonzentrationen mit akzeptablen Regelabweichungen aufrechtzuerhalten. Weil nur ca. ein bis zwei Prozent des Kühlwasserdurchsatzes genutzt werden, sind diese vergleichsweise hohen Frischwassermengen vorhanden. Mit Hilfe nachgeschalteter Siebtrommelfilter kann die Belastung des Kühlkreislaufes durch die Fischproduktion insbesondere mit absetzbaren Stoffen auf einem für das Kraftwerk akzeptablen Niveau gehalten werden. Das Spülwasser der Siebtrommelfilter von ca. 100 bis 150 m³/d einer 100 t-Anlage muss möglichst ohne Abwasserabgabe entsorgt werden. Die Nutzung des Kühlwassers von Braunkohlekraftwerken hat aber auch die bereits unter Pkt. 1 beschriebenen Nachteile. Neben Jänschwalde könnte die direkte Nutzung des Kühlkreislaufes auch in einem zweiten Braunkohlekraftwerk in Sachsen realisiert werden.

Die herkömmliche Variante der K₁ - K₂ -Warmwasserproduktion mit Kraftwerkswasser besteht in der Nutzung des zur Einleitung in die Vorflut vorgesehenen abgeschlagenen Kühlwassers, dem sog. Absalzwasser. Zusätzlich ist wiederum Kaltwasser aus der Kühlwasseraufbereitung des Kraftwerkes einschließlich einer entsprechenden Wassermischung zur Gewährleistung optimaler

Temperaturen erforderlich. Die weitgehende Ausnutzung des vorhandenen Frischwassers durch einen geringen spezifischen Frischwassereinsatz im Bereich von $5 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ erfordert die zusätzliche Kreislaufführung eines Wasserstroms. Bei ausreichendem Vordruck im Zulauf kann die gesamte Sauerstoffanreicherung durch eine sehr hohe O_2 -Beladung des Zulaufwassers bis auf ca. 70 mg/l realisiert werden. Die erforderlichen Wasserwechselraten und die Begrenzung der Sauerstoffkonzentration im Zulauf können mit geringem Energieaufwand durch einfaches Umpumpen eines Teilstromes des abfließenden Wassers gewährleistet werden. Durch die Einstrahlung beider Wasserströme in das Beckenwasser entsteht wieder eine rechnerische Zulaufkonzentration unter 35 mg/l . Bei der Nutzung von Absalzwasser mit anschließender Abgabe in die Vorflut stellt das Ablaufwasser Abwasser im abwasserabgabenrechtlichen Sinne dar. Durch die Nachschaltung eines Siebtrommelfilters werden die Schwellenkonzentrationen der zu betrachtenden Schadstoffe Phosphor, Stickstoff und CSB mit hoher Wahrscheinlichkeit nur für Phosphor überschritten. Dafür muss entsprechend der abgegebenen Frachten Abwasserabgabe entrichtet werden. In Sachsen gibt es für diesen Anlagentyp zwei potenzielle Standorte.

Teich-in-Teich ist ein neues Verfahrensprinzip, mit dem eine intensive kormorangeschützte $K_1 - K_2$ - Aufzucht wie in den Warmwasseranlagen, aber unter den natürlichen sommerlichen Temperaturbedingungen und nach dem herkömmlichen dreijährigen Umtrieb durchgeführt werden kann.

In Teich-in-Teich-Anlagen werden die Vorteile der kontrollierten, intensiven Fischeaufzucht unter stabilisierten Umwelt- und Fütterungsbedingungen in Beckenanlagen mit den funktionellen Möglichkeiten des Teiches kombiniert. Die eigentliche Anlage stellt eine offene Kreislaufanlage mit den Teilprozessen Fischhaltung, Frischwasserzufuhr und Sauerstoffanreicherung dar. Der Abbau der Stoffwechselendprodukte der Fische sowie die Wasserhaltung (Pumpensumpf) und Wassertemperatur werden durch den Teich gewährleistet. Verfahrenstechnisch gesehen entsteht dadurch ein geschlossener Kreislauf mit geringen Emissionen, aber ohne Temperatursteuerung. Nach den bisherigen Erkenntnissen stellen Rechteckbecken, eine separate Frischwasserzufuhr und die Sauerstoffbegasung mit schwimmenden Niederdruckbegasern eine gut geeignete verfahrenstechnische Gestaltung dar. Bei diesem Verfahrensprinzip entstehen für die Frischwasserzufuhr und den Sauerstoffeintrag Energiekosten.

Der geschlossene Kreislauf stellt die aufwendigste Anlagenform dar. Die komplexe Anlagentechnik sowie die Bauhülle führen zu hohen Investitionskosten. Als Medien müssen Frischwasser, Elektroenergie, Wärmeenergie, Sauerstoff und Schmutzwasser zugeführt bzw. entsorgt und bezahlt werden. Ausführlich wurden geschlossene Kreislaufanlagen bereits unter Pkt. 2 und 4 betrachtet. In Tab. 16 sind die erforderlichen Anlagenteile und Medien der einzelnen Anlagentypen für die Satzkarpfenaufzucht zusammengefasst.

Tabelle 16: Erforderliche Anlagenteile und Medien der einzelnen Anlagentypen

Anlagenteile	Medien	Anlage im Kühlkreislauf	Absalzwasseranlage	Teich-in-Teich-Anlage	geschlossener Kreislauf
Fischhaltung		X	X	X	X
Wasserförderung	Elektroenergie			X	(X) ¹
Sauerstoffanreicherung	Elektroenergie		X	X	X
	Sauerstoff	X	X	X	X
Wasseraufheizung	Wärmeenergie				X
mechanische Reinigung	Elektroenergie	X ²	X ²		X ²
biologische Reinigung	Elektroenergie				X ²
Entsorgung	Schmutzwasser	X	X		X

¹ - geringe Frischwasserzufuhr, ² - Elektroenergieaufwand gering

In allen Anlagentypen herrschen vergleichbare Bedingungen für die K₁ - K₂-Produktion, so dass auch grundsätzlich ähnliche Produktionsergebnisse zu erwarten sind. Lediglich bei der Teich-in-Teich-Aufzucht ist der Produktionszeitraum mit günstigen Temperaturen etwas kürzer. Dieser Nachteil kann aber nach den ersten Erfahrungen durch ein höheres Stückmassewachstum ausgeglichen werden (PIETROCK U. RÜMMLER 2005). Daneben könnten auch die etwas ungünstigeren Wasserqualitätsparameter in den Anlagen, die mit Kühlwasser von Kraftwerken arbeiten, einen Einfluss auf das Produktionsergebnis haben. Dieser Sachverhalt wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Es wird in allen Fällen von der Alleinfütterung mit einem vollwertigen Hochenergiefuttermittel mit 42 bis 44 Prozent Protein und 24 Prozent Fett ausgegangen. Daneben werden ein eigener Brunnen für geschlossene Kreislaufanlagen und eine eigene Schmutzwasseraufbereitung durch Rückhalte- oder Schönungsteiche bzw. kostenlose Abgabe des Wasser-Schlamm-Gemisches für alle Anlagentypen mit Ausnahme des Teich-in-Teich-Verfahrens vorausgesetzt. Für die Kraftwerksanlagen wird von geringen (Kaltwasser) oder keinen Kosten für das zur Verfügung gestellte Wasser ausgegangen.

Bei dem folgenden ökonomischen Vergleich wird für alle Verfahren von den in Tab. 17 dargestellten biotechnologischen Kennziffern ausgegangen.

Tabelle 17: Biotechnologische Kennziffern zum ökonomischen Vergleich der Verfahren zur kormorangeschützten intensiven Satzkarpfenproduktion

Parameter	Wert
Besatzstückmasse (g)	35
Abfischungsstückmasse (g)	500
Endbestandsdichte (kg/m ³)	100
Produktionsdauer (d)	200 (170)*
Parameter	Wert
Stückmassewachstum (Prozent/d)	1,33 Prozent/d
Verluste (Prozent)	15
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	1,30
Sauerstoffverbrauch (kg/kg Zuwachs)	1,10

*Teich-in-Teich-Verfahren

In Tab. 18 wurde eine Abschätzung der wichtigsten Kostenpositionen zum Vergleich der prinzipiellen Realisierungsmöglichkeiten der K₁ - K₂ -Produktion in den verschiedenen Anlagentypen vorgenommen. Grundlage bildeten bestehende Anlagen oder am IfB vorhandene Anlagenprojekte sowie aktuelle Preise für Satzfische, Futter und die erforderlichen Medien. Dabei handelt es sich um keine exakte betriebswirtschaftliche Berechnung sondern um eine modellhafte Darstellung. Es wurde wiederum eine auf den Fischzuwachs bezogene relative Berechnungsform gewählt. Einige spezifische und für modellhafte Berechnungen sehr schwer zu bestimmende Positionen wurden nur als Kostenart aufgeführt. Die Summe dieser Positionen muss aus der Differenz zwischen den Erlösen und der Summe der berechneten Kosten beglichen werden können. Kosten, die zwischen den einzelnen Verfahren stärker abweichen sind in Tab. 18 grau unterlegt.

Möglichkeiten einer ökonomisch rentablen K₁ - K₂ -Produktion lassen sich nur für Anlagen, die mit dem Kühlwasser von Kraftwerken entweder direkt im Kühlkreislauf oder als Absalzwasseranlage arbeiten sowie für Teich-in-Teich-Anlagen absehen. Geschlossene Kreislaufanlagen ermöglichen keine rentable K₁ - K₂ -Produktion. Bei den vorhandenen Gestehungskosten ist bereits die Erzeugung hochpreisiger Edelfischarten äußerst risikobehaftet oder nicht durchführbar, hinzu kommen Vermarktungsprobleme.

Auch eine kombinierte Satzkarpfen - Edelfischproduktion in geschlossenen Kreislaufanlagen mit der Zielrichtung eines hohen Anteils der K_2 - Erzeugung ist damit ökonomisch und technologisch nicht durchführbar bzw. sinnvoll.

Geschlossene Kreislaufanlagen erfordern längerfristige intensive Forschungsarbeiten insbesondere auf verfahrenstechnischem Gebiet, um die Investitions- und Energiekosten zu senken. Eine Verbesserung der Biotechnologie bzw. die Suche nach geeigneten Fischarten können die notwendige Kostenreduzierung nicht erbringen.

Die weiteren Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf dem Gebiet der Aquakultur sollten sich in Sachsen auf die praktische Umsetzung der Kraftwerks- und Teich-in-Teich-Anlagen konzentrieren. Bei den Absalzwasseranlagen spielt insbesondere die Ablaufwasserbehandlung zur Minimierung der Abwasserabgabe eine wichtige Rolle. Das Teich-in-Teich-Verfahren steckt trotz erster Erfolge noch in den Anfängen und muss weiter entwickelt werden.

Tabelle 18: Abschätzung der wichtigsten Kostenpositionen zum Vergleich der prinzipiellen Realisierungsmöglichkeiten der K₁ - K₂ -Produktion in den verschiedenen Anlagentypen (zwischen den einzelnen Verfahren stärker abweichende Kosten sind grau unterlegt)

	Preis (Euro/Einheit)	Anlage im Kühlkreislauf	Absalzwasser- anlage	Teich-in-Teich- Anlage	geschlossene Kreis- laufanlage
Satzfische (Euro/kg Zuwachs)	3,9	0,35	0,35	0,35	0,35
Futter (Euro/kg Zuwachs)	0,8	1,04	1,04	1,04	1,04
Elektroenergie (Euro/kg Zuwachs)	0,17	0,04	0,09	0,17	0,70
Sauerstoff (Euro/kg Zuwachs)	0,18	0,20	0,20	0,25	0,20
Heizenergie (Euro/kg Zuwachs)					0,26
Wasserkosten (Euro/kg Zuwachs)		0,08	0,08		0,13
Entsorgungskosten (Euro/m ³)		0,00	0,00		0,00
Zinsansatz Umlaufvermögen	3Prozent	0,05	0,05	0,06	0,07
Risikoansatz (Euro/kg Zuwachs)	10Prozent	0,28	0,28	0,26	0,28
Bewirtschaftung (h)	20 Euro/10 Euro				
Bewirtschaftungskosten (Euro/kg Zuwachs)		0,37	0,37	0,37	1,31
Abschreibung Produktionsanlage (Euro/kg Zu- wachs)	6 Prozent/a	0,27	0,31	0,16	0,85
Zwischensumme/kg Zuwachs		2,68	2,77	2,66	5,19
Zwischensumme/kg Abfischung		2,46	2,54	2,44	4,76
Abschreibungen Erschließung		xxx	xxx	xxx	xxx
Zinsen, Mieten, variable Maschinenkosten, Medi- kamente usw.		xxx	xxx	xxx	xxx
Gemeinkosten, Gewinn		xxx	xxx	xxx	xxx
Verkaufspreis (Euro/kg):		2,80	2,80	2,60	2,80
Voraussetzungen:		keine oder minimale Wasser- u. Abwasser- kosten	keine oder minimale Wasser- u. Abwasser- kosten		keine oder geringe Wasser- u. Abwasser- kosten

11 Zusammenfassende Schlussfolgerung

Eine kormorangeschützte, intensive $K_1 - K_2$ -Warmwasserproduktion in geschlossenen Kreislaufanlagen ist nicht rentabel. Am Beispiel der Anlage Neiden und auf der Grundlage weiterer Betrachtungen der technologischen Probleme und der Marktbedingungen ist auch eine kombinierte Edel-fisch-Satzkarpfen-Produktion in geschlossenen Kreislaufanlagen ökonomisch nicht realisierbar und technologisch wenig sinnvoll. Für eine intensive, kormorangeschützte Satzkarpfenerzeugung unter Warmwasserbedingungen bietet sich in Sachsen die Nutzung der Kühlwässer von zwei Braunkohle-kraftwerken und die Teich-in-Teich-Technologie an. Hier besteht die Möglichkeit, eine rentable Satzkarpfenerzeugung zu erreichen.

Die weiteren Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf dem Gebiet der Aquakultur sollten sich in Sachsen auf die praktische Umsetzung der Kraftwerks- und Teich-in-Teich-Anlagen konzentrieren. Bei den Absalzwasseranlagen spielt insbesondere die Ablaufwasserbehandlung zur Minimierung der Abwasserabgabe eine wichtige Rolle. Das Teich-in-Teich-Verfahren steckt trotz erster Erfolge noch in den Anfängen und muss weiter entwickelt werden.

12 Literatur

- Anders, E. (1999): Störe in Aquakulturanlagen - was hat der Fischzüchter bei der Haltung und beim Handel aus rechtlicher Sicht zu berücksichtigen. Fischerei in Mecklenburg - Vorpommern 5 H. 4: S. 24 - 28.
- Anonym (1997): Kreislaufanlagen. Fischer & Teichwirt 11: S. 479 - 480.
- Anonym (1999): Chancen der Satzfischproduktion in Kreislaufanlagen in Sachsen. In: FREISTAAT SACHSEN - SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Ed.), Studie Januar 1999: 23 S.
- Anonym (2005): Zahlen zur Binnenfischerei. Freistaat Sachsen – Jahresbericht 2004. Broschüre der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft: 46 S.
- Auerbach, W. (1984): Einige Aspekte zur Satzkarpfenproduktion in der Warmwasseranlage Thierbach auf der Basis von K_1 aus der Warmwasseraufzucht. Zeitschrift der Binnenfischerei der DDR 31: S. 80 - 81.
- Blume, H. W. (1998): Neue Satzfischaufzuchtanlage des Teichgutes Peitz. Fischer & Teichwirt 49, H. 6: S. 248.
- Brämick, U. (2004): Binnenfischerei 2003. In: Jahresbericht über die Deutsche Fischwirtschaft 2004. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Köllen Druck & Verlag GmbH Bonn, S. 47 - 76.

- Brämick, U. (2005): Binnenfischerei 2004. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Jahresbericht über die deutsche Fischwirtschaft 2005, DCM Druck Center, Meckenheim (im Druck): S. 66.
- Breuninger, E. (1984): Ergebnisse und Erfahrungen der K1- zu K2-Produktion im Warmwasser in den Winterperioden 1980 bis 1983. Zeitschrift der Binnenfischerei der DDR 31: S. 78 - 79.
- Colt, J. u. Watten, B. (1988): Applications of Pure Oxygen in Fish Culture. Aquaculture Eng. 7, S. 397 - 441.
- Fritzsche, S. (1984): Erfahrungen bei der Überleitung der Technologien in industriemäßigen Karpfenproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Warmwasseranlage Boxberg. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 31: S. 81 - 85.
- Füllner, G. et al. (2000): Ordnungsgemäße Teichwirtschaft im Freistaat Sachsen – Regeln guter fachlicher Praxis. Broschüre der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden: 66 S.
- Göthling, U. & Knösche, R. (1987): Zur Rolle der Bewirtschaftung und einiger Wasserparameter bei der Satzfishproduktion im geschlossenen Kreislauf. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 34: S. 283 - 288.
- Hahlweg, R. (1990): Ganzjährige Nutzung von Kreislaufanlagen - Speisekarpfen in 6 Monaten. Z Binnenfisch 37: S. 196 - 198.
- Heidrich, S. & Pfeifer, M. (2006): Optimierung biologischer und technologischer Parameter für die Aufzucht von Stören in Kreislaufanlagen. Schriften der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, dieser Band.
- Hochleithner, M. (1996): Störe - Verbreitung, Lebensweise und Aquakultur. Österr. Agrarverlag, Klosterneuburg, 202 S.
- Hofer, R. & Lackner, R. (1995): Fischtoxikologie in Theorie und Praxis. Fischer, Jena, Stuttgart.
- Jacobsen, T. G. (1993): Zuwachs bei dem Stör- Hybriden *Acipenser güldenstaedti* (Oster) x Bester (*Huso huso* x *Acipenser ruthenus*) bei der Anwendung von drei kommerziellen Futtertypen (dän.), DIFTA.
- Klemm, R. & Füllner, G. (1995): Binnenfischerei im Freistaat Sachsen. Komplexe Beratungsunterlagen. Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, , S. 42.
- Klemm, R., Kretzschmar, G., Goldberg, R. Diener, K. & Nusche, H. (2000): Betriebswirtschaftliche Analysen in sächsischen Teichwirtschaften der Jahre 1994 bis 1998. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 5, H. 1, S. 14.
- Knösche, R. & Predel, G. (1985): Stabilisierung und Erhöhung der Satzfishproduktion durch die Aufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 32: S. 330 - 341.
- Knösche, R. & Rümmler, F. (1990): Entwicklung eines Verfahrens zur Satzfishproduktion in Warmwasseranlagen mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung. Forschungs- und Entwicklungsbericht des Instituts für Binnenfischerei Berlin: 33 S.

- Knösche, R. & Rümmler, F. (1998): Intensive Aquakultur. Vorlesungsskript Humboldt-Universität Berlin: S. 313 – 444.
- Knösche, R. (1994): An Effective Biofilter Type for Eel Culture in Recirculating Systems. *Aquaculture Eng.* 13: S. p. 71 - 82.
- Knösche, R. (1998): Warmwasserfischproduktion und Kreislaufanlagen. 50 Jahre Fischerei in Deutschland. Schriftenreihe VDFF H. 12: S. 99 - 105.
- Knösche, R. (2006): Aus aller Welt. Informationen zusammengestellt von Prof. Dr. Reiner Knösche. *Fischer & Teichwirt* 57 H. 54: S. 179 - 182.
- Köck, G. (1996): Die toxische Wirkung von Schwermetallen auf Fische - Beiträge zur Festlegung von Immissionsbereichen für Kupfer, Cadmium, Quecksilber, Chrom, Nickel, Blei und Zink aus fischbiologischer Sicht. In: C. Steinberg, W. Calmano, H. Klapper & R.-D. Wilken (Eds.), *Handbuch Angewandte Limnologie - 2. Erg.Lfg.* 11/96, pp. Ecomed, Landsberg/Lech.
- Kutty, M. N. (1968): Respiratory quotients in goldfish and rainbow trout. *J. Fish. Res. Bd.Can.* 25, S. 1689 - 1728.
- Lämmle, R. et al. (1999): Erfahrungen mit einer Warmwasserkreislaufanlage zur Speisewelsproduktion. *Fischer & Teichwirt* 50 H. 4: S. 141 - 143.
- Lukowicz, M. v. & Brämick, U. (2003): Binnenfischerei 2002. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), *Jahresbericht über die Deutsche Fischwirtschaft 2003*, Köllen Druck & Verlag GmbH, Bonn, S. 49 - 76.
- Máchová, J. (1988): Der Einfluss der Nitrite und Nitrate auf Fische. *Buletin, Vodnany*: S. 29 - 33.
- Mattheis, T. (1979): Datensammlung der Grenzkonzentrationen von Schadstoffen für die Fischproduktion: Orientierungskenndaten. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen, Berlin.
- Mehner, V. & Hanke, G. (1999): Optimiertes Fischzucht-Kreislaufsystem. Förderverein Institut für Medizintechnik Dresden (Abschlussbericht 20.12.1999).
- Noga, E. J. (2000): *Fish Disease - Diagnosis and Treatment*. Iowa State University Press, Ames.
- Otto-Lübbker, H. (2004): Produktion von Flusswelsen in einer Kreislaufanlage - Erfahrungen und Kosten. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Fischerei (Ed.), *Fortbildungsseminare am Institut für Fischerei: Fischhaltung und Fischzucht (Tagungsbericht)*, pp. 13 - 14. Direkt Marketing u. Digitaldruck, Freising.
- Peteri, A., Horvath, L., Ronyai, A. & Rideg, A. (1988): Die Zucht und die Produktion der Störartigen (II) (ungar.). *Halaszat* 34/6, S. 167 - 171.
- Pfeifer, M. (1987): Möglichkeiten der Verlustsenkung bei der K₂-Produktion durch Optimierung der Umweltbedingungen am Beispiel der Rundbeckenanlage mit Sauerstoffbegasung in der WWA Hirschfelde. Abschlussarbeit zum postgradualen Studium Fachingenieur für Fischgesundheitsdienst, Humboldt-Universität Berlin, 35 S.
- Pietroch, M. & Rümmler, F. (2005): Erprobung der Kombination Intensivaufzucht-Standteich unter den Bedingungen Brandenburgs (Teich-im-Teich). Projektbericht des Instituts für Binnenfische-

- rei e.V. Potsdam-Sacrow i.A. der Spreewaldfisch Verarbeitungs- und Vermarktungsgesellschaft mbH: 31 S.
- Ronyai, A., Ruttkay, A., Varadi, L. (1990): Growth of Siberian Sturgeon and that of its both Hybrids with the Sterlet in Recycling System. *Acipenser - Actes du premier colloque international sur l'esturgeon*, Bordeaux 3-6 octobre 1989, CEMAGREF, S. 423 - 427.
- Rümmler, F. & Pfeifer, M. (1998): Aufzucht von Stören unter verschiedenen Produktionsbedingungen. *Fischer & Teichwirt* 49 H. 6, S. 231 - 234.
- Rümmler, F. & Pfeifer, M. (1987): Erste Versuche zur K₂ - Produktion in einer Anlage mit Sauerstoffbegasung und Rundbecken. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 34 H. 6: S. 179 - 185.
- Rümmler, F. & Pfeifer, M. (1991): Entwicklung eines Verfahrens zur Satzfishproduktion in Warmwasseranlagen mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung. *Fischer & Teichwirt* 42 H. 8: S. 266.
- Rümmler, F. (2000): Biotechnologische und verfahrenstechnische Optimierung im Rahmen des Anlagenbetriebs. In: Wedekind, H. et al. (2000): Biotechnologische und verfahrenstechnische Optimierung im Rahmen des Anlagenbetriebs in der Kreislaufanlage Neiden. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (Projektbericht vom 15.09.1998), Auftraggeber: Förderverein Institut für Medizintechnik Dresden: 32 S.
- Rümmler, F. (2003): Verfahrensgestaltung der Warmwasserfischproduktion im offenen Kreislauf. *Fischer & Teichwirt* 6: S. 208 - 211.
- Rümmler, F. et al. (1998): Erarbeitung der verfahrenstechnischen Gestaltung und der technischen Aufgabenstellung für die Pilotanlage "Optimiertes Fischzucht-Kreislaufsystem". Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow (Projektbericht vom 19.08.1998), Auftraggeber: Stähler GmbH, Hadamar - Niederzeuzheim.
- Säuberlich, E. (1972): Vorteile der Kombination industriemäßiger Produktion von 2sömmrigen Satzkarpfen in Warmwasseranlagen und der Produktion von Speisekarpfen in der Teichwirtschaft. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 19: S. 307 - 315.
- Schreckenbach, K. (1984): Stabilisierung der Satzkarpfenproduktion in Warmwasseranlagen durch Frühbesatz. *Zeitschrift der Binnenfischerei* 31: S. 63 - 68.
- Schreckenbach, K. (1996): Ernährungsbedingte Dysbakterie bei Störhybriden (*Acipenser baeri* x *A. ruthenus*). Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe Fischkrankheiten in Verbindung mit der Deutschen Sektion der European Association of Fish Pathologists, Königwartha.
- Schreckenbach, K. (2000a): Auswirkungen von Kormoranen auf den Gesundheitszustand, die Erträge und die Verluste bei Satzkarpfen in Teichen der JOFRA Fisch GmbH. Stellungnahme des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam Sacrow: 3 S.
- Schreckenbach, K. (2000b): Biologische Grundlagen der Fischhaltung in Kreislaufanlagen. In: Institut für Binnenfischerei (Ed.), *Neue Perspektiven für Kreislaufanlagen?*, pp. 11. Tagungsschrift zur Fortbildungs- und Informationsveranstaltung am 15.06.2000 im Institut für Binnenfischerei, Potsdam-Sacrow.

- SCHRECKENBACH, K. (2002): Einfluss von Umwelt und Ernährung bei der Aufzucht und beim Besatz von Fischen. VDSF - Schriftenreihe Fischerei und Naturschutz 4, S. 55 - 73.
- Schreckenbach, K. et al. (1987): Technologien, Normen und Richtlinien der Fischproduktion. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen: 180 S.
- Schreckenbach, K. et al. (1998): Einfluss von Kormoranen auf Satzkarpfen in ungeschützten und überspannten Teichen. Fischer u. Teichwirt H. 5: S. 186 - 192.
- Schreckenbach, K. et al. (1999): Untersuchungen der Kondition und des Gesundheitszustandes von Satzkarpfen, die von Kormoranen bejagt wurden, nach ihrer Überwinterung in überspannten Teichen. Gutachten des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow: 10 S.
- Sobota, D. (1984): Stand und Entwicklung der industriemäßigen Satzkarpfenproduktion in der Warmwasseranlage Hirschfelde. Zeitschrift der Binnenfischerei der DDR 31: S. 75-77.
- Steffens, W. & Rennert, B. (1987): Einfluss von erhöhtem Futterfettgehalt auf die Überwinterung einsömrriger Karpfen (*Cyprinus carpio*) und die anschließende weitere Aufzucht unter Warmwasserbedingungen. Fortschritt der Fischereiwissenschaft Band. 5/6: S. 37 - 47.
- Steffens, W. (1981): Warmwasserernutzung für die industriemäßige Produktion von Satzkarpfen (*Cyprinus carpio*) in der Deutschen Demokratischen Republik. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 28: S. 233 - 236.
- Steffens, W., Jähnichen, H. & Fredrich, F. (1990b): Störe als Objekte der Aquakultur in Mitteleuropa. Fortschr. Fisch. Wiss. 9, S. 31 - 40.
- Steffens, W., Jähnichen, H. u. Fredrich, F. (1990a): Possibilities of sturgeon culture in Central Europe. Aquaculture 89, S. 101 - 122.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. & Piedrahita, R.H. (2000): Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. Aquaculture Eng. 22, S. 87 - 108.
- Wedekind, H. & Knösche, R. (1998): Zuarbeit zur betriebswirtschaftlichen Bewertung der Satzkarpfenerzeugung in Teichen und in geschlossenen Anlagen. „Optimiertes Fischzucht-Kreislaufsystem“ im Rahmen der Maßnahme „Förderung des Aufbaus einer marktvorbereitenden Industrieforschung und des wirtschaftlichen Strukturwandels“ durch das BMWT. Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow.
- Wedekind, H. & Knösche, R. (2000): Neue Perspektiven für Kreislaufanlagen ? Fischer & Teichwirt 51(11): S. 433 - 435.
- Wedekind, H. (1998): Betriebswirtschaftliche Bewertung der Satzkarpfenerzeugung in Teichen und geschlossenen Anlagen.
- Wedekind, H. (2001): Streifenbarsche - eine neue Fischart für die deutsche Aquakultur? Fischer & Teichwirt 52(6): S. 212 - 213.
- Wedekind, H. et al. (1998): Untersuchungen zur Karpfenaufzucht in einer geschlossenen Kreislaufanlage. Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow (Projektbericht vom 15.09.1998), Auftraggeber: Förderverein Institut für Medizintechnik Dresden.

- Wedekind, H. et al. (2000): Biotechnologische und verfahrenstechnische Optimierung im Rahmen des Anlagenbetriebs in der Kreislaufanlage Neiden. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Projektbericht vom 15.09.1998, Auftraggeber: Förderverein Institut für Medizintechnik Dresden: 32 S.
- Williot, P., Rouault, T., Brun, R., Miossec, G. & Rooryck, O. (1988): Intensive Aufzucht des Sibirischen Störs (*Acipenser baeri*) in künstlichen Teichen (franz.). Aqua Revue 17, S. 29 - 32.
- Wohlfahrt, G. & Lahmann, M. (1971): Preliminary experiments in growing carp in recirculating water. Bamidgeh 23: pp. 103 - 116.
- Zienert, S. & Heidrich, S. (2005): Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriftenreihe des Instituts für Binnenfischerei, Band 18: 63 S.

Anhang: Siehe Datei "Schriftenreihe 13/06 Berichte aus der Fischerei Anhang"

Optimierung biologischer und technologischer Parameter für die Aufzucht von Stören in geschlossenen Kreislaufanlagen

1	Problemstellung und Projektziel.....	57
2	Aufbau der Versuchsanlage.....	59
3	Untersuchungen zur Satz- und Speisefischaufzucht von Stören und Karpfen in geschlossenen Kreislaufanlagen	62
3.1	Versuchsdurchführung	62
3.2	Ergebnisse der Einfahrphase	64
3.2.1	Entwicklung der Wasserqualität	64
3.2.2	Fischbesatz Störe.....	66
3.2.3	Fischbesatz Karpfen und Zander	68
3.3	Ergebnisse der Versuchsphase	69
3.3.1	Entwicklung der Wasserqualität	69
3.3.2	Aufzuchtergebnisse	71
3.3.3	Gehalt an unerwünschten Stoffen und Kontaminanten in Geweben und Organen ..	75
3.4	Diskussion.....	79
4	Einfluss von Futterzusätzen auf die Adaptation von Störsetzlingen.....	82
4.1	Versuchsdurchführung	83
4.2	Entwicklung der Wasserqualität	83
4.3	Aufzuchtergebnisse.....	84
4.4	Diskussion.....	88
5	Fütterungsstrategie während der Adaptation von Störsetzlingen.....	89
5.1	Versuchsdurchführung	90
5.2	Aufzuchtergebnisse.....	91
5.3	Diskussion.....	93
6	Untersuchungen zur Toleranz von Störsetzlingen bei Wassereindickung	94
6.1	Versuchsdurchführung	94
6.2	Ergebnisse	95
6.2.1	Entwicklung der Wasserqualität	95
6.2.2	Aufzuchtergebnisse	97
6.2.3	Mortalität und Erkrankungen	98
6.2.4	Futterverwertung	101
6.3	Diskussion.....	103
7	Zusammenfassung	104
8	Literatur.....	108
	Anhang	Siehe Datei "Schriftenreihe 13/06 Berichte aus der Fischerei Anhang"

1 Problemstellung und Projektziel

Die zuverlässige Erzeugung von Satzkarpfen in der sächsischen Karpfenteichwirtschaft wird durch den Einfluss des Kormorans zunehmend in Frage gestellt. Zum Zeitpunkt der Auftragserteilung des Projektes wurden in Sachsen geschlossene Kreislaufanlagen als ein Mittel zur Aufzucht von kormoranfesten Satzkarpfen mit Stückmassen ab 500 g angesehen. Die Gewährleistung der ökonomischen Rentabilität derartiger Anlagen sollte durch die ergänzende Produktion einer hochpreisigen Fischart im Zeitraum ohne oder mit geringem Karpfenbestand erreicht werden. Dabei wurde insbesondere auf Störe als hochpreisige Fischart orientiert. Störe sind ausgezeichnete Speisefische mit praktisch grätenfreiem Fleisch von einer hohen Qualität. Sie erreichen ab ca. 2 - 3 kg die Speisefischgröße.

Eine ausführliche Bewertung der technologischen und ökonomischen Probleme dieses Verfahrens der kombinierten Satzkarpfen-Edelfisch-Produktion und der in diesem Zusammenhang errichteten und betriebenen Pilotanlage wurde von RÜMMLER et al. (2006) vorgenommen. In einem zweiten ergänzenden Projekt, dessen Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden, erfolgten Untersuchungen zu offenen Fragen der Technologie der Störaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen.

Ab 1990 wurden verschiedene Störarten und deren Hybriden in die europäische Aquakultur eingeführt. Dabei zeigten vor allem die großwüchsigen Arten und Hybriden ein schnelles Jugendwachstum (WEDEKIND 2000). Insbesondere Sibirische Störe (*Acipenser baeri*) werden häufig für die Aquakultur in Kreislaufanlagen genutzt. Sie sind sehr robuste Fische, die, einmal stabil angefüttert, kaum noch Verluste aufweisen und gut mit Trockenfutter aufgezogen werden können. Unter den Bedingungen einer geschlossenen Kreislaufanlage kann das vorhandene Wachstumspotenzial durch die Gewährleistung geeigneter Haltungsbedingungen ganzjährig ausgenutzt werden. Als optimale Temperatur wird ein Bereich zwischen 18 - 22 °C angesehen (ANDERS 2000; HOCHLEITHNER 1996).

Das hohe Wachstumspotenzial im Warmwasser zeigte sich auch in Untersuchungen von RÜMMLER & PFEIFER (1998). Hier wurden Sibirische Störe von 6 auf 318 g mit einem Stückmassenzuwachs von 3 Prozent/d innerhalb von 134 Tagen bei zu vernachlässigenden Verlusten (0,9 Prozent) und einer Futtermittelverwertung von 0,81 kg/kg Zuwachs aufgezogen. In den nachfolgenden zwei Jahren Teichproduktion konnten marktfähige Speisestöre mit einer Stückmasse von über 2 kg erzeugt werden. Die für die Aufzucht in der Aquakultur erforderlichen Jungfische sind relativ leicht auf dem Markt zu beziehen.

Aus der vergleichenden Betrachtung der vorhandenen Literatur ergibt sich die Fragestellung, inwieweit die gewisse Sonderstellung der Störe auf anatomischer, physiologischer und biochemischer Ebene (DOMENEGHINI et al. 1999) auch eine gesonderte Beachtung und Bereitstellung von Umweltparametern erfordert.

Weil bereits junge Störe über ausgeprägte unspezifische Abwehrmechanismen verfügen, traten bei ihrer Aufzucht in Teichen und Anlagen seltener Invasionen und Infektionen und häufiger umwelt- und ernährungsbedingte Schädigungen auf. Parasitäre und bakterielle Erkrankungen erreichten nur selten größere Bedeutung. Die Anfälligkeit der Störe gegenüber verschiedenen Umwelteinflüssen unterscheidet sich teilweise erheblich von anderen Fischarten. Obwohl die Fische eine mit Karpfen vergleichbare Nitrit- und Ammoniaktoleranz aufweisen (FONTENOT et al. 1998), sind sie gegenüber erhöhten Nitratkonzentrationen wesentlich anfälliger (RÜMMLER & PFEIFER 1998).

Aus einigen Untersuchungen geht hervor, dass Störe im Gegensatz zu Karpfen auf die Eindickung des Anlagenwassers in geschlossenen Kreislaufanlagen empfindlich reagieren und es zu Wachstumsdepressionen und Verlusten kommt. Insbesondere bei Nitratgehalten über 300 mg/l kommt es zum Beginn dieser Erscheinungen (RÜMMLER & PFEIFER 1998, SCHRECKENBACH 2000). In diesem Zusammenhang ist gleichzeitig der Einfluss von Nitrit bzw. salpetriger Säure im Anlagenwasser von Bedeutung, deren Toxizität maßgeblich von der Chlorid - Konzentration bestimmt wird (FONTENOT et al. 1998; HUERTAS et al. 2002a). Bekannt ist, dass Cl/NO₂ - N - Verhältnisse von über 8 bei Forellen und von über 17 bei Karpfen die Schadwirkung hemmen. In eingefahrenen geschlossenen Kreislaufanlagen werden diese Voraussetzungen meist erfüllt (SCHRECKENBACH 2000). Insbesondere bei dem aus ökonomischer Sicht angestrebten Betrieb von geschlossener Kreislaufanlagen mit geringem Frischwassereinsatz und der parallelen Produktion von Karpfen und Stören in einer Anlage spielen die Folgeerscheinungen der Eindickung des Anlagenwassers eine wichtige Rolle (s. a. RÜMMLER et al. 2006).

Weiterhin treten bei der Aufzucht und Mast von verschiedenen störrartigen Fischen und ihren Hybriden häufig Wachstumsdepressionen, Erkrankungen und Verluste auf, deren Ursachen bis heute nicht ausreichend geklärt sind. Als Ursache für die Probleme kommen umwelt-, ernährungs- und erregbedingte Einflüsse in Betracht.

Auf dem Gebiet der Ernährung der Störe wird wie bei jungen Karpfen insbesondere über eine geringe Kohlenhydrattoleranz berichtet, was diabetische Zustände und Dysbakterien begünstigt. Empfohlen werden hier Trockenmischfuttermittel mit Getreidgehalten unter 15 Prozent (SCHRECKENBACH 2000). Von Problemen bei der Aufzucht von Stören mit kohlenhydrathaltigen Nahrungsinhaltsstoffen berichten schon SCHRECKENBACH (1996) sowie RÜMMLER & PFEIFER (1998). Zusätzlich wurden in der Pilotanlage Neiden und bei Versuchen am Institut für Binnenfischerei (IfB) Probleme bei der Eingewöhnung von Stören nach dem Besatz in geschlossenen Kreislaufanlagen beobachtet. Bei erfolgter Adaptation erweisen sich die Tiere in der Aufzucht relativ unproblematisch und abwehrstark gegenüber erregbedingten Erkrankungen. Das Projekt verfolgte das Ziel, zur Lösung der aufgeführten produktionstechnologischen Probleme bei der Aufzucht von Stören in Kreislaufanlagen beizutragen.

2 Aufbau der Versuchsanlage

Die Untersuchungen wurden in der Versuchsanlage des IfB durchgeführt. Es standen zwei in beheizbaren Hallen installierte geschlossene Versuchskreislaufanlagen (Anlage 1 und 2) und sechs Aquarienanlagen (Anlage 3, Block A bis E) zur Verfügung (Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht über die Versuchsanlagen und -einrichtungen

Anlagenbezeichnung	Haltungseinrichtung	Gesamtvolumen (m ³)	Beckenvolumen (m ³)	Sauerstoffbegasung
Anlage 1	Rundstrombecken	7,3	1,1	ja
Anlage 2	Silo	11,6	1,3	ja
Anlage 3	Aquarien	2,0	0,025 - 0,15	möglich
Block A, B	Aquarien	je 2,1	0,07 - 0,29	nein
Block C, D, E	Aquarien	je 1,0	0,8	möglich

Die Anlagen 1 und 2 umfassen je fünf bzw. sechs Fischbecken. Das Ablaufwasser der Fischbecken fließt gesammelt zur mechanischen Reinigung (Siebtrommelfilter, Bespannung 60 µm) und von dort aus zum biologischen Reinigungsteil (Wirbelbettreaktor). Nach der Passage des Pumpensumpfes und anschließender Sauerstoffanreicherung im Sauerstoffreaktor gelangt das Kreislaufwasser zurück in die Fischbecken (Abb. 1 und Tab. 2). Durch die vorhandene Mess- und Regeltechnik werden annähernd gleich bleibende Wasserparameter gewährleistet. Dazu zählen insbesondere die Sauerstoffkonzentration, die Temperatur und der pH - Wert. Die Versuche in den geschlossenen Kreislaufanlagen des IfB fanden fast ausschließlich im Warmwasser, d. h. bei 20 - 24 °C, statt.

Tabelle 2: Wasservolumen der Einzelkomponenten der Versuchskreislaufanlage 2

Komponente	Volumen (m ³)
6 Fischbecken	8,0
Absetzbecken	0,7
Wirbelbettreaktor	0,8
Pumpensumpf	0,8
Tropfkörper	0,7
Trommelfilter / Rohre / Rinne	0,6
Gesamtvolumen	11,6

Die sechs Aquarienanlagen sind für den Betrieb im Kreislauf konzipiert. Jeder Aquarienkreislauf ist mit einer mechanischen Filterung (Filterwatte) und einem biologischen Reinigungsteil (Tropfkörper) ausgestattet. In jedem Becken befindet sich ein Druckluftausströmer zur Notbelüftung bei Pumpenausfall. Die Rück- und Außenseiten der Aquarienanlage 3 und die der baugleichen Blöcke A und B (Abb. 2) sind zur Verminderung von Lichtreflexen mit Abtönfarbe gestrichen.

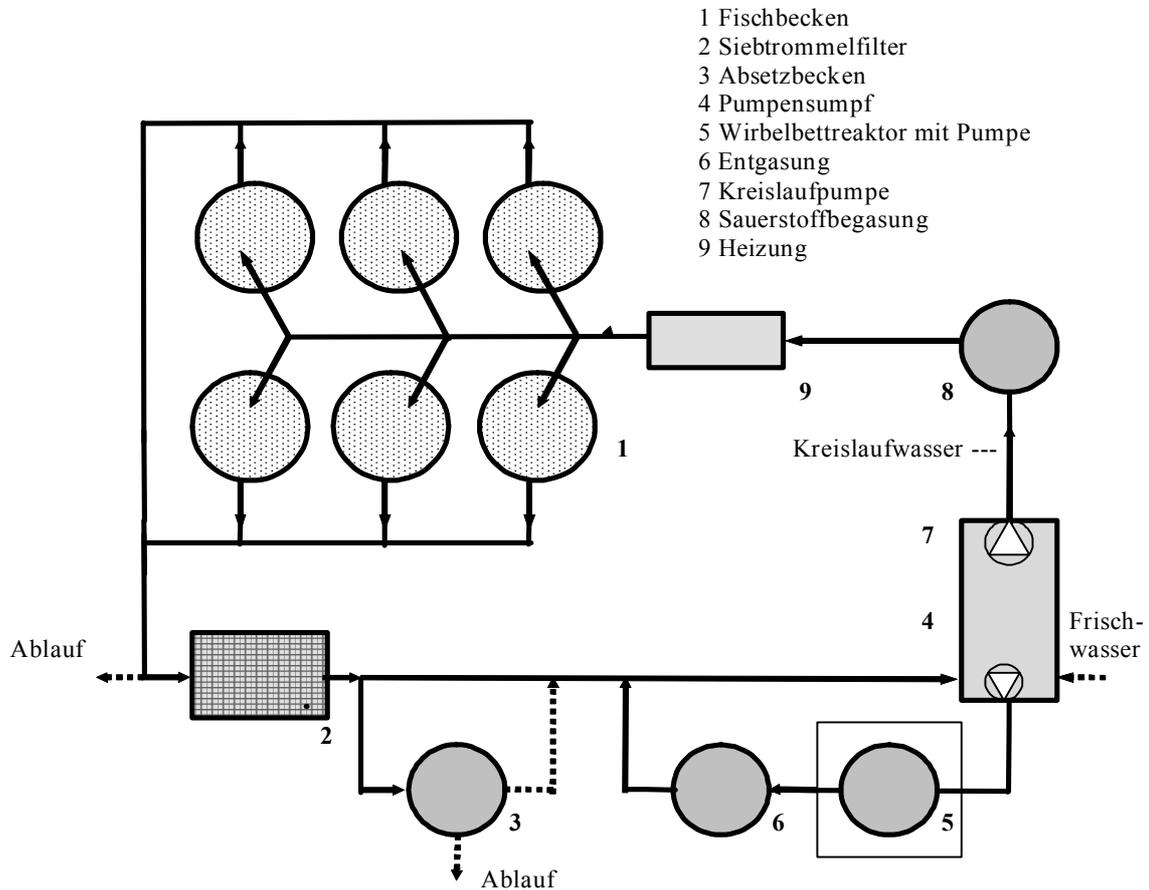


Abbildung 1: Aufbau der Versuchskreislaufanlage 2 (schematisch)



Abbildung 2: Versuchskreisläufe Block A und B

Die drei im Aufbau identischen, getrennten Kreisläufe Block C, D und E besitzen ein quaderförmiges Produktionsbecken mit einem maximalen Gesamtwasservolumen von jeweils $1,0 \text{ m}^3$ (Abb. 3). Alle Kreislaufsysteme sind mit einer zuschaltbaren UV-Desinfektion ausgestattet.



Abbildung 3:
Versuchskreisläufe Block C, D und E

Während der experimentellen Untersuchungen in den Versuchskreislaufanlagen des IfB wurden folgende Parameter der Wasserqualität regelmäßig erfasst:

- tägliche Messung der Temperatur, des pH-Wertes (WTW-Mikroprocessor-pH Meter 196; pH-Messgerät MV 85) und des Sauerstoffgehaltes (WTW Sauerstoffmessgerät 196 Oxi EO 96),
- mindestens einmal pro Woche Analysen der Stickstoffverbindungen (Ammonium/Ammoniak $[\text{NH}_4/\text{NH}_3]$, Nitrit/salpetrige Säure $[\text{NO}_2/\text{HNO}_2]$, Nitrat $[\text{NO}_3]$) (Dr. Lange Spektral-Photometer).

Die Messungen des Dr. Lange Küvetten-Tests (LCK 303, 304, 341, 339) erfolgte in Anlehnung an die DIN-Verfahren.

3 Untersuchungen zur Satz- und Speisefischaufzucht von Stören und Karpfen in geschlossenen Kreislaufanlagen

Bei der gemeinsamen Aufzucht von Karpfen und Edelfischen in einer geschlossenen Kreislaufanlage sollten biotechnologische Erkenntnisse und Daten für die Satzkarpfenerzeugung in Verbindung mit einer kommerziell interessanten Fischart gewonnen werden.

Auf der Grundlage der Hypothese, dass bei geringem Wasseraustausch eine Eindickung des Anlagenwassers, d. h. eine Aufkonzentrierung von Inhaltsstoffen im Verlauf der Aufzucht der empfindlichen Störe negative Effekte hervorruft, sollten am Beispiel Sibirischer Störe (*Acipenser baeri*) diese Effekte und deren Ursachen näher untersucht werden. Der Versuchsbetrieb hatte die Simulation von Produktionsbedingungen zum Ziel. Die Anlage sollte gleichmäßig und bis zum Erreichen von Vollastbedingungen betrieben werden, um die in der Praxis auftretenden Probleme (Eindickung des Anlagenwassers, Wachstumsstagnation der Fische, chronisches Krankheitsgeschehen) experimentell zu erzeugen.

Neben der Erfassung der möglichen Anreicherung von Rückständen im Wasser und im Fischkörper besaß der Versuch orientierenden Charakter für die weiterführenden Untersuchungen.

3.1 Versuchsdurchführung

Zum Einfahren der Kreislaufanlage diente ein Bestand bereits über einen längeren Zeitraum gehaltener Fische (Karpfen, Streifenbarsch-Hybriden, Zander). Vor dem Beginn des Anreicherungsversuches mit Stören wurde die Versuchsanlage 2 mit Frischwasser befüllt. In der Einfahrphase wurde die Wasserqualität mit Hilfe der aufgeführten Methoden analysiert. Der Versuch wurde unter der Vorgabe durchgeführt, mit einem minimalen Wasserwechsel, einer an der oberen Grenze angesetzten Futtermenge und einer auf ein Mindestmaß reduzierten Abscheidung von Schlamm- und mechanischen Reststoffen aus der Anlage den Eindickungszustand in einem vertretbaren Zeitraum zu erzeugen.

Zu Beginn des Störbesatzes, in der Phase einsetzender Fischverluste mit stagnierender Futtermenge und in der Periode mit hohen Fischverlusten und stark reduzierter Futtermenge wurde eine umfangreiche Spurenanalytik zu sich anreichernden organischen und anorganischen Stoffen im Anlagenwasser vorgenommen. Die Wasseranalysen nach den jeweiligen DIN-Vorschriften umfassten neben den in der Analytik von Oberflächenwasser üblichen Summenparametern (z. B. suspendierte Feststoffe, Absorptionskoeffizient, Phenolindex) die Bestimmung von Einzelstoffen sowohl anorganischer Komponenten, z. B. Schwermetallen als auch organischer Parameter wie Pflanzenschutzmittel und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Eine Zusammenstellung der Untersuchungsparameter findet sich in Tab. 3. Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl sowie des

Gehalts an Hefen und Pilzen im Wasser erfolgte im Abstand von vier Wochen mit Cult-Dip combi®, Fa. Merck.

Tabelle 3: Parameter der Wasserlabor-Untersuchungen

-	Färbung, Suspensierte Stoffe insgesamt, elektrische Leitfähigkeit, Geruch
-	Fluorid, Gesamtes extrahierbares Chlor, Eisen (gelöst), Mangan, Kupfer, Zink, Bor, Nickel, Arsen, Kadmium, Chrom gesamt, Blei, Selen, Quecksilber, Barium, Cyanide, Sulfate, Chlorid, anionische Tenside, Phosphate
-	Phenolindex, Gelöste und emulgierte KW, Polycyclische Aromate, Pestizide – gesamt (Parathion, HCH, Dieldrin)
-	Sättigung mit gelöstem Sauerstoff, CSB, BSB ₅ , Kjeldahl-Stickstoff, Ammonium, Nitrat, organischer Kohlenstoff gesamt (TOC)
-	Gesamtkeimzahl

Fischverluste wurden täglich dokumentiert und in der Futterzuteilung berücksichtigt. Der Gesundheitszustand der Fische wurde täglich überwacht. Erkrankte Fische wurden pathologisch-anatomisch, parasitologisch und z. T. mikrobiologisch untersucht. Zum Ende der Phase mit hohen Fischverlusten und stark reduzierter Futtermenge ergab sich die Fragestellung, ob und in welchem Maße sich unerwünschte Stoffe und Kontaminanten bei in Kreislaufanlagen aufgezogenen Fischen, insbesondere Stören, anreichern.

Den Stören, die in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Futtermitteln (Futtermittel von Hersteller I/ Futtermittel von Hersteller II) gefüttert wurden, wurden aus Stichproben Gewebe und Organe entnommen. Muskel (Rücken-Filetstück), Leber, Milz, Fett-Gonaden-Anteil und Gallenflüssigkeit verblieben als tiefgefrorene Proben bis zur Aufarbeitung (Homogenisieren) im Institut für Veterinär-Pharmakologie und Toxikologie GmbH (IVPT), Weißenseer Str. 36, 16321 Bernau.

In die Gewebs- und Organuntersuchungen (Screening) wurden eine Auswahl an möglichen schädigenden Rückständen und Kontaminanten, aber auch einige weitere Stoffe, die aus der Sicht der Fischgesundheit und des Verbraucherschutzes von Interesse waren, einbezogen. Untersucht wurde der Gehalt an ausgewählten Organochlorpestiziden (OCP), Polychlorierten Kohlenwasserstoffen (PCB), Elementen („Schwermetalle“) sowie Polyaromatischen Kohlenwasserstoffen. Den Umfang und das Spektrum der Untersuchungen zeigt Tab. 4. Die Fischproben wurden auf fünf ausgewählte Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht. Die Bestimmung erfolgte in Anlehnung an Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG, 07.00-27. Die Bestimmungsgrenze lag bei 0,001 µg/kg.

Tabelle 4: Umfang und Spektrum der Untersuchungen zum Gehalt an unerwünschten Stoffen und Kontaminanten in Geweben und Organen von Stören

Probenart	Schwermetalle	OCP, PCB	PAK
Muskel	+	+	+
Leber	+	+	+
Fett	+	+	+
Galle	+	+	-
Milz	+	-	-

+ Untersuchung durchgeführt; - Untersuchung nicht durchgeführt

Die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen ausgewählter Elemente (v. a. Schwermetalle) der Untersuchungen zum Gehalt an unerwünschten Stoffen und Kontaminanten in Geweben und Organen von Stören sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

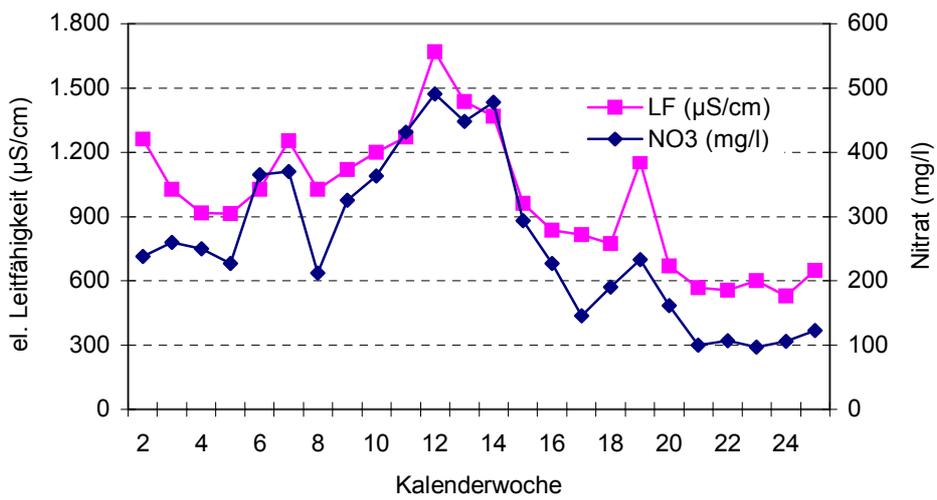
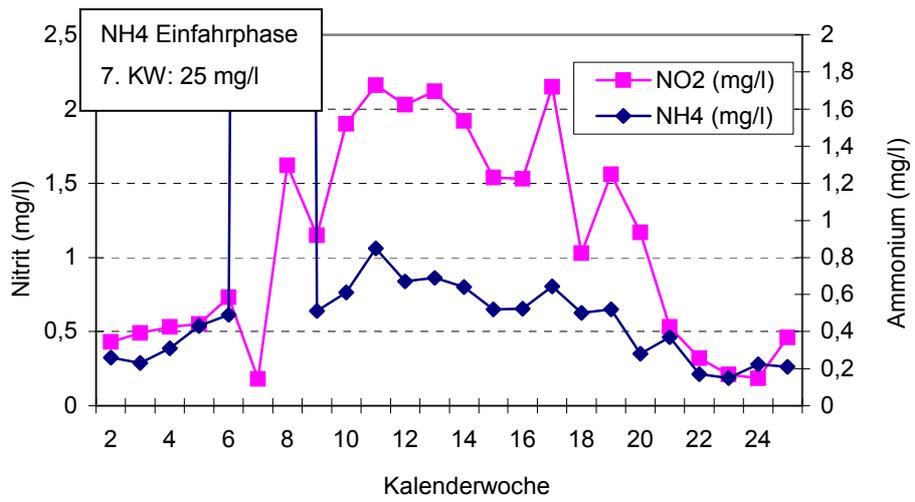
Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen (in mg/kg) ausgewählter Elemente der Untersuchungen zum Gehalt an unerwünschten Stoffen und Kontaminanten in Geweben und Organen von Stören

Element	Nachweisgrenze	Bestimmungsgrenze
Quecksilber (Hg)	0,003	0,012
Arsen (As)	0,009	0,032
Chrom (Cr)	0,010	0,035
Zink (Zn)	0,005	0,016
Kupfer (Cu)	0,005	0,016

3.2 Ergebnisse der Einfahrphase

3.2.1 Entwicklung der Wasserqualität

Aus den nachstehend abgebildeten Ergebnissen der Wasseruntersuchungen geht eine gute und dem Anliegen des Versuches entsprechende Ausgangsqualität des Anlagenwassers hervor (Abb. 4). Die einzelnen Messdaten in der Einfahrphase der Anlage (2. bis 25. Kalenderwoche) sind ausführlich in der Anhangstabelle A-1 verzeichnet. In der 21. Kalenderwoche wurde das Anlagenwasser ca. zur Hälfte ausgetauscht und für einen Zeitraum von drei Wochen ein Wasserwechsel im Bereich von ca. 20 Prozent pro Tag durchgeführt. Der hohe Frischwasseranteil bewirkte eine deutliche Absenkung der elektrischen Leitfähigkeit.



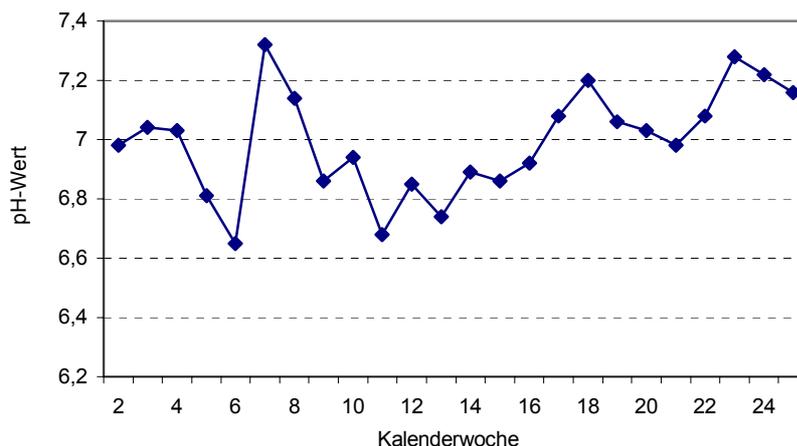


Abbildung 4: Der Verlauf der Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration (mg/l), der elektrischen Leitfähigkeit ($\mu\text{s}/\text{cm}$) und des pH-Wertes in der Einfahrphase der Versuchsanlage (2. - 25. KW)

3.2.2 Fischbesatz Störe

In den vorliegenden Untersuchungen wurde neben der Erfassung von Wachstums- und Leistungsparametern zur Störaufzucht eine Dokumentation von klinischen Erscheinungen erkrankter Störe vorgenommen. Daneben erfolgte durch die Messung der Wasserqualität ein Nachweis der Akkumulation verschiedener Wasserinhaltsstoffe. Zum Versuchbeginn am 25.06.2003 wurden jeweils zwei Becken (Volumen $4 \times 1,3 \text{ m}^3$) mit Sibirischen Stören zweier Größenklassen besetzt. Jeweils eine Gruppe der kleineren und größeren Sortierung (je 255 Stück $\varnothing 18 \text{ g}$ und 104 Stück $\varnothing 260 \text{ g}$, Tab. 6) bildete eine Versuchseinheit, die im Versuchszeitraum von ca. 30 Wochen nur Futtermittel eines Fischfutterherstellers erhielt. Der Frischwassereintrag war auf eine geringe, für die täglichen Reinigungsarbeiten notwendige Wassermenge ausgelegt.

Tabelle 6: Störbestand zum Versuchsbeginn (25.06.2003, 26. KW)

Gruppe	Störe, kleine Größenklasse		Störe, große Größenklasse	
	1	2	1	2
Anzahl	255	255	104	104
Gesamtmasse (kg)	4,6	4,6	27,0	27,0
Stückmasse (g)	18,1	18,1	259,6	259,6
Besatzdichte (kg/m^3)	3,6	3,6	20,8	20,8

Bei der Beurteilung der Ausgangsqualität beider Bestände wurde deutlich, dass die eingesetzten Störe nur eine geringe Bruttoenergie und damit eine unzureichende Kondition aufwiesen (Tab. 7).

Tabelle 7: Ausgangsqualität der eingesetzten Störe (Mittelwerte aus je n = 20)

Parameter	kleine Größenklasse	große Größenklasse
Stückmasse (g)	10,6	189,6
Totallänge (cm)	15,1	41,6
Korpulenz-Faktor (g * 100/cm ³)	0,30	0,26
Trockensubstanz (Prozent)	17,4	23,9
Bruttoenergie (MJ/kg)	3,07	5,31

Die Versuchsfische wurden in der Folgezeit mit zwei kommerziell erhältlichen Versuchsfuttermitteln (Futter I bzw. II) verschiedener Hersteller aufgezogen. Einige wichtige Futtereigenschaften sind in der Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Für die Störaufzucht verwandte Trockenfuttermittel

Futtersorte	Futtermittelhersteller I		Futtermittelhersteller II	
	Brut-Granulat	Extrudat	Brut-Extrudat	Mast-Extrudat
Körnung (mm)	1,4 - 2,2	2,5	1,5	2,0
Rohprotein (Prozent)	57	47	52	48
Rohfett (Prozent)	15	14	13	12

Bereits wenige Tage nach dem Besatz zeigten die Fische der kleinen Sortierung erste Krankheitserscheinungen. An Stichproben von 20 Fischen wurden die äußerlich sichtbaren Symptome beurteilt.

Die pathologisch-anatomische Untersuchung frisch verendeter Störe der kleinen Sortierung ergab einen mäßigen bis schlechten Ernährungszustand, stark aufgehellte Lebern, stark futtergefüllte Mägen und eine gering- bis mittelgradige Enteritis. Parasiten waren nicht nachweisbar. Die Störe der großen Sortierung befanden sich in einem guten bzw. teilweise mäßigen Ernährungszustand. Die pathologisch-anatomische Untersuchung ergab stark aufgehellte und marmorierte Lebern, mittelgradig vergrößerte und geschwollene Milzen. Die Gonaden zeigten sich nur sehr gering entwickelt. Viszeralfett war nicht vorhanden. Die parasitologische Untersuchung ergab einen überwiegend geringgradigen *Trichodina* sp. -Befall der Haut sowie der Kiemen.

Bereits in diesem Anfangsstadium des Projektes zeigten sich Probleme bei der Adaptation von Stören an die Bedingungen einer Kreislaufanlage.

Die Symptomatik verdeutlichte komplexe Schädigungen der Fische durch Umwelt- und Ernährungsmängel, wie sie erfahrungsgemäß bei Adaptationsproblemen, wechselnden Gasverhältnissen und Fehlernährungen auftreten (RÜMMLER & PFEIFER 1998; SCHRECKENBACH 1996). Der Zustand der Störe erforderte eine verringerte Futtergabe. An den Folgetagen zeigten die Störe einen gesteigerten Appetit. Es kam bei einer sehr guten Akzeptanz des verwendeten Futters zu einer deutlichen Verbesserung der Futteraufnahme, so dass am 5. Tag die Fütterungsintensität auf das übliche Maß von 1,5 Prozent erhöht wurde. Nach der erfolgten Adaptation verbesserte sich gleichzeitig der Gesundheitszustand der Störe.

3.2.3 Fischbesatz Karpfen und Zander

Die in den Untersuchungen als Nebenfische verwendeten Zander waren schon sechs Monate vor Versuchsbeginn (Einfahrphase) mit einer Stückmasse von 31 g besetzt worden. Zum Beginn der Untersuchungen mit Stören (25.06.2003) besaßen die Zander (Z₁) Stückmassen von 269 bzw. 298 g. Als weitere Versuchsfische wurden Karpfen (K₂) in die mit Stören besetzte Versuchsanlage eingesetzt. Die Fische stammten aus der Kreislaufanlagen-Aufzucht Neiden. Bei den Satzkarpfen wurde zunächst die Ausgangsqualität bestimmt. Tabelle 9 zeigt die Untersuchungsergebnisse von 15 untersuchten Fischen.

Tabelle 9: Ausgangsqualität der Karpfen (n = 15) zum Versuchsbeginn (25.06.2003, 26. KW)

Parameter	Mittelwert
Stückmasse (g)	339,9
Totallänge (cm)	24,6
Korpulenzfaktor (g/cm ³)	2,1
Kopflänge (cm)	6,1
Kopflänge (Prozent)	25,0
Körperhöhe (cm)	9,0
Körperhöhe (Prozent)	36,7
Schlachtkörper (g)	286,4
Schlachtkörper (Prozent)	83,2
Kopfmasse (g)	74,2
Kopfmasse (Prozent)	22,3
Gonaden (g)	4,1
Trockensubstanz (Prozent)	34,8
Bruttoenergie (MJ/kg)	9,7

Für alle besetzten K₂ wurde ein überdurchschnittlich guter Ernährungszustand festgestellt, der mit einem hohen Verfettungsgrad der Eingeweide einherging. Diese wurden durch den festgestellten hohen Bruttoenergiewert von 9,7 MJ/kg quantifiziert und im Rahmen pathologisch-anatomischer Untersuchungen bestätigt. Im Einzelnen wurde eine hochgradige Verfettung der Lebern mit einer unphysiologisch hellen Färbung festgestellt. Dies deutet auf Mängel bei der vorherigen Aufzucht, z. B. Sauerstoffmangel und der bisherigen Ernährung hin. Parasitologisch war ein geringgradiger *Dactylogyrus* sp.-Befall der Kiemen nachweisbar. Bakteriologische Übersichtsuntersuchungen der parenchymatösen Organe (Leber, Niere, Milz) der 15 Satzkarpfen ergaben überwiegend Keimfreiheit bzw. gering- bis mittelgradige Keimgehalte. Durch die nachfolgend eingeleitete bakteriologische Untersuchung einer Stichprobe durch den Fischgesundheitsdienst Sachsen wurden keine fischpathogenen Erreger nachgewiesen.

Die Karpfen erhielten ein kommerziell erhältliches Extrudat mit einem Gehalt an Rohprotein von 45 Prozent, Rohfett von 16 Prozent und einer Körnung von 4 mm. Der Bestand an Karpfen und Zandern zu Versuchsbeginn ist in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Bestandsdaten der Karpfen und Zander zum Versuchsbeginn (25.06.2003, 26. KW)

	Karpfen	Zander	
Gruppe	1	1	2
Anzahl	84	293	146
Gesamtmasse (kg)	33,2	78,8	43,5
Stückmasse (g)	395	269	298
Besatzdichte (kg/m ³)	25,5	60,6	33,5

3.3 Ergebnisse der Versuchsphase

3.3.1 Entwicklung der Wasserqualität

Die Bestimmungen des Gesamtkeimgehalts und der Gehalt an Hefen sowie Pilzen des Wassers wurden kontinuierlich durchgeführt.

Tabelle 11: Mikrobiologische Wasseruntersuchung in den IfB - Kreislaufanlagen 1, 2 und 3

Messung	Anlage 2 (Versuch)			Anlage 1 (Kontrolle)		
	Bakterien (per ml)	Hefen (per ml)	Pilze (Wachst.)	Bakterien (per ml)	Hefen (per ml)	Pilze (Wachst.)
1	10 ⁵	0	0	10 ⁴	<10 ²	0
2	10 ⁴	<10 ²	0	10 ⁵	10 ³	0
3	10 ⁵	<10 ²	0	10 ⁵	10 ²	0
4	10 ⁵	0	0	10 ⁴	10 ²	0
5	10 ⁵	0	0	-	-	-
6	10 ⁴	<10 ²	0	-	-	-
7	10 ⁴	<10 ²	0	-	-	-

Messung 1 - 3 in Phase kontinuierlich steigender Futtermenge

Messung 4 - 5 in Phase einsetzender Fischverluste mit stagnierender Futtermenge

Messung 6 - 7 in Phase mit hohen Fischverlusten und stark reduzierter Futtermenge

Messung 7 in Nachbeobachtung mit geringer Futtermenge

Die mikrobiologische Untersuchung des Anlagenwassers ergab auch unter hoher Belastung im Versuchskreislauf (Anlage 2) und in den zum Vergleich herangezogenen beiden weiteren IfB-Kreislaufanlagen 1 und 3 (Tab. 18, Komplettübersicht s. Tab. A-2) einen relativ konstanten Wertebereich (s. Tab. 11). Im Versuchskreislauf stieg der Gesamtkeimgehalt an Bakterien maximal auf 10⁵/ml (mäßig - starke Keimbelastung), der auch bei hoher Anlagenauslastung nicht weiter zunahm. In den übrigen Kreisläufen lag der Gesamtkeimgehalt ähnlich bzw. geringfügig höher. Hefen waren im Versuchskreislauf entweder nicht oder mit < 10²/ml nur vereinzelt nachweisbar, d. h. in noch geringerem Maße als die mit max. 10³/ml schwach belastete Anlage 1 (Kontrolle). Pilze wurden ausschließlich in der Anlage 3 (Aquarienkreislauf) in einem Fall mit einem schwachen Wachstum nachgewiesen. Insgesamt ergibt sich somit im Versuchskreislauf keine höhere mikrobielle Belastung als in den weniger beanspruchten Vergleichskreisläufen.

Aus den Ergebnissen der Wasseruntersuchungen sind ansteigende Gehalte des Wassers im Versuchskreislauf an anorganischen und organischen Substanzen sowie an verschiedenen Metallen während des Versuchszeitraums ersichtlich. In der Tabelle 12 ist eine Auswahl an Messwerten angegeben, die teilweise deutlich erhöhte Inhaltsstoffe zeigt. Die übrigen Messergebnisse sind in der Tabelle A-3 aufgeführt.

Tabelle 12: Messwerte der Wasseranalytik (Auswahl) im Versuchskreislauf während der Aufzucht von Stören, Karpfen und Nebenfischen (IfB-Kreislaufanlage 2)

Parameter	Einheit	Beginn des Aufzuchtversuchs	Phase hoher Fischverluste
Vorortparameter			
Geruch	qualitativ	o. B.	fremdartig
Summenparameter			
Suspendierte Feststoffe	mg/l	3	32
Absorptionskoeffizient bei 254 nm	1/m	21,3	68,8
Färbung bei 436 nm	1/m	1,2	8,1
BSB ₅ , abgesetzt	mg/l	4	10
Phenolindex	mg/l	<0,01	1,4
Tenside, anionisch	mg/l	0,3	0,6
CSB, abgesetzt	mg/l	48	132
Metalle			
Kupfer	µg/l	11,5	27,2
Eisen	µg/l	20	60
Zink	µg/l	60	170
Organische Parameter			
Naphthalen	µg/l	<0,005	0,434
Acenaphthen	µg/l	<0,025	0,035
Fluoren	µg/l	<0,025	0,072
Phenanthren	µg/l	<0,025	0,476
Fluoranthren	µg/l	<0,025	0,032
Pyren	µg/l	0,025	0,078
Benzo(a)anthracen	µg/l	0,035	0,078
Chrysen	µg/l	<0,025	0,058
Benzo(a)pyren	µg/l	<0,025	0,162
PAK Summe EPA	µg/l	<0,400	1,425

3.3.2 Aufzuchtergebnisse

Nach erfolgter Adaptation zeigten die jungen Störe im 55-tägigen Wachstumsabschnitt von 20,7 g auf 111,6 (Futter I) bzw. 107,1 g Stückmasse (Futter II) eine tägliche Wachstumsrate von 3,06 bzw. 2,99 Prozent. Während der achtwöchigen Versuchsperiode unter geringen Belastungen (schwache Eindickung des Anlagenwassers) wurde eine sehr gute Wachstumsleistung ohne bedeutsame

Erkrankungen und Verluste ermittelt. Durch die zweiwöchentlich stattfindenden Wägungen wurden Futterverwertungen zwischen 0,48 und 0,86 kg Futter/kg Zuwachs festgestellt. Erst bei Erreichen der für Störprobleme bekannten Aufkonzentrierung des Anlagenwassers stellten sich die Verluste ein.

Unter der Voraussetzung eines täglichen Frischwassereintrags von nur etwa 5 Prozent des Anlagenvolumens kam es mit zunehmender Fischbiomasse und steigendem Futtereintrag zu einer entsprechend erhöhten Stickstoffbelastung des Wassers. Die zunehmende Eindickung des Anlagenwassers führte darüber hinaus auch zu einer Anreicherung zahlreicher weiterer Inhaltsstoffe, die mit Wachstumsdepressionen sowie zahlreichen Krankheitssymptomen einhergingen. Während des deutlich erhöhten Verlustgeschehens traten Gehalte im Anlagenwasser von über 400 mg NO_3^-/l sowie ca. 1 mg NO_2^-/l auf. Als Spitzenbelastung wurden 640 mg NO_3^-/l sowie 1,89 mg NO_2^-/l gemessen.

Durch die pathologisch-anatomischen Untersuchungen wurden Effloreszenzen wie Hautrötungen, Haut- und Flossenblutungen, ulzerierende Hautveränderungen, weitere Hyperämien im Maulbereich (Unterseite des Rostrums) und raumfordernde, kavernöse, mit einer blutigen Flüssigkeit gefüllte Veränderungen in der Muskulatur nachgewiesen (Abb. 5).



Abbildung 5: Junger Stör mit eröffneter Leibeshöhle, kachektisch, mit hochgradig gasgefülltem Magen (links oben). Rötung im Maulbereich (rechts oben). Ulzerierende Hautveränderung (links unten). Ausgedehnte kavernöse Veränderung in der Muskulatur, gefüllt mit blutiger Flüssigkeit (rechts unten).

Mit der Sektion wurden Organveränderungen wie eine beerenartige Struktur der epikardialen Herzoberfläche (entzündliche Auflagerungen), elfenbeinfarbene Lebern (Leberverfettung), Entzündungen im Bereich des spiralig aufgewundenen Enddarms (Enteritiden), umfangsvermehrte bzw. schwammige, hellbraune Nieren, vermehrt flüssigkeitsgefüllte Ureteren sowie gerötete und geschwollene Urogenitalpapillen (Obstruktion) sichtbar. Selten traten Verkrümmungen der Chorda dorsalis (v. a. Kyphosen, Skoliosen) mit z. T. lateraler Verlagerung in die Muskulatur auf. Histologisch wurde in der Leber eine diffuse hochgradige Zellvakuolisierung (Fetteinlagerung) interlobulär, besonders portal und perivasal, sowie eine Rundzelleinlagerung mit Eosinophilenbeteiligung (hochgradige Fettleber) nachgewiesen. Hinsichtlich der Niere ergab die histologische Untersuchung eine multifokale rundzellige interstitielle Nephritis, im Herz eine rundzellige Perikarditis und fokale Myokarditis bei starker Gefäßfüllung sowie eine Verfettung (Abb. 6).

Mit der bakteriologischen Untersuchung der kavernösen Veränderungen der Muskulatur wurden Keimfreiheit bzw. vereinzelt *Pseudomonas fluorescens* nachgewiesen. Die Ulzera der Haut und der Muskulatur waren hochgradig mit *Aeromonas hydrophila*, *A. sobria*, *A. caviae* bzw. weiteren nicht differenzierbaren Keimen besiedelt. Dagegen waren in der Leber, Niere und Milz keine Bakterien nachweisbar. In einem weiteren mit einem ausgeprägten Ulkus behafteten Stör wiesen die Leber und die Niere hochgradige sowie der Darm geringgradige Gehalte an *A. hydrophila* auf.



Abbildung 6: Vermehrter Füllungszustand der Ureteren (oben). Entzündliche Veränderungen auf der epikardialen Herzoberfläche (links unten). Entzündliche Veränderung im Bereich der Urogenitalpapille (rechts unten).

Innerhalb von 148 Tagen wuchsen die Störe der kleineren Sortierung ab einer mittleren Stückmasse von 20,6 g auf Stückmassen von 405 bzw. 395 g (Futter I bzw. II). Das entspricht einer spezifischen Wachstumsrate von 2,02 bzw. 2,01 Prozent/d. In diesem Versuchsabschnitt starben aufgrund der durch die Eindickung des Anlagenwassers hervorgerufenen Belastungssituation jeweils 69 Prozent (Futter I) bzw. 64 Prozent der Fische (Futter II) hauptsächlich im letzten Versuchsdrittel. Die größere Störsortierung erreichte ausgehend von 259,6 g innerhalb von 141 Tagen mittlere Stückmassen von 864,0 bzw. 940,0 g (Futter I bzw. II). Damit lagen die spezifischen Wachstumsraten hier bei 0,86 bzw. 0,92 Prozent/d. In diesem Zeitraum waren analog zur kleinen Störsortierung

62 Prozent bzw. 48 Prozent der Fische (Futter I bzw. II) verendet. In allen Gruppen waren zum Ende des Anreicherungsversuchs durch die sich einstellenden hohen Stückverluste bei den im Abstand von zwei Wochen durchgeführten Probewägungen negative Futterverwertungen festzustellen.

Die zum Ende der beschriebenen Wachstumsabschnitte durchgeführten Blutuntersuchungen ergaben in den vier Gruppen mittlere Methämoglobingehalte im Blut von maximal 8,0 Prozent des Gesamthämoglobins.

Die aus Neiden stammenden K₂ wurden im gleichen Zeitraum ohne Verluste aufgezogen. Die Fische mit einer mittleren Stückmasse von 395 g wuchsen vom Besatzzeitpunkt an innerhalb von 40 Tagen auf 683 g ab. Die spezifische Wachstumsrate betrug 1,42 Prozent/d. Bei Abzug von drei futterfreien Tagen (Probewägungen) ergab sich eine spezifische Wachstumsrate von 1,54 Prozent/d und ein Futterquotient von 0,98 kg Futter/kg Zuwachs bei einer geringen Fütterungsintensität von nur 1,35 Prozent der Bestandsmasse/d. Die Karpfen besaßen eine sehr gute Kondition und einen guten Gesundheitszustand. Auch bei der weiteren Aufzucht traten keine Stückverluste auf. Zum Abschluss des Anreicherungsversuchs besaßen die K₂ nach 148 Tagen bei Futtergaben von ca. 1 Prozent der Bestandsmasse/d eine mittlere Stückmasse von 1547 g. Die Gesundheitskontrolle der Karpfen ergab vereinzelt Rötungen der Haut. Die Eindickung des Anlagenwassers hatte keinen auffälligen Einfluss auf die Futteraufnahme. Bei der auf die 160-tägige Aufzucht folgenden und innerhalb von zwei Wochen durchgeführten Temperaturadaptation von 23 auf 10 °C des Restbestandes von 55 K₃ traten keine Verluste auf.

Bei den Zandern traten im o. g. Versuchszeitraum geringe Verluste auf. Diese lagen in der Gruppe 1 nach einer zwischenzeitlichen Bestandshalbierung bei 2 Prozent und in der Gruppe 2 bei 4 Prozent. Die wenigen Verluste konzentrierten sich fast ausschließlich auf die Phase der höchsten Eindickung des Anlagenwassers. In dieser Periode ging die Futteraufnahme auf ca. 0,5 Prozent der Bestandsmasse/d zurück. Diese Reaktion deutet auf einen negativen Effekt der hohen Eindickung des Anlagenwassers hin. Bei einem Zander entwickelte sich ein hochgradiger Hautulkus im Rückenbereich. Zudem ließen verfettete Leibeshöhlen auf ein unangepasstes Futtermittel schließen. Bei insgesamt niedrigen Fütterungsintensitäten erhöhten sich die mittleren Stückmassen von 269 g (Gruppe 1) und 298 g (Gruppe 2) auf jeweils über 500 g.

3.3.3 Gehalt an unerwünschten Stoffen und Kontaminanten in Geweben und Organen

Bei Erreichen der Phase mit hohen Verlusten bei den Stören wurden aus Stichproben der zwei Fütterungsgruppen (Futter I und II) Gewebe und Organe entnommen: Muskel (Rücken-Filetstück), Leber, Milz, Fett-Gonaden-Anteil und Gallenflüssigkeit.

Untersuchung auf Organochlorpestizide (OCP) und Polychlorierte Biphenyle (PCB)

In den Tabellen 13 und 14 sind die Ergebnisse der Untersuchung auf Organochlorpestizide (OCP) und in Tabelle 15 die Ergebnisse der Untersuchung auf PCB-Kongenere angegeben. Die Werte beziehen sich jeweils auf Originalsubstanz (OS). Der überwiegende Teil der Substanzen lag unterhalb der Nachweisgrenze; sie waren nicht nachweisbar (n. n.).

Tabelle 13: Pflanzenschutzmittel (PSM) bzw. Organochlorpestizide (OCP) in ausgewählten Organen und Geweben (in mg/kg OS) von Stören der Fütterungsgruppe I

PSM (OCP)	Muskel	Leber	Fett-Gonaden	Galle
Tecnazen	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
α-HCH	n. n.	0,012	0,031	0,010
HCB	0,001	0,003	0,009	n. n.
γ-HCH [Lindan]	0,006	0,033	0,136	0,010
β-HCH	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Quintozen	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Heptachlor	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Aldrin	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
cis-Heptachlorepoxyd	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
trans-Heptachlorepoxyd	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
cis-Chlordan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
trans-Chlordan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
o,p-DDE	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
α-Endosulfan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Dieldrin	n. n.	0,004	0,017	n. n.
p,p-DDE	0,002	0,007	0,026	n. n.
o,p-DDE	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Endrin	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
β-Endosulfan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
op-DDD+op-DDT	n. n.	0,010	0,048	n. n.
pp-DDD+pp-DDT	n. n.	0,021	0,146	n. n.

Tabelle 14: Pflanzenschutzmittel (PSM) bzw. Organochlorpestizide (OCP) in ausgewählten Organen und Geweben (in mg/kg OS) von Stören der Fütterungsgruppe II

PSM (OCP)	Muskel	Leber	Galle	Fett-Gonaden
Tecnazen	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
α-HCH	0,006	0,012	0,010	0,036
HCB	0,001	0,003	n. n.	0,012
γ-HCH [Lindan]	0,012	0,062	0,011	0,171
β-HCH	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Quintozen	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Heptachlor	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Aldrin	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
cis-Heptachlorepoxyd	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
trans-Heptachlorepoxyd	n. n.	0,005	n. n.	0,011
cis-Chlordan	n. n.	n. n.	n. n.	0,017
trans-Chlordan	n. n.	0,003	n. n.	0,014
o,p-DDE	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
α-Endosulfan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Dieldrin	0,003	0,005	n. n.	0,021
p,p-DDE	0,002	n. n.	n. n.	0,021
o,p-DDE	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Endrin	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
β-Endosulfan	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
op-DDD+op-DDT	0,006	0,020	n. n.	0,056
pp-DDD+pp-DDT	0,012	0,061	n. n.	0,173

Tabelle 15: Polychlorierte Biphenyle (PCB) in ausgewählten Organen und Geweben (in mg/kg OS) von Stören aus der Fütterungsgruppe I und II

PCB-Kongenere	Muskel	Leber	Galle	Fett-Gonaden
Fütterungsgruppe I				
PCB 28	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
PCB 52	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
PCB 101	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
PCB 138	n. n.	0,002	0,001	0,009
PCB 153	n. n.	0,004	0,002	0,010
PCB 180	n. n.	0,003	n. n.	n. n.
Fütterungsgruppe II				
PCB 28	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
PCB 52	n. n.	0,002	n. n.	n. n.
PCB 101	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
PCB 138	n. n.	0,002	n. n.	0,008
PCB 153	n. n.	0,004	n. n.	n. n.
PCB 180	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.

Untersuchung auf ausgewählte Elemente (Schwermetalle)

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Untersuchungen auf die Elemente Quecksilber, Arsen, Chrom, Kupfer und Zink in ausgewählten Organen und Geweben von Stören angegeben. Die Angaben beziehen sich auf Originalsubstanz (OS).

Tabelle 16: Gehalte an Quecksilber (Hg), Arsen (As), Chrom (Cr), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) (in mg/kg OS) in ausgewählten Organen und Geweben von Stören der Fütterungsgruppe I und II

Elemente	Muskel	Leber	Galle	Fett-Gonaden	Milz
Fütterungsgruppe I					
Hg	0,024	0,020	n. n.	n. n.	0,015
As	n. n.	0,037	n. n.	0,249	n. n.
Cr	n. n.	0,091	n. n.	n. n.	0,131
Cu	0,643	32,6	4,9	0,559	1,730
Zn	4,789	33,7	0,163	8,4	13,2
Fütterungsgruppe II					
Hg	0,033	0,025	n. n.	n. n.	0,024
As	n. n.	0,074	n. n.	0,174	n. n.
Cr	n. n.	0,114	n. n.	n. n.	0,180
Cu	0,570	34,7	6,1	0,561	1,674
Zn	3,382	30,0	0,235	9,9	12,1

Untersuchung auf Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

In der Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Untersuchungen auf Polyaromatische Kohlenwasserstoffe angegeben.

Tabelle 17: Gehalte an Polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) (in µg/kg OS) in ausgewählten Organen und Geweben von Stören der Fütterungsgruppe I und II

PAK	Muskel	Leber	Fett
Fütterungsgruppe I			
Fluoranthen	0,370	0,589	0,171
Benzo(b)fluoranthen	0,023	0,038	0,025
Benzo(k)fluoranthen	0,011	0,016	0,011
Benzo(a)pyren	0,011	0,013	0,017
Benzo(g,h,i)perylene	0,013	0,016	0,021
Fütterungsgruppe II			
Fluoranthen	0,316	0,473	0,852
Benzo(b)fluoranthen	0,010	0,015	0,012
Benzo(k)fluoranthen	0,006	0,007	0,007
Benzo(a)pyren	0,007	0,007	0,010
Benzo(g,h,i)perylene	0,004	0,012	0,025

3.4 Diskussion

Nach den Voruntersuchungen zur Ausgangsqualität der Besatzfische wurde die Versuchskreislaufanlage des IfB eingefahren. Der aus zwei Größenklassen Sibirischer Störe, Karpfen und Zandern bestehende Fischbesatz wurde in Versuchsgruppen aufgeteilt und begleitet durch ein ausführliches Messprogramm, kontrolliert aufgezogen. Dabei wurde auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Praxis-Verhältnisse in kommerziell arbeitenden Kreislaufanlagen besonderen Wert gelegt.

Bei der kombinierten Aufzucht von Karpfen, Stören und Zandern konnten zu keinem Zeitpunkt der Untersuchungen negative zwischenartige Wechselwirkungen festgestellt werden. Dies betraf insbesondere die Ausprägung von Wachstumsdepressionen, Verlusten und Erkrankungen sowie spezifische Symptome bei Belastungszuständen, die resultierend aus den guten Haltungsbedingungen vor der Eindickung des Anlagenwassers nicht bzw. in einem vertretbaren sehr geringem Umfang auftraten. In der Phase der Eindickung des Anlagenwassers wurden aufgrund steigender Fischbiomasse nur noch Karpfen und Störe im Kreislauf belassen. Die Karpfen erwiesen sich erwartungsgemäß als eine für Kreislaufanlagen sehr geeignete, unproblematische und wachstumsstarke Fischart (FQ = 0,98 - 1,89, keine Verluste).

Im Gegensatz zu anderen Fischarten, z. B. Karpfen, werden bei der Aufzucht und Mast von verschiedenen stöartigen Fischen und ihren Hybriden in Kreislaufanlagen durch Minimierung der Frischwasserzufuhr ab einer bestimmten Eindickung des Anlagenwassers häufig gesundheitliche Probleme beobachtet, die sich letztendlich in einer Verschlechterung des Zuwachses bis hin zu hohen Verlusten äußern. Veröffentlichungen zu entsprechenden wissenschaftlichen Untersuchungen fehlen bisher. Entsprechend der Hypothese, dass bei geringem Wasseraustausch eine Eindickung des Anlagenwassers (Aufkonzentrierung von Inhaltsstoffen) im Verlauf der Aufzucht der empfindlichen Störe negative Effekte hervorruft, wurden am Beispiel Sibirischer Störe diese Effekte und deren Ursachen näher untersucht. Entsprechend den Praxisbeobachtungen konnte bei neu zugekauften Stören eine Adaptationsproblematik festgestellt werden.

Im Anlagenbetrieb führten die zunehmende Fischbiomasse und der steigende Futtereintrag zu einer stetig ansteigenden Stickstoffbelastung des Wassers. Darüber hinaus kam es auch zu einer Anreicherung zahlreicher weiterer Inhaltsstoffe. Bei zunehmender Belastung zeigten die Störe die erwarteten Wachstumsdepressionen und unspezifische, nicht erregerebedingte Krankheitssymptome (ulzerierende Hautveränderungen, ausgedehnte Blutansammlungen in der Muskulatur) sowie Organveränderungen (Herz- und Leberverfettung, interstitielle Nephritiden) sowie nachfolgend hohe Verluste (HEIDRICH & WEDEKIND 2005). Äußerliche Symptome waren Rötungen und Hyperämien insbesondere im Bereich des Umschlages von innerer auf die äußere Schleimhaut (Maul, Urogenitalpapille).

Aus den Ergebnissen der Wasseruntersuchungen wurden ansteigende Gehalte des Anlagenwassers an anorganischen und organischen Substanzen sowie an verschiedenen Metallen während des Versuchszeitraumes ersichtlich. Die Bestimmung des Gehalts an Phenolen ergab einen maximalen Phenolindex von 1,4 mg/l (summarische Bestimmung). Für Phenole und phenolartige Verbindungen wird ein Qualitätsziel von 0,005 mg Phenol/l angegeben (hier werden Phenole, Cresole, Xylenole, Catechole, Resorcinole vorrangig in Abwässern besprochen). Die meisten Substanzen besitzen eine ähnliche akute Toxizität im Bereich von 5 - 20 mg/l (HELLAWELL 1986; HOFER & LACKNER 1995). Phenole können auch aus natürlichen organischen Bestandteilen entstehen oder sind als chlorierte Phenole Abbauprodukte von Pestiziden. Die über den spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm und die Färbung bei 436 nm indirekt bestimmten Huminstoffe stiegen während des Versuchszeitraums an (biochemische Umsetzungen aus Futter- und Kotresten). Beide Stoffgruppen, Huminstoffe und chlorierte Phenole, sind in der Lage, eine typische Geruchsbeeinträchtigung zu verursachen. Insbesondere die synthetischen Chlorphenole sind stark geruchs- sowie geschmacksintensiv und toxisch. Auf andere Weise zeigen Huminstoffe viele positive Wirkungen, z. B. die Bindung von Schadstoffen.

Bei den Schwermetallen erreichten die aufgeschlossenen Wasserproben Konzentrationen an Kupfer von 27 µg/l und Zink von 170 µg/l, die, sofern die Metalle in gelöster Form vorliegen, bei Dauerexposition Schäden hervorrufen können (KÖCK 1996). Kupfer und Zink verstärken sich noch in ihrer Wirkung, d. h. sie wirken additiv (MEINELT et al. 1995). Den geringen Gehalten des Anlagenwassers an weiteren Elementen (Schwermetallen) wird eine untergeordnete Rolle zugeschrieben. Nicht ausgeschlossen werden können aber additive bzw. superadditive Effekte (NOGA 2000). Durch die vermehrte Bildung von Metallothioneinen in der Leber kann bis zu einem gewissen Maße eine Adaptation erfolgen. Auch bei verschiedenen in Kreislaufanlagen gehaltenen Fischarten wird oft beobachtet, dass sich die Fische gegen vermeintlich überhöhte Konzentrationen an verschiedenen Wasserinhaltsstoffen unempfindlich verhalten.

Neben dem möglichen Eintrag über Verunreinigungen bzw. das Futter können einzelne PAK auch biogen gebildet werden. Naphthalen und Phenanthren wurden in den Konzentrationen von 0,434 bzw. 0,476 µg/l gefunden. Der Gehalt an Benzo(a)pyren betrug 0,162 µg/l. In geringen Mengen wurden weitere PAK (Fluoren, Acenaphthen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen) nachgewiesen. Als Qualitätsziel werden PAK in der Summe mit 0,2 µg/l angegeben. Die Summe der PAK im vorliegenden Versuch betrug 1,425 µg/l. Naphthalen, Fluoren und Benzo(a)pyren überschreiten das Qualitätsziel jeweils. Akut toxische Konzentrationen liegen bei 1,5 - 7,8 mg/l. Fische zeigen bei 1 - 2 mg/l längerfristig Leberschäden und einen verringerten Fortpflanzungserfolg (ANON. 1983; HOFER & LACKNER 1995).

Als Haupteintragsquelle der Anreicherungen von Elementen (Schwermetallen) und auch der anderen Kontaminanten im Wasser sind die verwendeten Futtermittel anzusehen. Dies wird besonders deutlich an der Kupfer- und Zinkbelastung der Leber. Alle zutreffenden handelsüblichen Futtermittel waren vom Hersteller mit einem Kupferzusatz versehen, der über den enterohepatischen Kreislauf in den Körper aufgenommen, verteilt, z. T. über die Nieren ausgeschieden (siehe Wasserbelastung mit Kupfer 27 µg/l) und zu einem Teil in Leber und Gallenflüssigkeit akkumuliert bzw. dort nach langwierigen Umbauvorgängen in einen ausscheidungsfähigen Zustand überführt wird (Metallthioeine). Zu beachten ist, dass die im Versuch gefundenen Metallkonzentrationen im Wasser zwar am Fisch wirken können, jedoch die Störe in den Eigenschaften als Lebensmittel nicht negativ beeinflusst haben. Dies wurde durch die Untersuchung der Muskulatur (Rücken-Filetstück), Leber, Fett-Gonaden-Anteils der Störe auf Rückstände und Kontaminanten beider Fütterungsgruppen deutlich.

Alle Proben wurden auf Quecksilber, Arsen, Chrom, Kupfer und Zink untersucht. Die Quecksilbergehalte betragen im Filet-Muskelfleisch der Fütterungsgruppe I 0,024 mg/kg, in der Fütterungsgruppe II 0,033 mg/kg. In der Verordnung (EG) Nr. 221/2002 zur Festsetzung der Höchstgehalte von Kontaminanten in Lebensmitteln ist ein Quecksilbergehalt bei Fischereierzeugnissen von 0,5 mg/kg Frischgewicht, speziell für den Gemeinen Stör (*Acipenser spp.*) von 1,0 mg/kg, angegeben. In den Lebern und Milzen beider Fütterungsgruppen waren jeweils geringere Quecksilberkonzentrationen als in der Muskulatur zu verzeichnen. In der Galle und im Fett-Gonaden-Anteil wurde kein Quecksilber gefunden.

Auch die PAK-Gehalte waren in den Geweben und Organen niedrig und führten zu keiner Beeinträchtigung der Tauglichkeit als Lebensmittel, wobei Fluoranthene als Vertreter der „leichten“ PAK mit 0,370 (Futter I) bzw. 0,316 µg/kg (Futter II) mengenmäßig am höchsten auftrat. Benzo(a)pyren, das als Marker für die weiteren „schweren“ PAK angesehen wird, war mit 0,004 - 0,011 µg/kg Muskelfleisch nur in sehr geringen Mengen vorhanden. Der zulässige Höchstgehalt liegt nach Verordnung (EG) Nr. 208/2005 bei 2,0 µg/kg Frischgewicht. Auch die zusätzlich untersuchten schweren PAK Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene lagen mengenmäßig im Bereich von Benzo(a)pyren.

Bei der Untersuchung auf je 21 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln (PSM) bzw. Organochloropestiziden in Proben der Muskulatur (Rücken-Filetstück), Leber, Fett-Gonaden-Anteils wurden 10 Substanzen in geringen Mengen nachgewiesen. Die detektierten Substanzen und -gruppen Hexachlorhexan, Dieldrin als Abbauprodukt des nicht mehr zugelassenen PSM Aldrin, Heptachlorepoxyd, Chlordan, DDT sowie seine Metaboliten DDE und DDD, lagen nach der Rückstandshöchstmengenverordnung (RHmV i.d.F. v. 14.11.2005) deutlich unterhalb der Grenzwerte für Lebensmittel.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) waren in der Muskulatur nicht nachweisbar. Einzelne PCB-Kongenere traten in der Leber, der Galle und dem Fett-Gonadenanteil nur in Spuren auf. Der maximale Gehalt war im Fett-Gonadenanteil mit 0,009 mg/kg PCB 153 (Futter I) zu verzeichnen, was eine Auslastung des Grenzwertes nach Schadstoffhöchstmengenverordnung (SHmV i.d.F. vom 2.11.2005) von 3 Prozent bedeutet.

Durch die mikrobiologischen Wasseruntersuchungen wurde auch bei hoher Auslastung der Anlagenkapazität, d. h. steigender Fischbiomasse und Fütterung, kein auffälliger Anstieg der Gesamtkeimzahlen (Bakterienzahl) sowie des Gehalts an Hefen und Pilzen im Wasser gefunden. Mit 10^3 - 10^4 Gesamtkeimen pro ml war das Wasser der Anlage 2 der IfB-Kreislaufanlage schwach bakteriell besiedelt. Hefen und Fadenpilze waren nicht nachweisbar. Eine Vergleichsmessung zwischen der IfB-Kreislaufanlage 2 bei mäßiger Anlagenauslastung und der Kreislaufanlage Neiden bei nur geringer Auslastung ergab eine generell höhere Keimbelastung des Wassers in der Kreislaufanlage Neiden. Dieses war mit 10^5 Gesamtkeimen per ml mäßig bis stark bakteriell sowie hinsichtlich Hefen mit 10^3 - 10^4 per ml schwach bis mäßig besiedelt. Damit scheiden die als Auslöser für Störungen des Verdauungsstoffwechsels (Enteritiden) diskutierten Hefen in diesem Symptomkomplex aus.

Die Blutuntersuchungen am Ende der Belastungsphase im Anreicherungsversuch mit Stören ergaben in den vier Gruppen mit mittleren Methämoglobingehalten im Blut von maximal 8,0 Prozent pro Gesamthämoglobin keine wesentlich erhöhten Konzentrationen. Dies könnte auf eine relative Fähigkeit von Stören hindeuten, der Reduktion von Hämoglobin bei Anwesenheit hoher Nitrat- bzw. Nitritgehalte im Wasser, wahrscheinlich unter erheblicher Stoffwechselbelastung, entgegenzuwirken (HUERTAS et al. 2002b).

Nach den hier beschriebenen Untersuchungen zur Aufzucht von Speisestören und Setzlingen in Kreislaufanlagen sollten in weiterführenden Versuchen mit spezifischeren Versuchsansätzen die Adaptationsproblematik und die Effekte der Eindickung von Kreislaufanlagenwasser, bearbeitet werden.

4 Einfluss von Futterzusätzen auf die Adaptation von Störsetzlingen

Bei der Aufzucht und Mast von verschiedenen störrartigen Fischen und ihren Hybriden zeigen sich größere Probleme meist schon in der Eingewöhnungsphase nach dem Zukauf in den Fischereibetrieb, oft einhergehend mit hohen Stückverlusten und großen finanziellen Einbußen. Als Auslöser kommen nach den vorliegenden Erkenntnissen neben umwelt- auch ernährungsbedingte Einflüsse in Betracht. Die Möglichkeiten zur Auswahl eines geeigneten Futtermittels sind derzeit noch begrenzt, weil speziell für die Störaufzucht entwickelte Trockenmischfuttermittel kommerziell nicht angeboten werden.

In einer ersten Untersuchung wurde ein handelsübliches und in der Praxis verbreitetes Futtermittel mit verschiedenen Zusätzen versehen und bei der Fütterung der besonders empfindlichen jungen Lebensstadien von Stören erprobt.

4.1 Versuchsdurchführung

Für die Untersuchung wurde die Anlage 3 des IfB mit 12 Aquarien von jeweils 150 Liter Inhalt im Vollkreislauf betrieben. Der tägliche Frischwassereintrag aus dem Sacrower See betrug ca. 9 - 12 Prozent. Die Versuchsfische stammten aus dem IfB-Bestand, in dem die von den Stören bekannten Probleme in der Anfütterungsphase mit Aufgasungen und erhöhten Stückverlusten auftraten. Diese Sibirischen Störe hatten in den vorhergehenden 10 Tagen das Granulat F-1A Pro Aqua Brut (Körnung 1,7 - 2,2 mm) der Fa. Skretting erhalten. Die Fütterungsintensität wurde von 0,5 Prozent der Bestandsmasse auf 1 Prozent der Bestandsmasse pro Tag gesteigert. Die Versuchsfische besaßen zu Versuchsbeginn eine mittlere Stückmasse von ca. 24 g.

Die Fische wurden in den Aquarien in einem zweifaktoriellen Versuchsansatz, pro Versuchsansatz 28 bzw. 29 Fische, aufgeteilt. Als Futter kam ein Granulat (F-1A Pro Aqua Brut, Körnung 1,7 - 2,2 mm) der Fa. Skretting zum Einsatz. Die Kontrollgruppe bekam diese Mischung unverändert zugeteilt. Beim Versuchsansatz 1 und 2 wurden dem Futter Huminstoff vom Typ WH 67 in Höhe von 0,5 bzw. 2,0 Prozent zugesetzt. Beim Versuchsansatz 3 betrug der Zusatz von Kochsalz (NaCl) 5 Prozent. Beim Versuchsansatz 4 wurde ein Zusatz von 1 Prozent Lactobacillus-Präparat (Fa. Cobio-tex) verwendet. Die Fütterungsintensität wurde von anfangs 1,0 auf 2,5 Prozent der Bestandsmasse pro Tag gesteigert. Die Versuchsdauer betrug fünf Wochen.

Zur Bestimmung des Gesamtkeimgehalts des Wassers diente der Cult-Dip combi-Test der Fa. Merck. Daneben gibt der Test Auskunft über den Gehalt an Pilzen und Hefen. Insbesondere Hefen treten bei Adaptationsproblemen von Stören im Zusammenhang mit Dysenterien auf. Die Anwendung dieses Testes in den übrigen zwei Kreisläufen der IfB-Versuchsanlage diente der vergleichsweisen Betrachtung und Wertung.

4.2 Entwicklung der Wasserqualität

Die kontinuierliche Dokumentation der Wasserqualitätsparameter ergab folgende Messwerte, die durchweg in fischphysiologisch vertretbaren Bereichen liegen:

Ammonium/Ammoniak (NH ₄)	0,53 - 0,67 mg/l
Nitrit (NO ₂)	0,15 - 0,47 mg/l
Nitrat (NO ₃)	111 - 160 mg/l
pH-Wert	5,22 - 6,84

SBV	0,10 - 0,34 mval/l
Leitfähigkeit	585 - 641 $\mu\text{s/cm}$
Sauerstoff	7,8 - 8,5 mg/l
Sauerstoffsättigung	94 - 102 Prozent
Temperatur	18,7 - 25,4 °C

Die mikrobiologische Untersuchung des Anlagenwassers ergab in der Kreislaufanlage 3 (Tab. 18) und auch in den zum Vergleich herangezogenen zwei übrigen Kreisläufen der Versuchsanlage (Tab. A-2) jeweils einen relativ konstanten Messwertbereich. Der Gesamtkeimgehalt stieg nach dem Einfahren der Anlage 3 auf Werte von $10^7/\text{ml}$. In den übrigen Kreisläufen lag der Gesamtkeimgehalt insgesamt niedriger. In der Anlage 3 waren Hefen nicht nachweisbar und Pilze nur in einem Fall mit einem schwachen Gehalt vorhanden.

Tabelle 18: Mikrobiologische Wasseruntersuchung in der IfB-Kreislaufanlage 3

Messung	Bakterien (per ml)	Hefen (per ml)	Pilze (Wachstum)
1	10^4	0	0
2	10^7	0	schwach
3	10^7	0	0

4.3 Aufzuchtergebnisse

Über den gesamten Versuchszeitraum blieben die Störe parasitenfrei. Auch der Eintrag von Frischwasser aus dem Sacrower See hatte trotz z. T. schwerwiegender Krankheitssymptomatik keine Parasitierung der Versuchsfische zur Folge.

Die bei den Versuchsfischen vor dem Besatz der Versuchsaquarien teilweise festgestellte pathologische Aufgasung, sichtbar durch gespannte Bauchdecken, konnte in allen Fütterungsvarianten nicht vollständig beseitigt werden. Zu Beginn des Versuchs schien es so, dass durch die vorgenommene Futterumstellung die Zahl erkrankter Fische sogar noch zunahm. Hochgradig betroffene Fische vermochten nicht mehr, sich von der Wasseroberfläche zu entfernen und traten bäuchlings in den moribunden Zustand über (Abb. 7).



Abbildung 7: Jungstör geht durch hochgradige Aufgasung des Abdomen in sterbenden Zustand über. Eine normale Körperhaltung kann nicht eingenommen werden.

Aus Beobachtungen ergab sich ein ungewöhnliches Schluckverhalten als Ursache für die Aufgasung des Verdauungstraktes, v. a. des Magens bzw. der Schwimmblase. Die Fische schluckten an der Wasseroberfläche Luft und vermochten nach einiger Zeit nicht mehr in ausreichendem Maße die unteren Wasserschichten aufzusuchen. Die pathologisch-anatomische Sektion ergab in den meisten Fällen eine bis zu hochgradig vermehrte Gasfüllung des vorderen Verdauungstraktes, insbesondere des Magens. Einen jungen Stör mit eröffneter Leibeshöhle, kachektisch und mit hochgradig gasgefülltem Magen zeigt die Abb. 5.

Die Auswertung der biotechnologischen Daten im Adaptationsversuch bei Störsetzlingen mit Futterzusätzen (s. Tab. A-4 u. A-5 des Anhangs) ergab bei allen Varianten der Futterzusätze jeweils weniger Verluste, höhere Zuwächse und eine bessere Futterverwertung gegenüber der unbehandelten Kontrollgruppe. Bei der Verwendung von 2 Prozent Huminstoff (HS) traten mit 7 Prozent die geringsten Verluste auf. Die Verlustrate betrug 21 Prozent in der Kontrollgruppe (Tab. 19, Abb. 8).

Tabelle 19: Verluste (Prozent) im Versuchsverlauf bei Störsetzlingen im Adaptationsversuch mit Futterzusätzen

Wochen	Kontrolle	0,5 Prozent HS	2 Prozent HS	Salz	Lactobac.
1	10,7	0,0	3,6	3,6	6,9
2	3,6	0,0	0,0	0,0	3,4
3	0,0	3,6	3,6	3,6	0,0
4,7	7,1	7,1	0,0	10,7	3,4
kumulat. Verluste	21,4	10,7	7,1	17,9	13,8

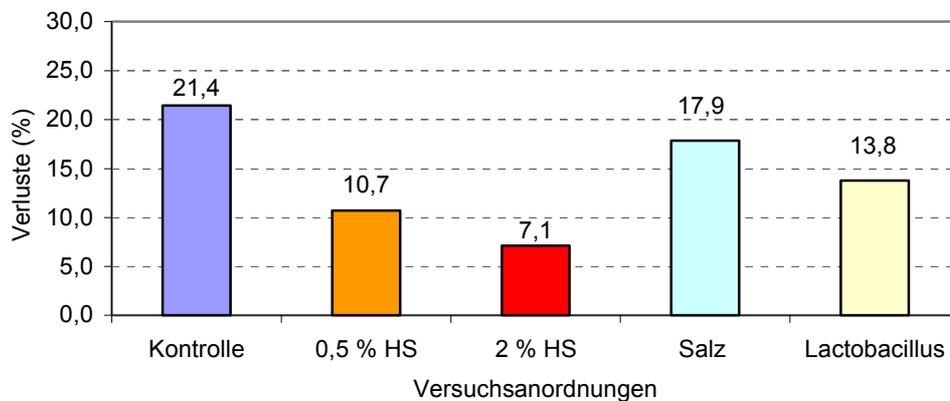


Abbildung 8: Verluste (Prozent) bei Störsetzlingen im Adaptationsversuch mit Futterzusätzen

Der höchste mittlere Zuwachs mit 138 Prozent bezogen auf die Ausgangsmasse wurde in der Gruppe mit einem Kochsalz-Zusatz zum Futter (Salz) erreicht. In der Kontrolle betrug der Zuwachs 112 Prozent (Tab. 20, Abb. 9).

Tabelle 20: Zuwachs (Prozent) im Versuchsverlauf bei Störsetzlingen im Adaptations-Versuch mit Futterzusätzen

Wochen	Kontrolle	0,5 Prozent HS	2 Prozent HS	Salz	Lactobac.
1	16,3	25,7	18,3	22,5	17,2
2	22,8	25,5	27,5	23,0	21,4
3	26,8	21,7	23,2	26,2	29,4
4,7	17,1	21,6	24,3	25,5	28,1
kumulat. Zuwachs	112,1	133,2	126,4	138,4	136,0

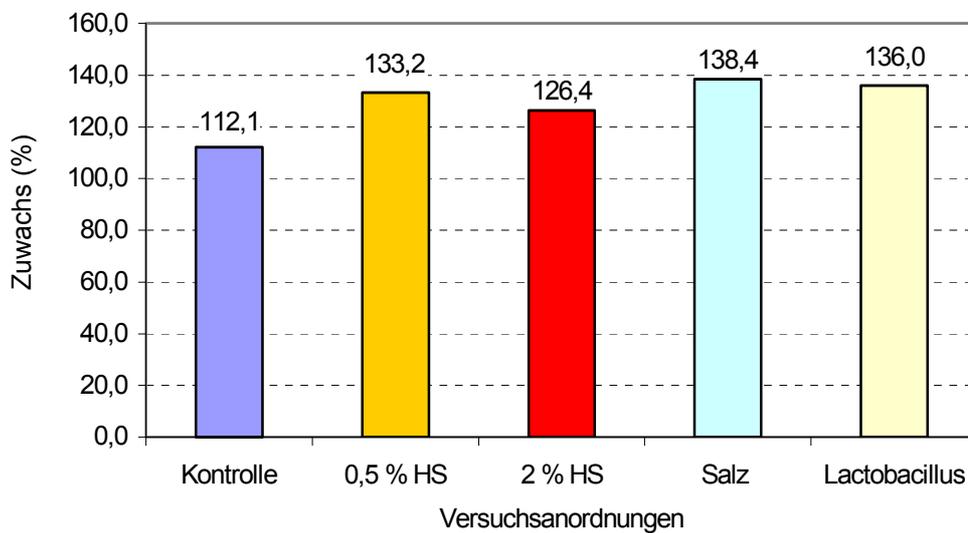


Abbildung 9: Zuwachs (Prozent) im Versuchsverlauf bei Störsetzlingen im Adaptations-versuch mit Futterzusätzen

Die beste Futterverwertung ergab sich beim Zusatz von Lactobacillen mit einem FQ von 0,79 und bei Kochsalz mit einem FQ von 0,80 gegenüber der Kontrollgruppe mit einem FQ von 0,97 kg/kg Zuwachs (Tab. 21, Abb. 10).

Tabelle 21: Futtermittelverwertung (FQ in kg Futter/kg Zuwachs) im Versuchsverlauf bei Störsetzlingen im Adaptationsversuch mit Futterzusätzen

Wochen	Kontrolle	0,5 Prozent HS	2 Prozent HS	Salz	Lactobac.
1	1,13	0,72	1,01	0,71	0,93
2	0,77	0,69	0,64	0,76	0,82
3	0,65	0,81	0,75	0,67	0,59
4,7	1,44	1,18	1,04	0,98	0,89
Futtermittelverwertung	0,97	0,87	0,86	0,80	0,79

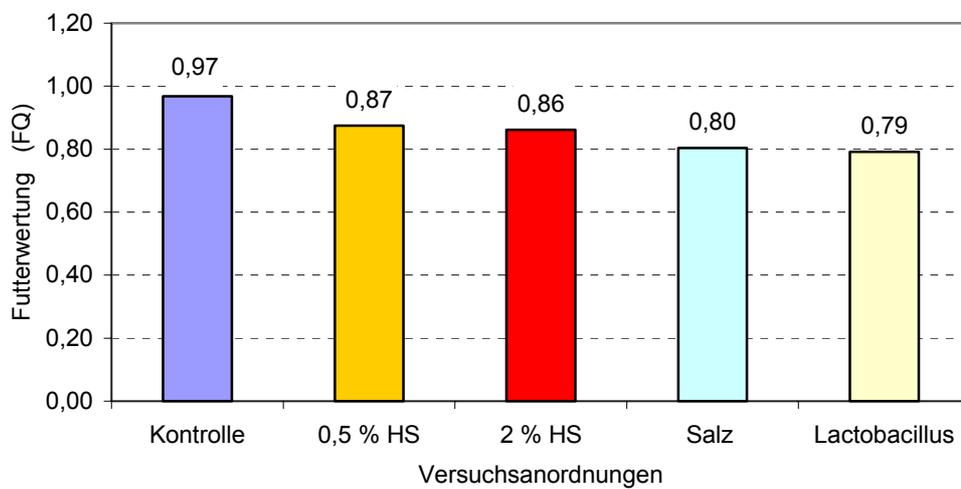


Abbildung 10: Futtermittelverwertung (FQ) im Versuchsverlauf bei Störsetzlingen im Adaptationsversuch mit Futterzusätzen

4.4 Diskussion

Nach dem Zukauf von Stören, insbesondere der jungen Lebensstadien, kommt es in der Eingewöhnungsphase häufig zur so genannten Adaptationsproblematik, die sich in Aufgasungen des Verdauungstraktes bzw. der Schwimmblase und hohen Verlusten äußern kann. Stressung beim Transport, Mängel in der Haltung beim Erzeuger und Probleme in der Eingewöhnungsphase können dafür verantwortlich sein.

Nachdem die Jungstöre im ersten Aufzuchtversuch mit Stören und Karpfen, die für diese Problematik typischen Symptome aufwiesen, wurden aus dem erkrankten Bestand Jungstöre entnommen und im vorliegenden Versuch zur möglichen Reduzierung der bekannten Probleme verschiedene Futterzusätze untersucht. Die verwendeten Jungstöre wiesen eine Bruttoenergie von nur 3,07 MJ/kg Ganzkörper auf.

Die bei den zugekauften Jungstören festgestellte Adaptationsproblematik äußerte sich unmittelbar nach dem Besatz und während der Eingewöhnung in einer unphysiologischen Aufgasung des Verdauungstraktes und zum Teil auch der Schwimmblase. Damit wurden die aus der Praxis und aus Vorversuchen bekannt gewordenen Probleme insbesondere junger Entwicklungsstadien der Störe (Aufgasungen, Wachstumsdepressionen, Darmentzündungen) eindeutig bestätigt.

Für alle getesteten Futterzusätze

- 0,5 Prozent und 2 Prozent Huminstoff (Fa. Weinböhla)
- 5 Prozent Kochsalz
- 1 Prozent Lactobacillus-Präparat (Fa. Cobotex)

ergaben sich gegenüber der Kontrollgruppe sowohl für

- das Verlustgeschehen,
- die Zuwachsleistung, als auch für
- die Futterverwertung

der Fische positive Wirkungen. Das unbehandelte, kommerzielle Kontrollfutter wies die ungünstigste Futterverwertung und die schlechteste Wachstumsleistung auf. Die stärkste Reduzierung des Verlustgeschehens von 21 auf 7 Prozent wurde mit dem Zusatz von 2 Prozent Huminstoff erreicht. Der Zuwachs wurde maximal bei der Verwendung von 5 Prozent Kochsalz von 112 auf 138 Prozent gesteigert. Der Futterquotient konnte bei der Verwendung des Lactobacillus-Präparates von 0,97 auf 0,79 kg/kg Zuwachs reduziert werden.

Obwohl die Adaptationssymptomatik durch Zusätze zum Futter eingedämmt werden kann, sollte das Ziel darin bestehen, die Umwelt und die Behandlung der Störe so zu optimieren, dass derartige kostenintensive Varianten nicht notwendig sind.

5 Fütterungsstrategie während der Adaptation von Störsetzlingen

Die Verwendung von Futterzusätzen ist mit einem bestimmten Kostenfaktor belastet (z. B. Preis des Zusatzes und Arbeitsaufwand des Auftragens). In einem weiteren Versuch sollten durch die Anwendung einer speziellen Fütterungsstrategie die Auswirkungen von Belastungen und Umstellungstress bei Störsetzlingen während der Adaptation minimiert werden.

5.1 Versuchsdurchführung

Für die Untersuchungen wurden Störe (*A. baeri*) mit einer mittleren Stückmasse von ca. 4 g verwendet. Die am 05.08.04 angelieferten 1 274 Störe besaßen überwiegend einen mäßigen Ernährungszustand und teilweise vermehrte Gasfüllungen des Verdauungstraktes, insbesondere des Magens (s. Abbildung 2). Diese Symptome waren schon während der Aufzucht beim Zulieferer aufgetreten.

Aus dem Bestand wurden nach dem Zufallsprinzip 450 Fische entnommen und jeweils zu 150 Stück auf die einzelnen Versuchseinheiten (Blöcken C, D und E) aufgeteilt. Zur Erhebung des Ausgangsstatus wurden aus der Gesamtlänge und der Körpermasse der Korpulenzfaktor sowie die Bruttoenergie aus der Trockenmasse bestimmt. Zur Speisung der Versuchsanlagen diente Oberflächenwasser aus dem Sacrower See. Die Wassertemperatur betrug beim Besatz 23,8 - 24,0 °C und im weiteren Versuchsverlauf 20,8 - 25,2 °C. Der pH-Wert sank von anfangs 8,1 auf 7,3.

In der Adaptationsphase wurde zur Verminderung der Umstellungsbelastungen anfangs das vom Zulieferer verwendete Futtermittel HP Nutra 0,75 mm Pellet (Fa. Skretting; 55 Prozent Rohprotein, 18 Prozent Rohfett) verabreicht. Sechs Stunden nach der Anlieferung und dem Besatz erhielten die Fische vorerst nur eine sehr geringe Futtermenge, die insgesamt auf mehrere Gaben bis zum Abend des darauf folgenden Tages (1. Versuchstag) verteilt die Höhe von 1 Prozent der Bestandsmasse erreichte.

Die Futtergaben betrugen am 2. und 3. Versuchstag 2 Prozent, vom 4. bis zum 10. Tag 2,5 Prozent, vom 11. bis zum 13. Tag 3 Prozent und vom 14. bis 15. Tag 4 Prozent (Maximum) der Bestandsmasse/d. Gleichzeitig wurde ab dem 12. Tag ein neues, nachfolgend im Versuch verwendetes Versuchsfuttermittel sukzessiv mit einer täglichen Steigerung des Anteils um 20 Prozent eingemischt. Die Futtergaben erfolgten grundsätzlich per Hand über den gesamten Tag verteilt. Ab dem 16. Tag war die Umstellung auf die Versuchsfuttermischung beendet.

Die Versuchsfuttermischung bestand aus einer nicht angefetteten und nicht vitaminisierten Basis-mischung (Brutfutter-Granulat, Fa. Dana Feed A/S, Horsens, Dänemark; s. Tabelle 22), die durch den Zusatz von Rapsöl auf einen Rohfettgehalt von 22 Prozent aufgewertet und mit einem Zusatz von 0,6 g Vitamin-Mineralstoff-Gemisch/kg Futter versehen wurde.

Tabelle 22: Rohnährstoffanalyse und Kupfergehalt der zur Herstellung des Versuchsfutters verwendeten Basismischung (Analyse des Landeslabors Brandenburg)

Untersuchungsparameter	Analysenergebnis
Rohprotein (Prozent)	64,8
Rohfett (Prozent)	10,2
Rohasche (Prozent)	11,7
Rohfaser (Prozent)	0,42
Trockensubstanz (Prozent)	95,2
Phosphor (Prozent)	1,86
Kupfer (mg/kg)	34,7

5.2 Aufzuchtergebnisse

Der Ausgangsstatus der Störe zum Versuchsbeginn ist aus der Tabelle 23 ersichtlich.

Tabelle 23: Ausgangsqualität der Störe: Bestimmung der Gesamtlängen, Körpermassen, Korpulenzfaktor (n=24) sowie der Bruttoenergie aus der Trockenmasse (n=18)

Jungstöre zum Besatz	
mittlere Stückmasse (g)	1,95
mittlere Körperlänge (cm)	8,4
Korpulenzfaktor	0,32
Trockensubstanz (Prozent)	11,03
Bruttoenergie (MJ/kg)	1,42

Der Bruttoenergiegehalt von nur 1,42 MJ/kg unterstreicht den konditionell unzureichenden Zustand des Besatzmaterials. Das klinische Geschehen, das die Störe beim Zulieferer und teilweise noch bei der Anlieferung aufwiesen, war durch eine im Extremfall hochgradige Gasfüllung von Schlund, Magen, Darm bzw. Schwimmblase gekennzeichnet. Die Abbildung 11 verdeutlicht die Symptomatik bei einem Jungstör nach der Anlieferung.



Abbildung 11: Jungstör nach Anlieferung mit hochgradiger Gasfüllung des Verdauungstraktes

Die Störe zeigten in allen Gruppen eine sehr gute Futterakzeptanz. Es wurde dennoch anfangs zurückhaltend und nach den Vorgaben gefüttert. Innerhalb von ca. einer Woche traten nach vollzogener Eingewöhnung die oben beschriebenen Probleme nicht mehr auf. Die anfangs aufgetretenen Aufgasungen waren nicht mehr sichtbar. Die Fischverluste waren während der Adaptation zu vernachlässigen. Am 4. Versuchstag wurde in Block E ein moribunder Stör (im sterbenden Zustand) mit einer Aufgasung des Bauches entnommen. Dieser Fisch war abgemagert, dunkel gefärbt, besaß einen geröteten Vorderbauch und ein einseitig durchscheinendes und gerötetes Rostrum. Die Sektion ergab einen aufgegasen Schlund, Magen und Mitteldarm. Die Schwimmblase zeigte sich völlig retrahiert. Der Enddarm (Spiraldarm) war durchscheinend und pathologisch mit einer schaumig-klaren, leuchtend gelblichen Flüssigkeit gefüllt. Weitere Verluste traten in den Versuchsgruppen nicht auf.

Nachdem die Störsetzlinge zum Besatzzeitpunkt über eine geringe Kondition (Bruttoenergie) verfügten, zeigten sie schon in der Adaptationsphase ein kompensatorisches und zügiges Wachstum. Der vom 12.-16. Tag vorgenommene Futterwechsel auf die neue Versuchsfuttermischung durch die tägliche Steigerung des Anteils in 20 Prozent-Schritten verlief ohne Besonderheiten. Die Störe nahmen das Futtermittel sehr gut an und zeigten ein enormes, wahrscheinlich zu einem großen Teil kompensatorisches Wachstum. Die ersten Bestandswägungen am 19. Tag (24.08.04) ergaben eine sehr hohe Futterverwertung. Der Futterquotient lag im Block C bei 0,37, im Block D bei 0,40 und im Block D bei 0,41kg/kg Zuwachs (s. folgendes Kapitel).

Im gesamten Störbestand (N=1.274) starben während des Adaptationszeitraumes nur 11 Fische (Fischverluste = 1 Prozent).

5.3 Diskussion

Für die Untersuchungen zur Fütterungsstrategie während der Adaptation von Störsetzlingen wurden Störe mit einer mittleren Stückmasse von ca. 4 g verwendet, die überwiegend einen mäßigen und teilweise unzureichenden Ernährungszustand (Bruttoenergie 1,42 MJ/kg) mit vermehrten Gasfüllungen des Verdauungstraktes, insbesondere des Magens, aufwiesen. In den experimentellen Untersuchungen gelang es, durch ein Fütterungsregime die Adaptationsproblematik einzudämmen. Hierbei wurde das vom Zulieferer verwendete Futtermittel in der Adaptationsphase zuerst vollständig weitergefüttert. Die Futtergaben betragen am 1. Versuchstag 1 Prozent, am 2. und 3. Tag 2 Prozent, vom 4. bis zum 10. Tag 2,5 Prozent, vom 11. bis zum 13. Tag 3 Prozent und vom 14. bis 15. Tag 4 Prozent (Maximum) der Bestandsmasse/d. Gleichzeitig wurde ab dem 12. Tag das Versuchsfutter sukzessiv mit einer täglichen Steigerung des Anteils um 20 Prozent eingemischt. Ab dem 16. Tag war die Umstellung auf die Versuchsfuttermischung beendet. Die vom Zulieferer beschriebenen Probleme traten während der Eingewöhnung nicht mehr auf. Die Verluste (1 Prozent) waren zu vernachlässigen.

Die vom beschriebenen Ausgangszustand (Bruttoenergie, Aufgasungen) der Störe ausgehend nur geringe Anzahl an Stückverlusten wird vor allem auf die anfängliche Verwendung des gewohnten Futtermittels, eine zurückhaltende Anfütterungsphase, eine schrittweise Einmischung des neuen in das gewohnte Futtermittel sowie die Anfettung mit Rapsöl auf einen Rohfettgehalt von 22 Prozent zurückgeführt. Die Anfettung des Futtermittels auf einen Fettgehalt von 22 Prozent zielte darauf ab, die für das Wachstum erforderliche Energie vorrangig aus dem Futterfett und weniger aus dem Futterprotein zur Verfügung zu stellen. Die zu Versuchsende in den drei Versuchsgruppen bestimmten Futterquotienten von 0,40 - 0,41 kg/kg Zuwachs zeigten eine hervorragende Verwertung der Nährstoffe und die Eignung der Auffettung mit Rapsöl auf einen Gehalt von 22 Prozent in der Versuchsfuttermischung.

Das vom Zulieferer verwendete Brutgranulat besaß 55 Prozent Rohprotein und 18 Prozent Rohfett. Die Basismischung des verwendeten Versuchsfutters wies einen Gehalt an 64,6 Prozent Rohprotein und 10,2 Prozent Rohfett auf, wobei der Fettgehalt durch die Anfettung mit Rapsöl auf 22 Prozent erhöht wurde. Durch die Anfettung reduzierte sich folglich der Gehalt der im Futtermittel enthaltenen NFE (Stickstofffreien Extraktstoffe, NfE). Weil bei Stören Kohlenhydratintoleranzen bekannt sind (SCHRECKENBACH 1996), kann auch ein positiver Effekt der Nährstoffkomposition des verwendeten Futtermittels unterstellt werden.

Unter diesen Voraussetzungen ist anzunehmen, dass der Rückgang des Krankheitsgeschehens bei der Adaptation den Störsetzlingen auf folgende Faktoren zurückzuführen ist:

- geringe und an den Folgetagen leicht ansteigende Futtergaben nach der Anlieferung,
- sukzessive Einmischung des neuen in das vom Zulieferer verwendete Futtermittel und
- die Verwendung eines Futtermittels mit einem hohen Rohfett- und geringen NfE-Gehalt.

Auch die Fütterungsintensität sollte entsprechend der bisher gewonnenen Erfahrungen nur langsam gesteigert werden. Am Besatztag sollte, wie auch bei anderen Fischarten bekannt, unter Umständen nicht gefüttert werden.

6 Untersuchungen zur Toleranz von Störsetzlingen bei Wassereindickung

Unter Nutzung der Erkenntnisse aus dem ersten Aufzuchtversuch mit Karpfen und Stören in Kreislaufanlagen sollten in einem weiteren Versuch die Auswirkungen der so genannten Wassereindickung, welche sich im Verlauf des Betriebes von geschlossenen Kreislaufanlagen mit geringer Wassererneuerung einstellt, genauer untersucht werden. Als Richtwert für die Höhe der „Eindickung“ des Anlagenwassers wird in den vorliegenden Untersuchungen das sich in Kreislaufsystemen ohne Denitrifikationsstufe anreichernde Nitrat als Endprodukt der Nitrifikation angenommen. Der vorliegende Versuch verfolgt daher das Ziel, mit dem wechselseitigen Vergleich unterschiedlich gestalteter Wasseraustraschraten bzw. Eindickungen neue Erkenntnisse zur Gestaltung der Aufzuchtbedingungen für Störe in Kreislaufanlagen zu gewinnen.

6.1 Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen zur Toleranz gegenüber der Wassereindickung bei Störsetzlingen (Toleranzversuch) wurden mit den Probanden der Versuchsgruppen und in den Haltungseinrichtungen des unter 6. beschriebenen Adaptationsversuches fortgesetzt. Damit standen als Versuchsfische drei mal 150 Störe zur Verfügung, die weiterhin in den Blöcken C, D und E untergebracht waren. Um einheitliche Versuchsbedingungen zu gewährleisten, wurden ab dem 20.09.04 bei den Bestandswägungen im Abstand von zwei Wochen z. T. Fische aus den Blöcken C, D und E entnommen, um die Versuche nachfolgend mit vergleichbaren Bestands- und Körpermassen fortzuführen. Durch die Entnahmen reduzierte sich die Fischzahl bis auf je 20 Stück ab dem 10.01.05 bis zum Versuchsende am 22.03.05 (Versuchsdauer 229 Tage).

In der Adaptationsphase waren in den drei Versuchsgruppen vergleichbare Umwelt- und Wachstumsbedingungen vorhanden. Die Umstellung des vom Zulieferer verwendeten Futtermittels auf die Versuchsfuttermischung war am 16. Tag beendet. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Futtermenge an die tatsächliche Aufnahme des Futters durch die Versuchsfische, die Filterleistung sowie die Bestandswägungen (zweitägige Fütterungspause) angepasst.

Die Fütterung wurde mit der in der der Adaptation verwendeten und durch Zugabe von Rapsöl auf 22 Prozent Rohfett aufgewerteten Brutgranulat-Basismischung (Fa. Dana Feed A/S) fortgesetzt. Durch Sieben des Granulats konnte eine weitgehende Anpassung der Körnung an die Fischgröße erreicht werden. Ab dem 16.12.04 wurde bei einer mittleren Körpermasse der Störe von ca. 170 g auf ein pelletiertes Futtermittel umgestellt (DAN-EX 2446, Körnungsgröße 3 mm, Fa. Dana Feed). Das Futtermittel wurde dem vorher verwendeten in Höhe von 25 Prozent/d sukzessive zugemischt. Die Futtergaben betragen nach Erreichen der gewünschten Nitratbelastungen am 16.09.04 2 - 3 Prozent der Bestandsmasse/d und ab 18.10.04 bis zum Versuchende 1 - 2 Prozent der Bestandsmasse/d. Vor den regelmäßigen Bestandswägungen wurde die Fütterung ausgesetzt.

Um eine höhere Besatzdichte zu erreichen, wurde nach erfolgter Adaptation und der ersten Bestandswägung am 19. Versuchstag (24.08.04) über die Verringerung des Füllstands im quaderförmigen Produktionsbecken das Wasservolumen von insgesamt 1,0 auf 0,7 m³ reduziert. Die Glaswandungen der Becken erlaubten das Beobachten der Störe und die optische Kontrolle einiger Wasserparameter wie Eintrübung, Schwebstoffe, Kot, Futteraufnahme, Verhalten und Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Fische (s. Abbildung 3). Der Wasserwechsel war in den einzelnen Blöcken auf das Erreichen und die anschließende dauerhafte Aufrechterhaltung folgender Nitratgehalte und der damit verbundenen Wassereindickung ausgerichtet:

Block C:	100 - 150 mg/l
Block D:	250 - 300 mg/l
Block E:	700 - 800 mg/l, nachfolgend 400- 450 mg/l

Für den Wasserwechsel wurde nach dem Erreichen der entsprechenden Nitratgehalte Oberflächenwasser aus dem Sacrower See verwendet, das in Vorlagebehältern mindestens einen Tag belüftet und umgewälzt wurde und sich auf Raumtemperatur erwärmte. Die Stabilisierung des pH-Wertes (Richtwert pH = 6,8) erfolgte mit Natriumbikarbonat.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Entwicklung der Wasserqualität

Durch verschieden hohe Wasseraustauschraten (Frischwasserzugaben) konnten unterschiedlich starke Aufkonzentrierungen von Wasserinhaltsstoffen gewährleistet werden. Dies wurde durch regelmäßige Messungen der Nitratgehalte überprüft (s. Abbildung 12). Die Eindickung des Anlagenwassers war ebenfalls aus den Messwerten der elektrischen Leitfähigkeit ersichtlich (s. Abbildung 13). Die übrigen gemessenen Wasserparameter wurden gleichfalls dokumentiert (Ammonium- und Nitritgehalte s. Abbildung A-1). Die vorgesehene Nitratanreicherung des Anlagenwassers wurde in den Versuchsblöcken C und E durch entsprechend angepassten bzw. restriktiven Wasserwechsel am 16.09.04 (7. Versuchswoche; Block E größer 400 mg NO₃/l) erreicht.

Der Nitratgehalt wurde im Block E nach dem 16.09.04 weiter gesteigert und erreichte mit 920 mg/l am 15.11.04 (16. Versuchswoche) sein Maximum. In der Phase der höchsten Belastung vom 16.09. - 29.11.04 betrug der mittlere Nitratgehalt 707 mg/l. Nachdem sich hieraus ein über mehrere Wochen andauerndes Verlustgeschehen entwickelt hatte, wurde der Nitratgehalt von 875 mg/l am 23.11.04 (17. Versuchswoche) nachfolgend auf im Mittel 467 mg/l bis zum Versuchsende am 22.03.05 (36. Versuchswoche) reduziert.

Ab dem Erreichen der gewünschten Nitratbelastungen (s. Abb. 12) in den Versuchsblöcken am 16.09.04 betrug der mittlere Nitratgehalt des Wassers bis zum Versuchsende am 22.03.05 im Block C 135 mg/l, im Block D 276 mg/l und im Block E 560 mg/l.

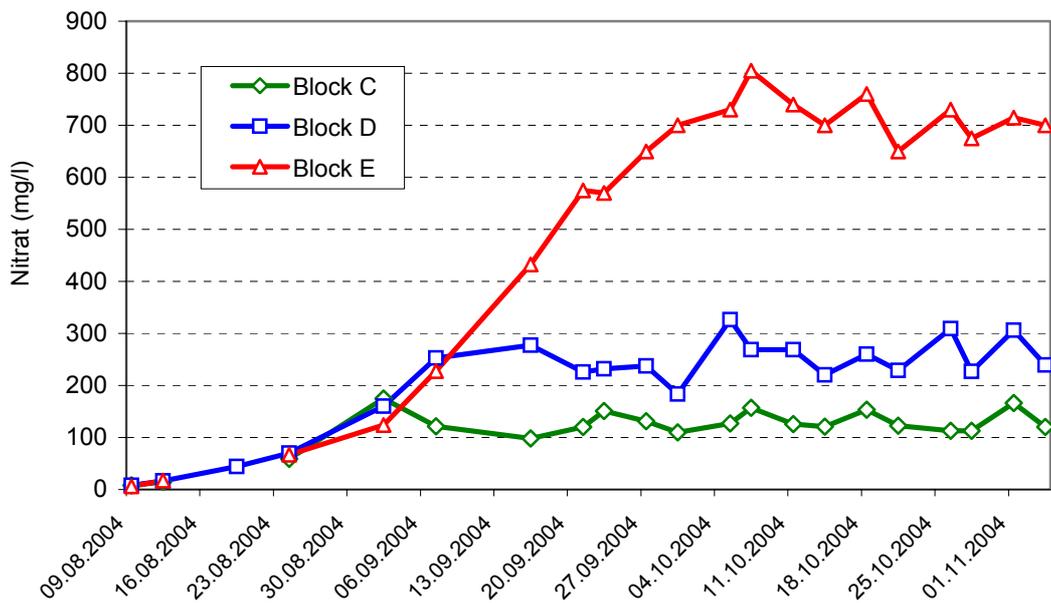


Abbildung 12: Verlauf der Nitratgehalte (mg/l) im Kreislaufwasser in den Blöcken C, D und E (Ausschnitt)

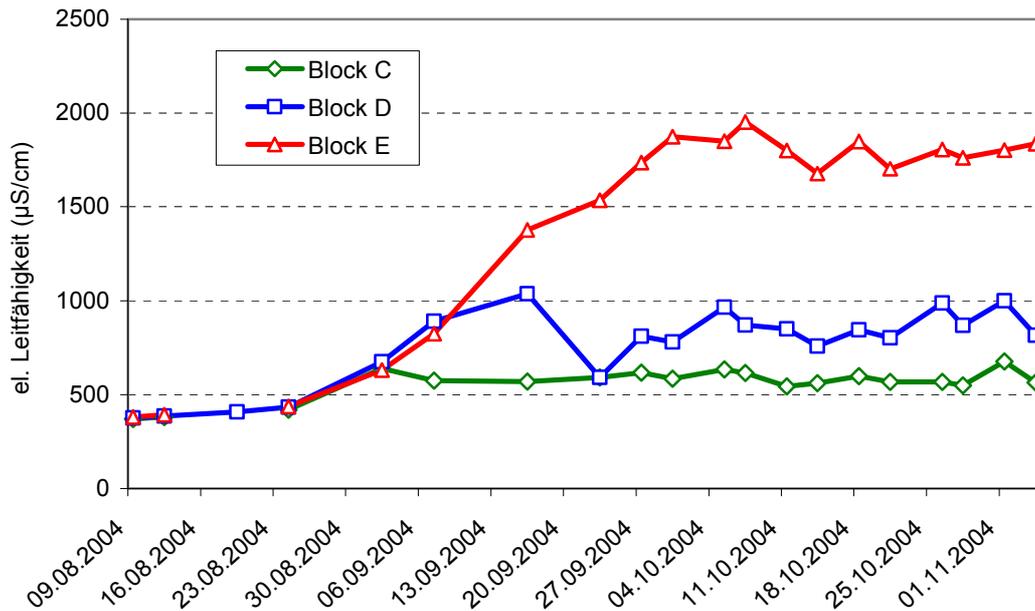


Abbildung 13: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit (µS/cm) im Kreislaufwasser in den Blöcken C, D und E (Ausschnitt)

Die mittleren Wassertemperaturen in Block C bis E betragen vom Versuchsbeginn am 05.08.03 bis zum 22.11.03 ca. 23 - 24,5 °C. Mit der Reduzierung des Nitratgehaltes in Block E wurden zeitgleich ab dem 23.11.04 auch die Wassertemperaturen in den Blöcken C bis E bis zum 26.11.04 auf ca. 20 °C und ab dem 17.12.04 auf ca. 18 °C bis zum Versuchsende abgesenkt.

6.2.2 Aufzuchtergebnisse

Die Störe aller drei Gruppen zeigten innerhalb des Versuchszeitraumes ein gleichmäßiges und sehr gutes Wachstum auf mittlere Körpermassen von 566 bis 603 g (Block C: 3,8 auf 567,0 g; Block D: 4,4 auf 603,5 g; Block E: 4,3 auf 565,9 g). Die Entwicklung der mittleren Körpermassen der Störe in den Blöcken C bis E über den gesamten Versuchszeitraum von 229 Tagen ist aus der Abbildung 14 ersichtlich. Zu den Zwischenwägungen wurden ab dem 20.09.04 aus Gründen der begrenzten Filterleistung jeweils gleich hohe Fischzahlen entnommen.

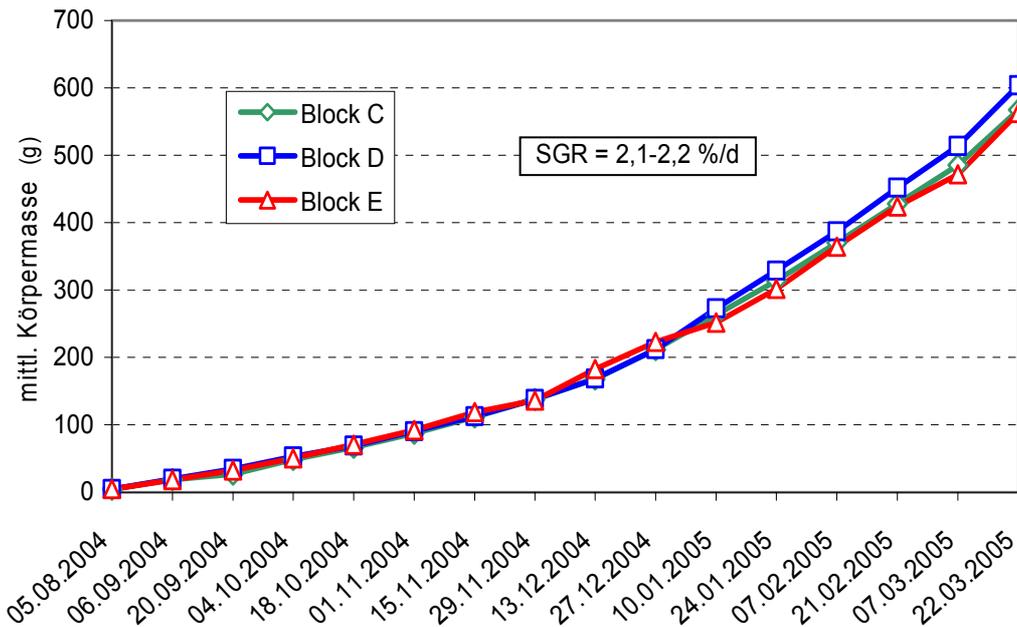


Abbildung 14: Entwicklung der mittleren Körpermassen der Störe im Toleranzversuch Block C, D und E (229 Tage)

Die spezifischen Wachstumsraten waren sehr ausgeglichen und betragen für den gesamten Zeitraum bezogen auf die mittleren Körpermassen 2,13 - 2,19 Prozent/d (Block C = 2,19 Prozent/d; Block D = 2,15 Prozent/d; Block E = 2,13 Prozent/d).

6.2.3 Mortalität und Erkrankungen

Während der stetigen Zunahme der Eindickung des Anlagenwassers wurden Erkrankungen der Störe nur in Block E (hohe Eindickung) sichtbar. In den Fischbeständen der Blöcke C und D waren über den gesamten Versuchszeitraum keine augenfälligen Erkrankungen und keine Verluste zu verzeichnen.

In Block E setzte nach dreiwöchiger Einwirkungsdauer von 570 bis 805 mg NO₃/l (mittlere 681 mg NO₃/l) am 12.10.04 (68. Versuchstag) ein Verlustgeschehen ein. Die Verluste betragen nachfolgend bis zu ca. 7 Prozent des Fischbestandes/Woche. Insgesamt verendeten innerhalb von sieben Wochen bei einer mittleren Nitratbelastung von 727 mg/l (s. Abb. 15, NO₃-Maximum=920 mg/l) und bei Wassertemperaturen von 23,5 bis 24,5 °C ca. ein Drittel des Störbestandes in Block E. Die kumulierten Verlustanteile betragen 32,8 Prozent. Letztmalig verendete ein Stör bei 720 mg NO₃/l am 29.11.04 (116. Versuchstag). Nachdem der Nitratgehalt anschließend auf mittlere 462 mg/l und

gleichzeitig die Temperatur auf unter 20 °C abgesenkt wurde, traten keine Verluste mehr auf (s. Tab. 24, Abb. 15).

Tabelle 24: Fischverluste in Prozent des Bestandes/Woche nach Einstellung der vorgesehenen Nitratbelastung im Toleranzversuch (Block C, D und E; Ausschnitt aus dem Versuchszeitraum von insgesamt 229 Tagen)

Woche	Fischverluste Prozent/Bestand		
	Block C	Block D	Block E
04.10.04	0	0	0,0
11.10.04	0	0	2,5
18.10.04	0	0	3,3
25.10.04	0	0	6,9
01.11.04	0	0	2,0
08.11.04	0	0	6,1
15.11.04	0	0	6,5
22.11.04	0	0	2,3
29.11.04	0	0	2,5
06.12.04	0	0	0,0

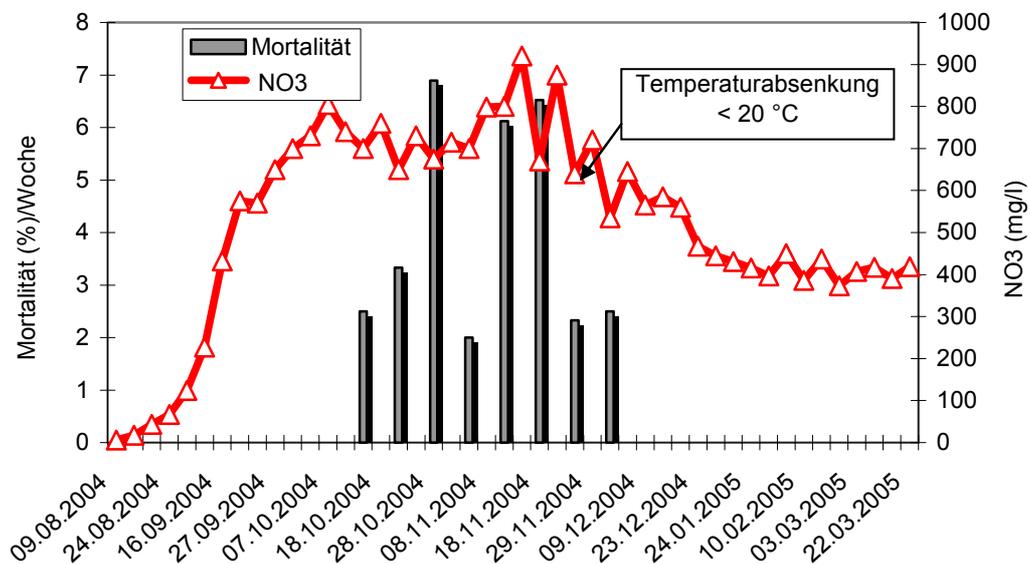


Abbildung 15: Fischverluste bzw. Mortalität (Prozent)/Woche in Abhängigkeit der Nitratgehalte im Block E im Toleranzversuch

Die Erkrankungen bei den Stören in Block E äußerten sich in der bekannten Weise mit einer anfänglich gesteigerten Atemfrequenz, lethargischem Verhalten, Verminderung bis Einstellung der Futtermittelaufnahme und deutlichen Rötungen von Haut, Maul und Flossenbasen. Auch vereinzelt Auftreibungen des Bauches traten auf. Bei der Sektion wurde ein gasgefüllter Verdauungstrakt und eine vermehrte Gasfüllung der Schwimmblase festgestellt, äußerlich nicht von der Aufgasung des Verdauungstraktes zu unterscheiden (s. Abbildungen 16a und 16b). Daneben wurde auch eine starke Verfettung der Lebern beobachtet.



Abbildung 16a: Aufgetriebener Bauch bei einem Jungstör aus Block E



Abbildung 16b: Gasfüllung des Magens und vermehrte Füllung der Schwimmblase

Bei den erkrankten Fischen trat häufig ein geröteter Maulbereich in Erscheinung (s. Abbildung 16c). Gleichzeitig ließen sich teilweise Darmentzündungen, meist im Bereich des Enddarms (Spiraldarm), nachweisen (s. Abbildung 16d).



Abbildung 16c: Maulrötung



Abbildung 16d: Darmentzündung

6.2.4 Futtermittelverwertung

Die Futterquotienten lagen ab Einstellung der gewünschten Versuchsparameter vom 20.09.04 - 22.03.05 (Belastungsphase) im Block C bei 0,78 kg/kg Zuwachs, im Block D bei 0,81 und im Block E bei 0,89 kg/kg Zuwachs. Die Futterquotienten der einzelnen zweiwöchigen Versuchsabschnitte sind aus der Tabelle 25 und der Abbildung 17 entnehmen.

Tabelle 25: Futtermittelverwertung (FQ) in der Belastungsphase im Toleranzversuch: Zuwachs (g) und verbrauchte Futtermengen (g) vom 20.09.04 – 22.03.05 (184 d)

Block	Zuwachs (g)	Futter (g)	FQ
C	16814,3	13148,1	0,78
D	17194,0	13926,5	0,81
E	14814,4	13219,2	0,89

Im Block E resultiert aus dem zunehmenden Verlustgeschehen unter der höchsten Wassereindickung ein zunehmend ungünstigerer Futterquotient. Dieser erreichte im Abschnitt vom 15.11. - 29.11.04 mit 2,81 sein Maximum (s. Tab. 26). Nach erfolgter Absenkung des Nitratgehaltes von mittleren 707 auf 462 mg/l lag die Futtermittelverwertung bei den Stören in Block E nur geringfügig über der von Block C und D (Abb. 17).

Tabelle 26: Futtermittelverwertung in den zweiwöchentlichen Versuchsabschnitten im Toleranzversuch

Tag	Datum	N	Block C	Block D	Block E	Versuchsabschnitt
			FQ	FQ	FQ	
19	24.08.04	150	0,37	0,40	0,41	Einlaufphase (NO ₃ < 400 mg/l)
32	06.09.04	150	0,54	0,54	0,62	
45	20.09.04	150	0,97	0,65	0,62	höchste Belastung in Block E (NO ₃ = 707 mg/l)
59	04.10.04	100	0,47	0,70	0,66	
74	18.10.04	80	0,78	0,97	0,85	
88	01.11.04	60	0,61	0,68	1,16	
102	15.11.04	50	0,86	0,89	1,54	
116	29.11.04	40	0,72	0,76	2,81	
130	13.12.04	40	0,78	0,78	0,84	hohe Belastung in Block E
144	27.12.04	30	0,71	0,72	0,82	

158	10.01.05	30	0,90	0,84	0,83	(NO ₃ = 462 mg/l)
172	24.01.05	20	0,87	0,80	0,79	
186	07.02.05	20	0,96	0,78	0,88	
200	21.02.05	20	0,97	0,90	0,93	
214	07.03.05	20	1,03	1,02	1,23	
229	22.03.05	20	0,79	0,76	0,69	

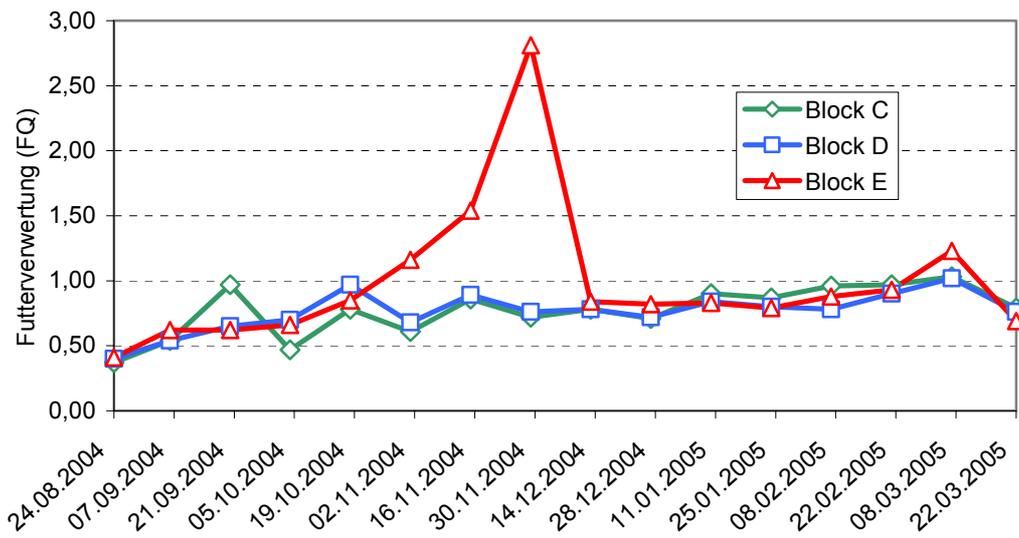


Abbildung 17: Entwicklung der Futterquotienten (kg/kg Zuwachs) im Toleranzversuch

Die Abbildung 18 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Eindickung des Anlagenwassers am Beispiel des Nitratgehalts und der Entwicklung des im zweiwöchentlichen Rhythmus erhobenen Futterquotienten in Block E.

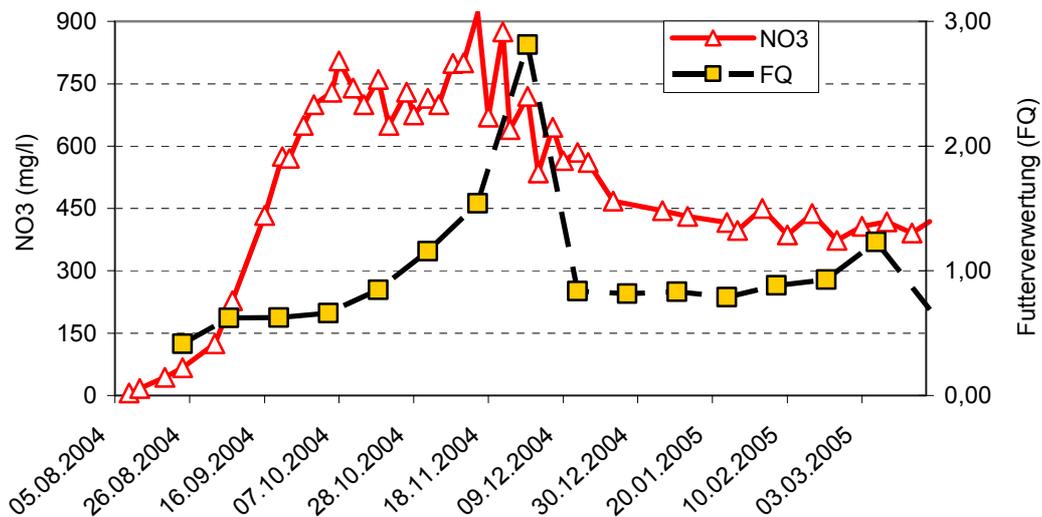


Abbildung 18: Der Futterquotient (kg/kg Zuwachs) in Abhängigkeit vom Nitratgehalt (mg/l) im Block E im Toleranzversuch

6.3 Diskussion

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem ersten Aufzuchtversuch mit Karpfen und Stören in Kreislaufanlagen wurden in einem weiteren Versuch die Auswirkungen der Wassereindickung, die sich im Verlauf des Betriebes von geschlossenen Kreislaufanlagen mit geringer Wassererneuerung einstellt, an Störsetzlingen genauer untersucht. Stellvertretend für die Eindickung des Anlagenwassers wurden Nitrat-Bereiche von 100 - 150, 300 - 350 und 400 - 450 mg/l über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten. Im hohen Nitratbereich (400 - 450 mg/l) wurde versucht, die Eindickung außerdem bis auf einen Maximalwert zu steigern, bei dem die Störe die bekannten Krankheitssymptome zeigen, um nachfolgend technologische Richtwerte und Empfehlungen zur Nitrattoleranz von Stören bei der Kreislaufanlagenaufzucht ableiten zu können.

Die verwendeten Störe stammten aus dem vorangestellten Versuch, bei dem die Adaptationsproblematik bei neu zugekauften Sibirischen Stören durch ein spezielles Fütterungsregime eingedämmt werden konnte. Im nachfolgend untersuchten Aufzuchtzeitraum zeigten die Störe ein sehr gutes Wachstum. Unter den Bedingungen niedriger Wasseraustauschraten in der geschlossenen Kreislaufanlage stellten sich aber letztendlich Erkrankungen ein, die zu den typischen Wachstums- und Leistungsdepressionen bis hin zu Fischverlusten führten.

Die bekannten Erkrankungen und das Verlustgeschehen der Störsetzlinge setzten unter der schrittweisen Erhöhung der Eindickung des Anlagenwassers ein. Die ersten Fischverluste traten in der 9. Versuchswoche auf. Zu diesem Zeitpunkt war über drei Wochen ein Nitratgehalt von 570 - 805 mg/l aufgetreten (NO_3 -Maximum=920 mg/l). Nach erfolgter Absenkung des Nitratgehaltes auf mittlere 462 mg/l traten keine Fischverluste mehr auf. Nun lag auch die Futterverwertung bei den Stören in Block E nur noch geringfügig über der von Block C und D. Über den gesamten Versuchszeitraum betragen die Futterquotienten der Versuchsfische für Block C = 0,78, Block D = 0,81 und Block D = 0,89 kg/kg Zuwachs. Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass die übrigen Umweltbedingungen im Komfortbereich für Störe lagen. Unter Praxisbedingungen ist schon bei geringeren Nitratbelastungen mit Wachstumseinbußen zu rechnen.

Die Belastung der Versuchsfische in Block B führte zu 32,8 Prozent kumulierten Verlustanteilen, was eine deutliche Beeinträchtigung der Störe beweist. Bei einer Nitratbelastung von 100 - 150 und 300 - 350 mg/l traten keine Verluste und Erkrankungen auf. Die spezifischen Wachstumsraten, bezogen auf die mittleren Körpermassen, betragen im Wachstumsanschnitt von ca. 4 - 600 g in allen Gruppen 2,1 - 2,2 Prozent/d (Versuchszeitraum von 229 Tagen).

Aus den Versuchen wird deutlich, dass bei einer starken Wassereindickung in Kreislaufanlagen die hohe Wachstumskapazität von Störsetzlingen nicht genutzt werden kann. Fischverluste und Erkrankungen führten zu einer merklichen Erhöhung des Futterquotienten. Daher ist für Störsetzlinge ein Richtwert von unter 350 mg NO_3 /l bei Dauerexposition und von unter 700 mg/l bei kurzzeitiger Einwirkung für die Aufzucht in Kreislaufanlagen abzuleiten, wenn die übrigen Wasserparameter die physiologischen Ansprüche von Stören erfüllen. Die in diesem mit Störsetzlingen durchgeführten Toleranzversuch gegenüber den im ersten Aufzuchtversuch von Speise- und Satzstören erhaltenen höheren Nitratgrenzwerte werden auf die im ersten Versuch verwendete eingefahrene Kreislaufanlage (Anlagerungen an den Innenbereich der Kreislaufanlage nach jahrelangem Betrieb) und deren spezifische und praxisnahe Aufzuchtbedingungen (z. B. begrenzte Reinigungsmöglichkeit bei Futterresten) zurückgeführt.

7 Zusammenfassung

Im Winterhalbjahr können in geschlossenen Kreislaufanlagen teichgezogene K_1 aus der Herbstabfischung unter Warmwasserbedingungen zu konditionsstarken K_2 aufgezogen werden, die im Frühjahr in der Teichwirtschaft als Satzkarpfen Verwendung finden. Fische mit Stückmassen über 500 g gelten dabei allgemein als „kormoranfest“. Weil eine alleinige Aufzucht von Satzkarpfen in geschlossenen Kreislaufanlagen aufgrund der ungünstigen Erlössituation nicht wirtschaftlich gestaltet werden kann, wurde auf die Einbeziehung hochpreisiger Fischarten, insbesondere von Stören, orientiert (RÜMMLER et al. 2006).

Bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung und der Einbeziehung der bisherigen Erfahrungen aus der Störaufzucht in Kreislaufanlagen wurde deutlich, dass der Stör aufgrund der Speisefischgröße von mindestens 2 bis 3 kg und der damit verbundenen relativ späten Vermarktbarkeit ungünstige Voraussetzungen für eine ergänzende und zeitweise parallele Produktion zur Satzkarpfenerzeugung aufweist (RÜMMLER et al. 2006).

Auch die Möglichkeit der Satzstörproduktion erscheint unter den Gesichtspunkten der Produktionstechnologie und der Vermarktung nicht tragfähig. Die Setzlinge könnten zwar im Sommerhalbjahr bis zum Winter auf eine entsprechende Stückmasse von mindestens 500 g aufgezogen werden. Mit zunehmender Karpfenbestandsmasse und Anlagenauslastung im Winter müsste aber hier der Satzstörverkauf beginnen und bis zum zeitigen Frühjahr beendet sein. Weil dies bei dem Verkauf an Teichwirtschaften - andere Abnehmer sind derzeit nicht vorhanden - mit einer kostspieligen Temperaturadaptation (Abkühlung) verbunden wäre und im Winterhalbjahr ohnehin kein Markt für Satzstöre existiert, scheidet auch diese Variante aus.

Bei der mit Praxisbedingungen vergleichbaren Aufzucht von Satzstören (*A. baeri*; Versuch 1) zweier Größenklassen (Stückmassen von 11 bzw. 190 g) bis zu Endstückmassen von ca. 1 kg in einer eingefahrenen Kreislaufanlage des Instituts für Binnenfischerei (IfB) wirkten sich die Wasserparameter bei einem Nitratgehalt im Bereich von 500 mg/l auf die Störe nicht akut toxisch aus. So waren jedoch innerhalb des nachfolgenden Zeitraumes von zwei Wochen bei Nitratgehalten von > 400 mg/l ein Rückgang der Futteraufnahme und eine deutliche Zunahme von Erkrankungen und Fischverlusten zu verzeichnen. Das weitere Vorherrschen dieser Bedingungen führte zu teilweise hochgradigen Organschäden bei den Stören (HEIDRICH & WEDEKIND 2005). Bei einer Einwirkungsdauer der im Versuch erzeugten Bedingungen (Nitratgehalt von 400 - 600 mg/l) von über 20 Wochen zeichnete sich eine fast 100-prozentige Letalität ab. In diesem Zusammenhang war bei den nachgewiesenen Konzentrationen von Schwermetallen und der Anwesenheit einer Reihe von chlororganischen Verbindungen im Anlagenwasser auch von negativen Einflüssen dieser Substanzen mit additiven und superadditiven Effekten auszugehen (HOFER & LACKNER 1995; KÖCK 1996). Die lebensmittelhygienischen Eigenschaften der Störe wurden nicht negativ beeinflusst. Die umfangreiche Untersuchung von Organen und Geweben der Störe auf Rückstände und Kontaminanten ergab, dass die bestehenden Grenzwerte bei weitem nicht ausgeschöpft wurden. Die spezifischen Wachstumsraten bei Aufzucht von Speise- und Satzstören lagen im Wachstumsabschnitt von 260 auf 940 g Stückmasse bei nur 0,9 Prozent/Tag. Die Karpfen (K₁₋₂) zeigten im vorliegenden Versuch unter den Bedingungen der Warmwasseraufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen erwartungsgemäß ihre hohe Wachstumspotenz und ihre relative Nitratunempfindlichkeit.

Eine Adaptationsproblematik, die v. a. bei Jungstören oft während der Eingewöhnung nach dem Zukauf auftritt und mit Aufgasungen des Verdauungstraktes bzw. der Schwimmblase einhergeht,

konnte durch den Zusatz von Kochsalz, einem Lactobacillus-Präparat (Fa. Cobiotech) und Huminstoff (Typ HS WH 67, Fa. Pharmawerk Weinböhla) vermindert werden (Versuch 2). Die Verluste wurden von 21 auf 7 Prozent (2 Prozent Huminstoff) reduziert sowie der Zuwachs von 112 auf 138 Prozent (5 Prozent Kochsalz) und der Futterquotient von 0,97 auf 0,79 kg/kg Zuwachs (1 Prozent Lactobacillus) gesteigert. Auch ein spezielles Fütterungsregime wurde mit Erfolg zur Reduzierung der üblichen Anfangsverluste angewendet (Versuch 3). Mit einem durch Rapsöl auf 22 Prozent Rohfettgehalt aufgewerteten Granulatfutter konnten die üblicherweise bei der Adaptationssymptomatik auftretenden Anfangsverluste nach dem Zukauf von schlecht konditionierten Jungstören auf 1 Prozent reduziert werden. Nach der Anlieferung erhielten die Störsetzlinge nur geringe Futtergaben. Ab dem 12. Versuchstag wurde eine sukzessive Zumischung des neuen Futtermittels in das vom Zulieferer der Jungstöre verwendete Futtermittel in steigenden Anteilen (20 Prozent/Tag) vorgenommen. Die Futterquotienten betragen im Adaptationszeitraum in den drei Versuchsgruppen zwischen 0,37 und 0,41 kg/kg Zuwachs.

Ein weiterer Versuch zur Toleranz von Störsetzlingen (*A. baeri*) gegenüber der Eindickung von Kreislaufanlagenwasser in drei Haltungseinrichtungen von je 1,0 m³ Gesamtwasservolumen (Versuch 4) bestätigte grundsätzlich das hohe Wachstumspotenzial dieser Fischart. Innerhalb von 7,5 Monaten wurden im Versuchsbetrieb unter optimalen Bedingungen ein Wachstum der Stückmassen von ca. 4 auf 600 g erreicht, was einer spezifischen Wachstumsrate von 2,2 Prozent/Tag entspricht. Die Futterquotienten betragen in den Bereichen von 100 - 150 und 300 - 350 mg NO₃/l jeweils 0,8 kg/kg Zuwachs.

Gegenüber einer so genannten Eindickung des Anlagenwassers bei reduzierten Frischwassergaben reagierten die Störe analog zum Versuch 1 mit Erkrankungen und Verlusten. Das Verlustgeschehen setzte bei den Störsetzlingen nach einem schrittweisen Anstieg des Nitratgehaltes im Anlagenwasser auf ca. 680 mg/l ein (Mittelwert von 3 Wochen). Die kumulativen Verluste betragen im Folgezeitraum von sieben Wochen bei einem mittleren Nitratgehalt von ca. 730 mg/l ca. 33 Prozent des Fischbestandes. Nachdem der Nitratgehalt anschließend auf ca. 460 mg/l (Mittelwert von sieben Wochen) und die Temperatur auf < 20 °C abgesenkt wurden, konnte das Verlustgeschehen gestoppt werden und bis zum Versuchsende wieder übliche Futterquotienten von ca. 0,9 kg/kg Zuwachs erreicht werden. Die im ersten Aufzuchtversuch von Speise- und Satzstören (Versuch 1) gegenüber dem Toleranzversuch (Versuch 4) mit Störsetzlingen erhaltenen niedrigeren Nitratgrenzwerte werden auf die im ersten Versuch verwendete eingefahrene Kreislaufanlage und die spezifischen Aufzuchtbedingungen zurückgeführt, die mehr mit denen in der Praxis vergleichbar sind.

Die im Rahmen des bearbeiteten Projektes durchgeführten Versuche bestätigten die empirische Erkenntnis, dass sich in geschlossenen Kreislaufanlagen eine übermäßige so genannte Eindickung

des Kreislaufwassers negativ bei der Aufzucht von Speisestören und Störsetzlingen auswirkt. Bei den sich im Versuchsverlauf einstellenden ungünstigen Umwelt- und Wachstumsbedingungen (Eindickung) reduzierten sich die körpereigenen Regenerations- und Schadstoffabbauvorgänge der Störe. Erregerbedingte Erkrankungen wie Bakteriosen und Parasitosen spielten bei der Entwicklung der Krankheitsgeschehen keine Rolle. Die Befunde der inneren Organe deuten einmal mehr auf eine ungenügend angepasste Futterzusammensetzung hin. Insbesondere die Verfettung der Lebern lässt auf Inbalancen im Fettanteil bzw. schlecht verwertbare NfE-Bestandteile der Futtermittel schließen (SCHRECKENBACH 1996). Aus den Untersuchungsergebnissen zu Wachstum, produktivstechnischen Parametern und Fischgesundheit wird damit deutlich, dass keine alleinige Ursache, sondern ein umfangreicher Ursachenkomplex für die bekannten Probleme in der Praxis verantwortlich gemacht werden muss. Dazu zählen v. a. die beschriebene Adaptationsproblematik, die Anreicherung von Stoffwechselabbauprodukten, unerwünschten Stoffen und Kontaminanten im Anlagenwasser (Eindickung) sowie unzureichend auf Störe abgestimmte Futtermittel.

Aus den Untersuchungsergebnissen des Anreicherungs- und Toleranzversuchs (Versuche 1 und 4) wird als Richtwert für die Störaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen unter Praxisbedingungen für optimale Aufzuchtergebnisse ein Nitratgehalt von 0 - 350 mg/l abgeleitet. Eingeschränkte Bedingungen ergeben sich schon bei Eindickungen des Anlagenwassers, die bei Nitratgehalten von über 350 - 500 mg/l auftreten. Dieser Bereich kann kurzzeitig toleriert werden, wenn die übrigen Umweltparameter optimal gestaltet werden. Können keine ausreichenden Bedingungen geboten werden, ist mit deutlichen Schädigungen und Fischverlusten zu rechnen. Nitratgehalte von über 500 mg/l sind für Sibirische Störe inakzeptabel. Hierbei können sich im praxisnahen Anlagenbetrieb hohe Verlustgeschehen entwickeln. Für den Betrieb der meist üblichen geschlossenen Kreislaufanlagen ohne Denitrifikation wird als Richtwert ca. 10 Prozent Frischwasser pro Tag empfohlen.

Aus den gegebenen Richtwerten für Störe wird ersichtlich, dass insbesondere durch die höhere Nitratempfindlichkeit der Sibirischen Störe eine kombinierte Aufzucht mit Karpfen unter wirtschaftlichen Bedingungen unmöglich ist. Während von $K_{1,2}$ Nitratgehalte von über 500 mg/l, z. T. auch 800 mg/l, ohne Leistungseinbußen über einen längeren Zeitraum toleriert werden können, entwickeln Störe bei diesen Wassereindickungen die bekannten Wachstumsdepressionen und Erkrankungen bis hin zu hohen Verlusten. Eine gemeinsame Aufzucht von Karpfen und Stören kann unter intensiven Bedingungen in Kreislaufanlagen nicht empfohlen werden.

8 Literatur

- ANDERS, E. (2000): Störe - Fische mit Zukunft in Mecklenburg-Vorpommern ? *Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern* Heft 22: 1 - 5.
- ANON. (1983): Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment - formation, sources, fate and effects on aquatic biota (NRCC 18981). Nat Res Council, Canada.
- DOMENEGHINI, C., ARRIGHI, S., RADAELLI, G., BOSI, G., BERARDINELLI, P., VAINI, F. & MASCARELLO, F. (1999): A morphological and histochemical analysis of the neuroendocrine system of the gut in *Acipenser transmontanus*. *J Appl Ichthyol* 15: 81-86.
- FONTENOT, Q. S., ISELY, J. J. & TOMASSO, J. R. (1998): Characterization and inhibition of nitrite uptake in shortnose sturgeon fingerlings. *J Aquat Anim Health* 11: 76-80.
- HEIDRICH, S. & WEDEKIND, H. (2005): Gesundheitsprobleme bei der Aufzucht von Stören in Kreislaufanlagen. In: Fichtner, D. & Bergmann, S. (Eds.), *Gesunde Fische in der Aquakultur*. X. Gemeinschaftstagung der Deutschen, Österr. und Schweizer Sektion der European Association of Fish Pathologists am 8.-10.09.2004 in Stralsund, S. 237-251 (Tagungsband).
- HELLAWELL, J. M. (1986): Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Pollution Monitoring Series. Elsevier Appl Science, London.
- HOCHLEITHNER, M. (1996): Störe - Verbreitung, Lebensweise und Aquakultur. Österr Agrarverlag, Klosterneuburg.
- HOFER, R. & LACKNER, R. (1995): *Fischtoxikologie in Theorie und Praxis*. Fischer, Jena, Stuttgart.
- HUERTAS, M., GISBERT, E. & RODRIGUEZ, A. (2002a): Acute exposure of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt) yearlings to nitrite: median-lethal concentration (LC₅₀) determination, haematological changes and nitrite accumulation in selected tissues. *Aquat toxicol* 57: 257-266.
- HUERTAS, M., GISBERT, E., RODRIGUEZ, A., CARDONA, L., WILLIOT, P. & CASTELLÓ-ORVAY, F. (2002b): Acute exposure of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt) yearlings to nitrite: median-lethal concentration (LC₅₀) determination, haematological changes and nitrite accumulation in selected tissues. *Aquat Toxicol* 57: 257-266.
- KÖCK, G. (1996): Die toxische Wirkung von Schwermetallen auf Fische - Beiträge zur Festlegung von Immissionsbereichen für Kupfer, Cadmium, Quecksilber, Chrom, Nickel, Blei und Zink aus fischbiologischer Sicht. In: C. STEINBERG, W. CALMANO, H. KLAPPER & R.-D. WILKEN (Eds.), *Handbuch Angewandte Limnologie - 2. Erg.Lfg.* 11/96, pp. Ecomed, Landsberg/Lech.
- MEINELT, T., STÜBER, A., STAAKS, G. & STEINBERG, C. (1995): Wirkungen fischtoxischer Schadmetalle - Fischtoxizität von Kupfer. *Fischer u Teichwirt* 46: 241-243.
- NOGA, E. J. (2000): *Fish Disease - Diagnosis and Treatment*. Iowa State University Press, Ames.

- RÜMMLER, F. & PFEIFER, M. (1998): Aufzuchtversuche von Stören in verschiedenen Anlagentypen. *Fischer u Teichwirt* 46: 231-234.
- RÜMMLER, F., HEIDRICH, S. & PFEIFER, M. (2006): Kombinierte Satzkarpfen-Edelfischaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen. Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow (Projektbericht).
- SCHRECKENBACH, K. (1996): Ernährungsbedingte Dysbakterie bei Störhybriden (*Acipenser baeri* x *A. ruthenus*). Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe Fischkrankheiten in Verbindung mit der Deutschen Sektion der European Association of Fish Pathologists, Königwartha.
- SCHRECKENBACH, K. (2000): Biologische Grundlagen der Fischhaltung in Kreislaufanlagen. In: INSTITUT FÜR BINNENFISCHEREI (Ed.), *Neue Perspektiven für Kreislaufanlagen?*, pp. 11. Tagungsschrift zur Fortbildungs- und Informationsveranstaltung am 15.06.2000 im Institut für Binnenfischerei, Potsdam-Sacrow.
- WEDEKIND, H. (2000): Marktübliche und alternative Fischarten für die Aufzucht in Kreislaufanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. In: INSTITUT FÜR BINNENFISCHEREI (Ed.), *Neue Perspektiven für Kreislaufanlagen?*, pp. 7. Tagungsschrift zur Fortbildungs- und Informationsveranstaltung am 15.06.2000 im Institut für Binnenfischerei, Potsdam-Sacrow.

Anhang: Siehe Datei "Schriftenreihe 13/06 Berichte aus der Fischerei Anhang"

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen
- Autoren:** Dr. Frank Rümmler, Dr. Stefan Heidrich; Institut für Binnenfischerei e.V.
Potsdam-Sacrow
Dr. Helmut Wedekind, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei, Starnberg (bis 09/2004: Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow)
Matthias Pfeifer, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351 2612-345
Telefax: 0351 2612-151
E-Mail: birgit.seeber@smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Oktober 2006

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.