

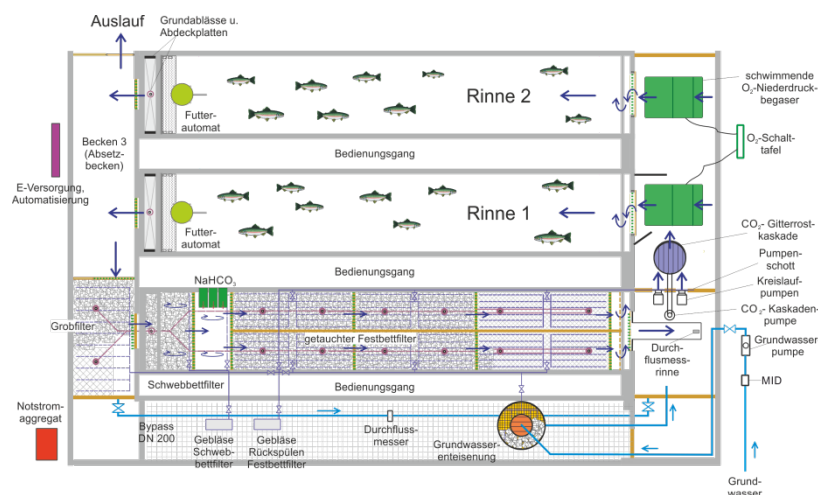


**Förderinitiative Nachhaltige Aquakultur:
Modellhafte Umgestaltung und Untersuchung einer Forellen-
Rinnenanlage in den neuen Bundesländern mit einer Wasser-
sparenden, von der fließenden Welle unabhängigen Betriebs-
weise im teilgeschlossenen Kreislauf**

**Abschlussbericht
zum Forschungsvorhaben AZ 28132**

Gefördert durch die

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Osnabrück**



Projektleitung und Bearbeitung: Dr. Frank Rümmler
Dipl. Fischereing. Frank Ehrmann

Potsdam, März 2016

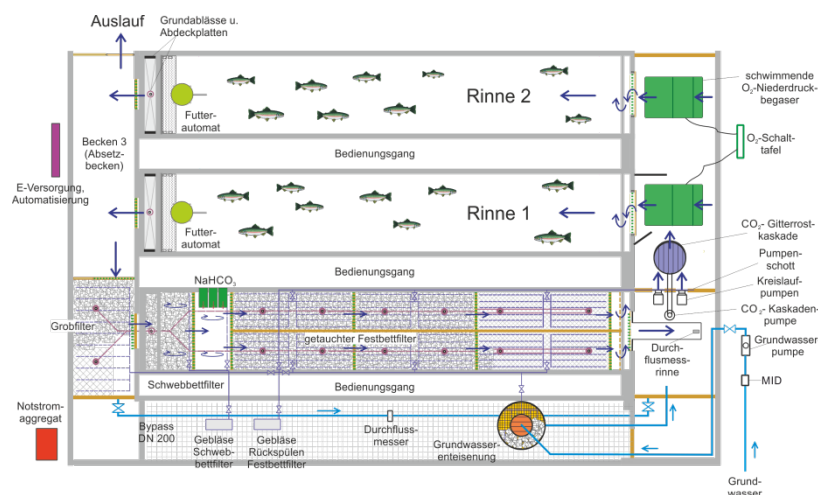


**Förderinitiative Nachhaltige Aquakultur:
Modellhafte Umgestaltung und Untersuchung einer Forellen-
Rinnenanlage in den neuen Bundesländern mit einer Wasser-
sparenden, von der fließenden Welle unabhängigen Betriebs-
weise im teilgeschlossenen Kreislauf**

**Abschlussbericht
zum Forschungsvorhaben AZ 28132**

Gefördert durch die

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Osnabrück**



Projektleitung und Bearbeitung: Dr. Frank Rümmler
Dipl. Fischereing. Frank Ehrmann

Potsdam, März 2016

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



AZ	28132	Referat	23	Fördersumme	178.625 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel Förderinitiative Aquakultur: Modellhafte Umgestaltung und Untersuchung einer Forellen-Rinnenanlage in den neuen Bundesländern mit einer Wasser sparenden, von der fließenden Welle unabhängigen Betriebsweise im teilgeschlossenen Kreislauf

Stichworte Aquakultur, Wasser, Kreislauf, Tier

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
3 Jahre	23.06.2011	31.12.2015	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Institut für Binnenfischerei (IfB) e. V. Im Königswald 2 14469 Potsdam	Tel: 033201/40612 Fax: 033201/40640
		Projektleitung Dr. F. Rümmler
		Bearbeiter Dr. F. Rümmler

Kooperationspartner Fischzucht Ehrmann, Mönchholz 3, 06862 Thießen
Dipl.-Fischereing. Frank Ehrmann,
Tel.: 034907/20455
email: info@forellenhof-thiessen.de, <http://www.forellenhof-thiessen.de>

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Forellenproduktion ist der Zweig der deutschen Fischproduktion mit dem höchsten Aufkommen. Im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. der Schaffung der ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer ist für viele Anlagen der Forellenaufzucht eine Verringerung der zugestandenen Wassermengen absehbar.

Teilgeschlossene Kaltwasser-Kreislaufanlagen stellen eine neue Anlagentechnologie für die Forellenproduktion dar, die mit weniger Frischwasser auskommt und geringere Emissionen in die Vorflut ermöglicht. Gleichzeitig führt die Nutzung von Grundwasser zu verbesserten Temperaturen, Wasserparametern und hygienischen Bedingungen für die Fische. Da insbesondere in Ostdeutschland ein Anlagenneubau in den wenigsten Fällen in Frage kommt, wird ein Konzept verfolgt, bei dem modulweise Teile der vorhandenen Betonrinnenanlagen auf den teilgeschlossenen Kreislauf umgebaut werden können. Ein derartiges Modul soll in einer Forellentrinnenanlage in Sachsen-Anhalt in die bestehende Anlage eingebaut und anschließend erprobt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

In dem Projekt wird ein Modul aus drei Rinnen als Versuchsanlage konzipiert, projektiert und in die bestehende Anlage eingebaut. Die technische Realisierung des Moduls erfolgt neben der Installation der notwendigen technologischen Geräte (Pumpen, Sauerstoffbegaser, Gebläse) durch verschiedene lösbare Einbauten, ohne bautechnische Veränderung der Anlage.

Im Anschluss an den Anlagenaufbau wird zur Erprobung eine zweijährige Versuchsproduktion mit Satzforellen durchgeführt. Das Versuchsprogramm beinhaltet neben der Untersuchung der verfahrenstechnischen Wirkungsweise der einzelnen Anlagenteile und der Gesamtanlage auch die Erfassung und Auswertung der erreichten Ergebnisse der Fischaufzucht, der Effekte der verbesserten Haltungsbedingungen und entsprechende ökonomische Betrachtungen. Weiterhin werden wiederverwendungsfähige Unterlagen für das Modul angefertigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die errichtete und erprobte Anlage besteht aus zwei weiterhin zur Fischhaltung genutzten Rinnen und der Wasseraufbereitung, die sich aus Grundablässen zur Schlammmentfernung aus den Fischhaltungsrinnen, mechanischem Grobfilter, zweistufigem Biofilter, bestehend aus Schwebbetfilter und getauchtem Festbettfilter, Wasserförderung mit Propellerpumpen, CO₂-Entgasung, Sauerstoffbegasung mit schwimmenden Niederdruckbegasern und Alkalinitätszufuhr zusammensetzt.

Für die angestrebte Produktionshöhe eines Aufzuchtdurchgangs von maximal 3 t Satzforellen werden 3 m³/h Grundwasser, d. h. 1 m³/t*h, eingesetzt, die zuvor eine Enteisungsanlage durchlaufen.

Die Verfahrensgestaltung mit Sauerstoffbegasung und Propellerpumpen ist neu für teilgeschlossene Kreislaufanlagen und unter den Rahmenbedingungen in Deutschland besser geeignet. Konzeption, Bau und Erprobung der CO₂-Entgasung und der Enteisung mussten zusätzlich ins Projekt aufgenommen werden, um die erforderlichen Haltungsbedingungen für die Fische zu gewährleisten.

Für die erprobte Anlagengestaltung liegen Projektierungsunterlagen in digitaler Form vor.

Die einzelnen verfahrenstechnischen Teilprozesse wurden erprobt und Leistungsdaten ermittelt. Die spezifische CO₂-Entgasungsleistung der realisierten Füllkörperkolonne beträgt 2,0 bzw. 2,1 kW*h/kgCO₂ mit Zwangsbelüftung, die spezifische O₂-Eintragsleistung der Niederdruckbegaser liegt bei 0,48 kW*h/kgO₂ mit 10 % Sauerstoffverlusten. Durch die offene Filteranlage zur Enteisung mit vorgeschalteter Belüftungskaskade wurde die Eisenkonzentration von 2,8 - 4,6 mg/l auf 0,3 - 1,3 mg/l reduziert.

Messungen der verschiedenen Wasserparameter bei hohen Futtermengen und Bestandsdichten ergaben günstige bzw. optimale Umweltbedingungen für den Fischbestand, welche die Voraussetzung für gute Aufzuchtergebnisse bilden. Durch die Arbeitsweise des Biofilters ergaben sich im Mittel folgende Stickstoffkonzentrationen: 0,79 mg/l Ammonium (NH₄), 0,5 mg/l Nitrit (NO₂) und 40 mg/l Nitrat (NO₃). Lediglich die CO₂-Konzentration überstieg den angestrebten Höchstwert von 25 mg/l.

Die mittlere Konzentration des Haltungswassers bzw. des Ablaufwassers aus der Anlage an mineralischem Stickstoff N_{min} von 11 mg/l ist wasserwirtschaftlich von Bedeutung, da nahezu die gesamte Stickstofffracht der Anlage über diesen Weg abgeführt wird.

Die Messung der Wirksamkeit des Biofilters ergab Mittelwerte der NH₄-Filtereffizienz von 22 % und der Nitrifikationsrate von 0,09 gNH₄-N/m² Filterfläche * d. Die getrennte Betrachtung der beiden Filterteile zeigte eine höhere NH₄-Filtereffizienz des größeren Festbettfilters und eine höhere Nitrifikationsrate des Schwebbetfilters. Insgesamt liegt die ermittelte Nitrifikationsrate des Biofilters im unteren Bereich der wenigen bisher in anderen Anlagen erhobenen Werte.

Die Zielstellungen für die Satzforellenaufzucht in der Modulanlage wurden bei den durchgeführten zehn Aufzuchtzyklen erreicht. Die beiden Rinnen wurden zeitversetzt mit Setzlingen von ca. 10 g Stückmasse besetzt und nach ca. 4,1 Monaten mit der Zielstückmasse von ca. 100 g abgefischt. Die Abfischungsmasse überstieg bei mehreren Zyklen den geplanten Wert von 1,85 t pro Rinne. Aus den bisherigen Daten ergibt sich eine mittlere jährliche Abfischungsmasse von 9,83 t. Die geplante Produktion von 9,2 - 10 t pro Jahr in fünf Zyklen ist damit möglich.

Die Überlebensrate von 88 % und die Futtermittelverwertung von 0,99 kg/kg Zuwachs lassen sich weiter verbessern. Als wichtigste Aufwandskennwerte wurden pro kg Fischzuwachs 2,91 kWh Elektroenergie, 1,08 kg Sauerstoff und 0,37 kg Natrium-Hydrogenkarbonat ermittelt. Bei den üblichen Abgabepreisen der Satzforelle kann ein begrenzter Deckungsbeitrag erwirtschaftet werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projektes wurden bisher in fünf Vorträgen dargestellt. Die Erkenntnisse werden in einer Broschüre der Schriftenreihe des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow ausführlicher dargestellt. Die Bände der Schriftenreihe des IfB werden als gedruckte Broschüre und durch die Homepage des IfB www.ifb-potsdam.de der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Fazit

Die Errichtung und der erfolgreiche Betrieb eines derartigen Moduls im teilgeschlossenen Kreislauf mit Grundwasserversorgung sind möglich. Sehr viele vorher nicht absehbare technische, hydraulische und verfahrenstechnische Probleme wurden gelöst. Die erzielten Aufzuchtergebnisse liegen im Bereich der quellnaher Durchflussanlagen mit sehr guten Voraussetzungen. Weitere Verbesserungen der Aufzucht- und Abfischungsdaten sind möglich und sollten für die zukünftige Anwendung des Verfahrens und die fischereiliche und ökonomische Bewertung der teilgeschlossenen Kreisläufe ermittelt werden. Vorhandene verfahrenstechnische Probleme, wie CO₂-Entgasung, Enteisung und vor allem die Abwasseraufbereitung für derartige Anlagen müssen durch weitere ingenieurtechnische Arbeiten gelöst werden, um die Vorteile dieser Technologie, die sowohl im Bereich des Umweltschutzes und der Wasserwirtschaft als auch der Fischerei liegen, voll wirksam werden zu lassen. Dazu bietet sich die Modulanlage durch ihre Größe und Ausstattung an.

Inhalt

Zusammenfassung	9
1. Einleitung	11
2. Hauptteil	14
2.1 Anmerkungen zum Ablauf der Anlagenerrichtung und der Inbetriebsetzung.....	14
2.2.1 Grundlegende Dimensionierung und Gestaltung.....	15
2.2.2 Fischhaltungseinrichtungen (Abb. A2.1, A2.2, A2.3).....	17
2.2.3 Fütterungstechnik (Abb. A2.1).....	19
2.2.4 Grobfilter (Abb. A2.4).....	19
2.2.5 Biologische Reinigung (Abb. A2.5, A2.6, A2.7, A2.8).....	20
2.2.5.1 Schwebbettfilter	20
2.2.5.2 Getauchter Festbettfilter	21
2.2.6 Pumpensumpf (Abb. A2.9).....	23
2.2.7 CO ₂ -Entgasung (Abb. A2.10).....	24
2.2.8 Sauerstoffbegasung (Abb. A2.11).....	26
2.2.9 Alkalinitätszufuhr (Abb. A2.6).....	27
2.2.10 Frischwasserzufuhr - Grundwasserenteisung (Abb. A2.12, A2.13).....	27
2.2.11 Automatisierungs- und Havariesicherungssystem.....	29
2.3 Verfahrenstechnische Untersuchungen.....	29
2.3.1 Überblick über die durchgeführten Untersuchungen	29
2.3.2 Haltungsbedingungen der Fische	30
2.3.3 Biofilter	33
2.4 Produktionstechnologische Zielstellungen und produktionstechnologischer Ablauf	38
2.5 Bisherige Aufzuchtergebnisse	40
2.6 Ökonomische Betrachtungen	46
3. Fazit	50
4. Literatur	55

Verzeichnis von Tabellen

Tab. 1:	Wichtigste Dimensionierungsangaben zur verfahrenstechnischen Gestaltung des Moduls 16	
Tab. 2:	Wasserparameter in den Fischhaltungsrinnen der Modulanlage bei mehr als 20 kg Futter/Tag und mehr als 1 t Fischbestand	32
Tab. 3:	Mittelwerte der wichtigsten wasserchemischen Konzentrationen und Parameter der vier Messkampagnen zur Untersuchung des Biofilters.....	35
Tab. 4:	Mittelwerte der wichtigsten wasserchemischen Konzentrationen und Parameter der vier Messkampagnen zur Untersuchung des Schwebbettfilters und des Festbettfilters	36
Tab. 5:	Wichtigste produktionsbiologische Zielstellungen der Satzfischaufzucht in der Modulanlage	39
Tab. 6:	Bisherige Aufzuchtergebnisse in der Modulanlage (graue Zellen – Produktionszyklen vor Umbau der Anlage) (1)	41
Tab. 6:	Bisherige Aufzuchtergebnisse in der Modulanlage (graue Zellen - Produktionszyklen vor Umbau der Anlage) (2)	42
Tab. 7:	Deckungsbeitragsrechnung I mit den bisherigen Produktions- und Aufwandsdaten	47
Tab. 8:	Werte der Produktions- und Aufwandskennziffern nach weiteren Verbesserungen (Zeitraum ein Jahr).....	48
Tab. 9:	Deckungsbeitragsrechnung I mit verbesserten Produktions- und Aufwandskennziffern und verringerten Satzfishkosten	49

Verzeichnis von Abbildungen

Abb. 1	realisierte Modulanlage in vereinfachter Draufsicht.....	18
Abb. 2:	14tägiges Mittel der Wassertemperatur in der Modulanlage mit Grundwasserspeisung und in der Durchflussanlage mit Oberflächenwasserzufluss	44

Zusammenfassung

Teilgeschlossene Kaltwasser-Kreislaufanlagen stellen eine neue Anlagentechnologie für die Forellenproduktion dar, die mit weniger Frischwasser auskommt und geringere Emissionen in die Vorflut ermöglicht. Gleichzeitig führt die Nutzung von Grundwasser zu verbesserten Temperaturen, Wasserparametern und hygienischen Bedingungen für die Fische.

In dem durchgeführten Projekt wurde ein Modul einer teilgeschlossenen Kreislaufanlage durch den Umbau mehrerer Rinnen in einer bestehenden Betonrinnenanlage errichtet und erprobt. Die Anlage besteht aus zwei weiterhin zur Fischhaltung genutzten Rinnen und der Wasseraufbereitung, die sich aus Grundablässen zur Schlammentfernung aus den Fischhaltungsrinnen, mechanischem Grobfilter, zweistufigem Biofilter, bestehend aus Schwebbetfilter und getauchtem Festbetfilter, Wasserförderung mit Propellerpumpen, CO₂-Entgasung, Sauerstoffbegasung mit schwimmenden Niederdruckbegasern und Alkalinitätszufuhr zusammensetzt.

Für die angestrebte Produktionshöhe eines Aufzuchtdurchgangs von maximal 3 t Satzforellen werden 3 m³/h Grundwasser, d. h. 1 m³/t*h, eingesetzt, die zuvor die Enteisungsanlage durchlaufen. Die Verfahrensgestaltung mit Sauerstoffbegasung und Propellerpumpen ist neu für teilgeschlossene Kreislaufanlagen und unter den Rahmenbedingungen in Deutschland besser geeignet. Konzeption, Bau und Erprobung der CO₂-Entgasung und der Enteisung mussten zusätzlich ins Projekt aufgenommen werden, um die erforderlichen Haltungsbedingungen für die Fische zu gewährleisten. Die technische Realisierung erfolgte neben der Installation der notwendigen Geräte durch den Einbau von Schottwänden, Sieben u. ä. ohne bautechnische Veränderungen.

Die einzelnen verfahrenstechnischen Teilprozesse wurden erprobt und Leistungsdaten ermittelt. Die spezifische CO₂-Entgasungsleistung der realisierten Füllkörperkolonne beträgt 2,0 bzw. 2,1 kW*h/kgCO₂ mit Zwangsbelüftung, die spezifische O₂-Eintragsleistung der Niederdruckbegaser liegt bei 0,48 kW*h/kgO₂ mit 10 % Sauerstoffverlusten. Durch die offene Filteranlage zur Enteisung mit vorgeschalteter Belüftungskaskade wurde die Eisenkonzentration von 2,8 - 4,6 mg/l auf 0,3 - 1,3 mg/l reduziert.

Für die erprobte Anlagengestaltung liegen Projektierungsunterlagen in digitaler Form vor.

Messungen der verschiedenen Wasserparameter bei hohen Futtermengen und Bestandsdichten ergaben günstige bzw. optimale Umweltbedingungen für den Fischbestand, welche die Voraussetzung für gute Aufzuchtergebnisse bilden. Durch die Arbeitsweise des Biofilters ergaben sich im Mittel folgende Stickstoffkonzentrationen: 0,79 mg/l Ammonium (NH₄), 0,5 mg/l Nitrit (NO₂) und 40 mg/l Nitrat (NO₃). Lediglich die CO₂-Konzentration überstieg den angestrebten Höchstwert von 25 mg/l.

Die mittlere Konzentration des Haltungswassers bzw. des Ablaufwassers aus der Anlage an mineralischem Stickstoff N_{min} von 11 mg/l ist wasserwirtschaftlich von Bedeutung, da nahezu die gesamte Stickstofffracht der Anlage über diesen Weg abgeführt wird.

Die Messung der Wirksamkeit des Biofilters ergab Mittelwerte der NH₄-Filtereffizienz von 22 % und der Nitrifikationsrate von 0,09 gNH₄-N/m² Filterfläche * d. Die getrennte Betrachtung der beiden Filterteile zeigte eine höhere NH₄-Filtereffizienz des größeren Festbetfilters und eine höhere Nitrifikationsrate des Schwebbetfilters. Insgesamt liegt die ermittelte Nitrifikationsrate des Biofilters im unteren Bereich der wenigen bisher in anderen Anlagen erhobenen Werte.

Die Zielstellungen für die Satzforellenaufzucht in der Modulanlage wurden bei den durchgeführten zehn Aufzuchtzyklen erreicht. Die beiden Rinnen wurden zeitversetzt mit Setzlingen von ca. 10 g Stückmasse besetzt und nach ca. 4,1 Monaten mit der Zielstückmasse der Satzforellen von ca. 100 g abgefischt. Die Abfischungsmasse überstieg bei mehreren Zyklen den geplanten Wert von 1,85 t pro Rinne. Aus den bisherigen Daten ergibt sich eine mittlere jährliche Abfischungsmasse von 9,83 t. Die geplante Produktion von 9,2 - 10 t pro Jahr in fünf Zyklen ist damit möglich.

Die Überlebensrate von 88 % und die Futtermittelverwertung von 0,99 kg/kg Zuwachs lassen sich weiter verbessern. Als wichtigste Aufwandskennwerte wurden pro kg Fischzuwachs 2,91 kWh Elektro-

energie, 1,08 kg Sauerstoff und 0,37 kg Natrium-Hydrogenkarbonat ermittelt. Bei den üblichen Abgabepreisen der Satzfiſche kann ein begrenzter Deckungsbeitrag erwirtschaftet werden.

1. Einleitung

Teilgeschlossene Kaltwasser-Kreislaufanlagen für die Forellenproduktion sind schon seit den 1970er Jahren aus den USA bekannt. Ihre praktische Einführung wurde zuerst in Dänemark notwendig und wird sich zunehmend auch in Deutschland erforderlich machen. Anlass ist die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie und die damit verbundene Forderung der Wasserbehörden, die ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer herzustellen. Langfristig wird das dazu führen, dass für die Forellenproduktion geringere Wassermengen verfügbar sein werden (RÜMMLER 2011a). Für Neuanlagen, Erweiterungen oder Rationalisierungen werden daher zukünftig Verfahren mit höherer Wassernutzungsintensität und auch geringeren Emissionen eingesetzt werden müssen. Das wird immer mit zusätzlichen Investitions- und Energiekosten verbunden sein, die durch verbesserte Haltungsbedingungen für die Fische und eine gesteigerte Produktionsmenge kompensiert werden müssen.

Das wesentliche Kennzeichen der teilgeschlossenen Kreislaufanlagen besteht gegenüber den üblichen Durchflussanlagen der Forellenproduktion darin, dass neben der Fischhaltung, der künstlichen Sauerstoffanreicherung und gegebenenfalls einer CO₂-Entgasung und mechanischen Reinigung zusätzlich ein Biofilter vorhanden ist. Dieser wandelt das von den Fischen abgegebene Ammonium in weitgehend fischungiftiges Nitrat um. Hinzu kommen der in den meisten Fällen notwendige Alkalinitätseintrag und die weitere Intensivierung der Wasserzirkulation, des Sauerstoffeintrags und der CO₂-Entgasung.

In teilgeschlossenen Kreislaufanlagen liegt der spezifische Frischwassereinsatz im Bereich von ca. 0,5 - 1,5 m³/t*h, der 0,1 - 0,15 l/s pro Jahrestonne Fischproduktion bzw. einem ca. 1 - 2maligen Wasseraustausch in der Anlage pro Tag entspricht. Im Spektrum der Wassernutzungsintensität bei der Fischproduktion wird die Frischwassermenge um das 100fache gegenüber Durchflussanlagen im einfachen Durchlauf und um das 20 - 5fache gegenüber Durchflussanlagen mit künstlicher Sauerstoffversorgung reduziert (s. RÜMMLER 2016a).

Die Frischwasserversorgung wird meist mit Grundwasser vorgenommen, kann aber auch mit Oberflächenwasser erfolgen. Vorteile der Grundwassernutzung sind die stabile Wasserqualität und die wasserchemische und seuchenbiologische Trennung von der fließenden Welle. Hinzu kommt der „geglättete“ Temperaturgang. Dadurch kann vor allem die Fütterungsmenge in den Wintermonaten gesteigert werden. Diese Faktoren schaffen die Voraussetzung für gute und bessere Aufzuchtbedingungen für Forellen.

Daneben sind durch den geringen spezifischen Wassereinsatz prinzipielle Voraussetzungen für eine weitgehende Aufbereitung der abgegebenen Emissionen der Fischproduktion vorhanden, die aber entsprechende Anlagen und Betriebsweisen für die Abwasseraufbereitung im Anschluss an die eigentliche Fischproduktionsanlage voraussetzen. Damit stellt dieser Anlagentyp einen wichtigen Schritt in die Richtung einer wassersparenden und emissionsarmen Forellenproduktion dar.

In Deutschland gibt es gegenwärtig zwei größere teilgeschlossene Kreislaufanlagen zur Lachsforellen- und Kaviarproduktion und eine kleinere Anlage zur Speiseforellenaufzucht (RÜMMLER 2016a).

Die Forellenerzeugung ist mit ca. 16,7 Tsd. t (BRÄMICK 2015) der aufkommenstärkste Zweig der deutschen Binnenfischereiproduktion.

In Deutschland unterscheiden sich die Produktionsanlagen der Forellenproduktion durch die frühere deutsche Teilung voneinander. Während in den alten Bundesländern Teiche und Fließkanäle überwiegen, wird die Forellenproduktion in den neuen Bundesländern überwiegend in den vor 1990 errichteten Betonrinnenanlagen durchgeführt. Durch die Betonausführung sind die Anlagen sehr haltbar und werden bis heute zur Forellenerzeugung genutzt. Nur in wenigen Fällen sind Mängel bekannt, die aber die Nutzung nicht grundsätzlich ausschließen. Vor der politischen Wende wurden ca. 60 derartige Anlagen erbaut. Die Forellentrinnenanlagen sind über die gesamten neuen Bundesländer verteilt und wurden dort gebaut, wo ausreichende Wassermengen mit der erforderlichen Qualität zur Verfügung standen.

Im Wesentlichen handelt es sich dabei um parallel durchflossene Rinnen von 10 m Länge und 2 m Breite (bzw. 1,2 m bei Satzfishanlagen). Weiterhin sind Möglichkeiten zum Rückpumpen des überwiegenden Teils des Wassers über Belüftungseinrichtungen (Kaskaden oder Tosbecken) vorhanden (STEFFENS 1987). In einer begrenzten Anzahl von Fällen erfolgte eine Nachrüstung mit Einrichtungen zur Reinsauerstoffbegasung.

Aufgrund der Veränderung der Kosten- und Absatzstrukturen nach 1990 arbeiten die meisten Anlagen heute nur noch im einfachen Durchlauf oder nur bei Bedarf mit künstlicher Sauerstoffanreicherung. Die Folge ist ein hoher spezifischer Frischwassereinsatz.

Durch die perspektivisch absehbare Verringerung der verfügbaren Wassermengen, insbesondere durch Änderungen der wasserrechtlichen Erlaubnisse, aber auch durch die klimatischen Veränderungen und die Nutzungskonkurrenz um das Wasser wird diese Betriebsweise zunehmend problematischer werden. Insbesondere die Schaffung der Durchgängigkeit der Fließgewässer im Rahmen der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie durch Bypässe oder Fischpässe an den Wehren zur Wasserentnahme für die Forellenanlagen stellt ein nur schwer lösbares Konfliktpotenzial dar (RÜMMLER 2011a).

Die Rinnenanlagen im Osten Deutschlands wurden nach 1990 privatisiert. Entweder erfolgte die Übernahme durch Unternehmer aus den alten Bundesländern, zum größeren Teil aber kam es zur Privatisierung als MBO der ehemaligen Mitarbeiter aus den DDR-Betrieben. Insbesondere durch das MBO sowie die vorhandenen wasserrechtlichen Genehmigungen, die in dieser Form heute nicht mehr erteilt werden würden, müssen die Anlagen weiter betrieben werden. Ein Anlagenneubau nach neuen wassersparenden Technologien wäre für die meisten Betriebe finanziell nicht tragbar. Hinzu kommen die überwiegend geringe Größe der Anlagen und die generell angespannte ökonomische Situation des Wirtschaftszweiges.

Die einzige Möglichkeit, bei einer Verknappung der verfügbaren Wassermengen neue Anlagentechnologien einzuführen, besteht für die meisten ostdeutschen Betriebe in einer entsprechenden Rekonstruktion bzw. einem Umbau der bestehenden Rinnenanlagen.

Neben der erneuten Umstellung auf den Betrieb als Durchflussanlage mit modernen Formen der künstlichen Sauerstoffanreicherung und Kreislaufführung, gegebenenfalls ergänzt durch moderne Formen der Reinigungs- und Ablaufwasseraufbereitung bzw. CO₂-Entgasung (s. RÜMMLER 2010a) kommt dabei auch das Prinzip des teilgeschlossenen Kreislaufs mit Grundwasserspeisung in Betracht. Dabei ist auch eine stufenweise Vorgehensweise denkbar, bei der zuerst Teile der Anlagen zu einem teilgeschlossenen Kreislaufbetrieb umgebaut werden, um z. B. die empfindlicheren Satzfische unter seuchenbiologischer Trennung von der fließenden Welle sowie verbesserten Temperaturbedingungen und Wasserparametern aufzuziehen.

Mit dem durchgeführten Projekt sollten die Möglichkeiten zur Umgestaltung von Teilen der ostdeutschen Forellentrinnenanlagen zum teilgeschlossenen Kreislauf anhand einer Beispielanlage in Modulform untersucht und erprobt werden. Dazu sollte ein derartiges Modul als Versuchsanlage in der Forellentrinnenanlage der Fischzucht Ehrmann in Thießen (Coswig, Sachsen-Anhalt) konzipiert, projektiert und in der bestehenden Anlage errichtet werden. Im Anschluss daran sollte die verfahrenstechnische und biotechnologische Erprobung durch eine zweijährige Versuchsproduktion erfolgen.

Das Modulkonzept bietet sehr variable Anwendungsmöglichkeiten, wie die Nutzung nur für die empfindlicheren Satzfische oder den stufenweisen Ausbau je nach ökonomischen Möglichkeiten und wasserrechtlichen Erfordernissen.

Als wesentliches Umweltziel wird dabei ein sehr viel geringerer spezifischer Frischwassereinsatz von ca. 1,0 m³/t*h gegenüber ca. 110 - 80 m³/t*h beim einfachen Durchlauf und 20 - 5 m³/t*h in Durchflussanlagen mit künstlicher Sauerstoffanreicherung verfolgt. Hinzu kommen die Voraussetzungen für geringe Emissionen in die Vorflut und eine seuchenbiologische Abkopplung von der fließenden Welle.

Weiterhin sind für den Fischereibetrieb in derartigen Anlagen die optimierten Haltungsbedingungen der Fische von Vorteil. Diese müssen zu verbesserten Aufzuchtergebnissen führen, um die Mehraufwendungen für die neue Anlagentechnologie zumindest auszugleichen.

Das Modul sollte sich aus zwei weiterhin zur Fischhaltung genutzten Rinnen sowie einer weiteren Rinne und den zugehörigen Teilen des Zu- und Ableiters für die mechanische Reinigung, den zweistufigen Biofilter, die Wasserförderung, die Sauerstoffanreicherung und die CO₂-Entgasung zusammensetzen. Abweichend von den ursprünglichen Planungen mussten zusätzlich eine CO₂-Entgasung und eine Enteisung des Grundwassers realisiert werden.

Das Modul wird vom übrigen Wasserkörper der Anlage durch Schottwände getrennt. Die technische Realisierung sollte neben der Installation der notwendigen technologischen Geräte (Pumpen, Sauerstoffbegaser, Gebläse) durch den Einbau von Schottwänden, Rosten, Sieben sowie Rohrleitungen in den bestehenden Betonkörper erfolgen. Auf diese Art und Weise werden auch die Behälter für die Aufnahme der Füllkörper des mechanischen und der biologischen Filter gebildet. Bauliche Veränderungen der Anlage sollten nicht vorgenommen werden.

Es war vorgesehen, in die Arbeiten auch ein Ingenieurbüro, das Erfahrungen auf dem Gebiet der binnenfischereilichen Anlagenprojektierung besitzt, einzubeziehen (Göthel & Traue Bauplanung Partnergesellschaft, 03130 Spremberg, Puschkin-Platz 4, <http://www.Goethel-Traue-Bauplanung.de>). Durch dessen Mitwirkung sollte zum einen eine professionelle Projektierung und Errichtung der Versuchsanlage und zweitens nach der erfolgreichen Erprobung die Erstellung nachnutzungsfähiger Unterlagen dieses Moduls gewährleistet werden.

Da bisher nur wenige Untersuchungen bzw. Veröffentlichungen über die genaue verfahrenstechnische Gestaltung und die detaillierten Anlagenparameter sowie die erreichbaren produktionsbiologischen Ergebnisse in teilgeschlossenen Kreislaufanlagen bzw. Kaltwasser-Kreislaufanlagen vorliegen (ROQUE D'ORBCASTEL u.a 2009a, b, JOKUMSEN u.a. 2009, SKYBAKMOEN u. a. 2009, SUHR u. PEDERSEN 2010, JOKUMSEN u. SVENDSEN 2010, RÜMMLER u. a. 2011a, JANSEN u.a. 2011, PEDERSEN 2012, DALSGAARD u. PEDERSEN 2012, RÜMMLER u. WINKELMANN 2012, DALSGAARD u. a. 2013, TERJESEN u. a. 2013, PEDERSEN u. a. 2015), sollte das Projekt auch die Erarbeitung und Erprobung einer Verfahrensgestaltung und deren Erprobung beinhalten, die an die deutschen Verhältnisse angepasst ist. Das betrifft vor allem das Sauerstoffanreicherungs- und Wasserförderungssystem.

Zum Nachweis der Wirkungsweise bzw. gegebenenfalls im Prozess der Verbesserung der einzelnen anlagentechnischen Teilprozesse wurde ein Messprogramm, bestehend aus mehreren Einzelkampagnen zu den verschiedenen Problemstellungen bzw. Teilprozessen durchgeführt. Dieses beinhaltete die Leistungsfähigkeit des Biofilters, die Funktionsweise der mechanischen Reinigung, den Sauerstoffeintrag, die CO₂-Entgasung, die Fischhaltung in den Rinnen und die Enteisung.

Die Erprobungsphase der Modulanlage sollte zur Aufzucht von Satzfishen genutzt werden. Im ursprünglichen Antrag war eine Erprobung zur Speisefischaufzucht vorgesehen. Die Orientierung auf Satzfische erfolgte durch entsprechende Hinweise der Gutachter. Aufgrund der höheren Fütterungsrate und der höheren spezifischen Emissionen jüngerer Fische wurden als Grundlage für die Anlagenauslegung daraufhin ein maximaler Fischbestand von 3,0 t und ein Frischwassereinsatz von 3,0 m³/h festgelegt.

Bei der Erzeugung von Satzfishen unter optimierten Bedingungen lassen sich ein wesentlicher Wachstumsschub und eine Stabilisierung der anschließenden Mast in der Rinnenanlage absehen. Außerdem sind die ökonomischen Voraussetzungen durch die höheren Satzfishpreise, die geringe genutzte Anlagenkapazität und die begrenzte Höhe der absoluten Aufwendungen günstiger.

Das durchzuführende Versuchsprogramm beinhaltete neben der Untersuchung der verfahrenstechnischen Wirkungsweise der einzelnen Anlagenteile und der Gesamtanlage daher auch die Erfassung und Auswertung der erreichten Ergebnisse der Fischaufzucht, der Effekte der verbesserten Haltungsbedingungen und entsprechende ökonomische Betrachtungen.

2. Hauptteil

2.1 Anmerkungen zum Ablauf der Anlagenerrichtung und der Inbetriebsetzung

Die Errichtung der Modulanlage wurde Ende 2012 beendet. Am 5.12.2012 erfolgte eine Vor-Ort-Kontrolle bzw. die Abnahme der Anlage, die im Rahmen des Europäischen Fischereifonds (EFF) gefördert wurde, durch die zuständige Förderbehörde des Landes Sachsen-Anhalt. Der EFF-Anteil stellte den Eigenanteil für das gleichlautende Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) dar.

Ursprünglich war der erste Besatz der Anlage mit Fischen bereits im zweiten Halbjahr 2012 geplant. Dieser Termin konnte aber durch Verzögerungen bei der Projektierung und der Bindung der Fachfirmen für den Anlagenaufbau sowie durch deren längere Realisierungszeiten nicht eingehalten werden.

Am 20.09.2012 wurde eine Teilfertigstellung erreicht und es konnte mit der technischen Erprobung begonnen werden. Dabei zeigten sich einige technische Unzulänglichkeiten, die behoben werden mussten. Nach weiteren Arbeiten zur technischen und verfahrenstechnischen Inbetriebsetzung der Anlage wurde mit dem Einlaufen des Biofilters begonnen.

Bei den ersten Zyklen der Versuchsproduktion mit Satzforellen traten sehr hohe Verlusten bis zum Totalverlust der besetzten Fische auf. Als Ursache wurden erhöhte Zinkkonzentrationen von 0,3 bis 0,5 mg/l identifiziert. Diese hatten ihre Ursache in der Verzinkung der in größerer Anzahl vorhandenen Siebe und anderen Stahlteile. Daraufhin erfolgte eine Beschichtung eines großen Teils der verzinkten Stahlteile mit lebensmittelechtem Epoxidharz. Weiterhin wurden die Siebe, die sich als hydraulisch ungünstig bzw. ungeeignet erwiesen hatten, durch eine verbesserte Konstruktion aus Edelstahl ersetzt. Zur Durchführung dieser Arbeiten musste die Anlage Ende September 2013 zeitweise stillgelegt und nahezu komplett auseinander gebaut werden. Nach der anschließenden erneuten Erprobungs- und Einfahrphase erfolgte am 14.11.2013 der neue Besatz mit Fischen.

In der Folgezeit mussten weitere Veränderungen und Verbesserungen an der Anlagentechnik vorgenommen werden, die zum Teil während des laufenden Betriebs zur Fischproduktion und zum Teil während kurzer Stillstandzeiten realisiert wurden.

Die notwendigen anlagentechnischen Anpassungen ergaben sich auch aus dem Problem, dass ein vorhandener Baukörper und die Infrastruktur der Rinnenanlage genutzt wurden. Die verfahrenstechnischen Gestaltungsmöglichkeiten waren gegenüber einem Neubau dadurch von vornherein eingeschränkt und in einer Reihe von Details vorher nicht absehbar. Das betraf vor allem die einzugehenden Kompromisse bei der hydraulischen Gestaltung des Systems (s. 2.2.2, 2.2.5.2). Hinzu kam das Problem, dass sich die Druckhöhenverluste im Biofilter, die im Bereich weniger Zentimeter Wassersäule liegen müssen, vorab nicht abschätzen ließen und die Pumpenkennlinien in diesem Druckbereich keine genauen Angaben enthielten. Zusätzlich mussten eine CO₂-Entgasung und eine Enteisenung des Grundwassers realisiert werden. Weiterhin waren einige Ergänzungen am Mess-, Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungssystem erforderlich, die sich aus dem Betrieb der Anlage ergaben. Diese größere Anzahl von Detailproblemen ließ sich in der Phase der Erstellung der Konzeption und der Projektierung nicht absehen und konnte nur beim praktischen Betrieb erkannt, anlagentechnisch ergänzt und erprobt werden.

Zum Abschluss des Projektes wurden die realisierten und erprobten Veränderungen der Anlagengestaltung durch das Ingenieurbüro, das die Projektierung durchgeführte, in den Projektierungsunterlagen überarbeitet. Der Anhang A 1 beinhaltet die wichtigsten Zeichnungen aus diesen Unterlagen, die den Aufbau der Anlage darstellen. Die kompletten Unterlagen liegen digital vor.

Unter 2.2 wird als Ergänzung zu den Zeichnungen die endgültige Gestaltung und Funktionsweise der einzelnen Anlagenteile beschrieben.

2.2 Aufbau und Funktion der Modulanlage

2.2.1 Grundlegende Dimensionierung und Gestaltung

Es wurde eine Anlagengestaltung, abweichend von den dänischen Anlagen, mit Sauerstoffbegasung, Propellerpumpen und CO₂-Entgasung als wesentliche verfahrenstechnische Teilprozesse realisiert, mit der eine hohe Endbestandsdichte von ca. 80 kg/m³ erreicht werden kann. Der Grundwassereinsatz sollte ca. 1 m³/t*h betragen.

Die Modulanlage besteht aus zwei weiterhin zur Fischhaltung genutzten Rinnen. Eine weitere Rinne und die entsprechenden Teile des ehemaligen Zu- und Ableiterkanals werden für die Wasseraufbereitung im Kreislauf genutzt. Diese setzt sich aus der mechanischen Reinigung, dem Biofilter, bestehend aus Schwebbetfilter und getauchtem Festbetfilter, der Wasserförderung mit Propellerpumpen, der CO₂-Entgasung, der Sauerstoffbegasung mit schwimmenden Niederdruckbegasern und dem Alkalinitätseintrag zusammen.

Das Produktionsziel besteht in 10 t Satzfishen pro Jahr mit 100 g Stückmasse. Die Fischeaufzucht erfolgt in den beiden Rinnen zeitversetzt. Es sollen fünf zeitversetzte Aufzuchtzyklen pro Jahr durchgeführt werden. Als Abfischungsmasse einer Rinne bei Endbestand wurden 1.850 kg geplant. Wird von einer Dauer eines Aufzuchtzyklus von 128 Tagen und einem mittleren Stückmassezuwachs von 2,0 %/d ausgegangen (s. 2.4 und 2.5), so ergibt sich bei der Abfischung der einen Rinne und der Hälfte der Aufzuchtzeit in der zweiten Rinne in letzterer ein Fischbestand von 646 kg. Die höchste Bestandsmasse in der Anlage beträgt demnach ca. 2.496 kg. Da durch Verschiebungen der Satzfishanlieferungen u. ä. eine exakt zeitversetzte Aufzucht nicht möglich ist, wurde als Sicherheitszuschlag von ca. 20 % ein maximaler Auslegungswert von 3,0 t als höchste Bestandsmasse zugrunde gelegt. Für diese Bestandsmasse bzw. die entsprechende Futtermenge muss die Anlage ausgelegt werden.

In Tab. 1 sind die wesentlichen Angaben zur Ermittlung der verfahrenstechnischen Kennziffern und der Dimensionierung der wichtigsten Anlagenteile zusammengefasst.

Das Fischhaltevolumen beträgt zweimal 24 m³, d. h. 48 m³. Daraus ergibt sich eine maximale Bestandsdichte einer Rinne von 77 kg/m³ bzw. 52 und 63 kg/m³ in der Gesamtanlage. Diese Werte liegen deutlich unter den früheren Maximalwerten für Betonrinnenanlagen (STEFFENS 1987).

Der maximale Kreislaufwasserdurchfluss wurde anhand von Eckwerten des Wasserwechsels und der Strömungsgeschwindigkeit für die Betonrinnenanlagen (STEFFENS 1987) mit 230 m³/h festgelegt.

Der Sauerstoffbedarf der Fische wird anhand eines vorgegeben maximalen spezifischen Wertes des Sauerstoffverbrauches von 350 g/t*h ermittelt (s. RÜMMLER 2012). Hinzu kommen der Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation und eine Reserve von 20 % für die Regelung. Insgesamt ergibt sich ein Sauerstoffbedarf von 1,7 kgO₂/h, der durch die O₂-Begasung einzutragen ist. Die sich daraus ergebende maximale O₂-Zulaufkonzentration zu den Becken beträgt 15,3 mg/l.

Mit einem respiratorischen Koeffizienten von 0,85 MolCO₂/MolO₂ (SANNI u. FORSBERG 1996, KIEFFER u. a. 1998) ergibt sich eine spezifische CO₂-Abgabe des Fischbestandes von 1,169 kgCO₂/t*h je kgO₂/t*h und mit dem Sauerstoffverbrauch des Fischbestandes eine absolute CO₂-Abgabe von 1,23 kgCO₂/h, die durch die CO₂-Entgasung zu entfernen sind.

Die von den Fischen abgegebene NH₄-Fracht wird mit der Fütterungsration (spezifische tägliche Futtermenge), der Futtermenge, dem Futterquotienten und dem Proteingehalt des Futters berechnet (RÜMMLER u. a. 2011a). Es ergibt sich ein Wert von 1,86 kg NH₄-N/d der durch den Biofilter abzubauen ist. Die mit dem Ablaufwasser abgeführte NH₄-Fracht wird hier nicht betrachtet und stellt eine Reserve für den Biofilter dar.

Für die spezifische Nitrifikationsrate des Biofilters bzw. der eingesetzten Füllkörper wurde anhand eigener Untersuchungen (RÜMMLER u. a. 2011a) und Literaturangaben (RUSTEN u. a. 2006, SUHR u. PEDERSEN 2010, TERJESEN u. a. 2013, SUMMERFELT u. a. 2015, PEDERSEN u. a. 2015) ein Wert von

0,25 gNH₄-N/m²*d festgelegt. Mit der spezifischen Oberfläche der eingesetzten Füllkörper DN 15 errechnet sich ein erforderliches Gesamtvolumen des Biofilters von ca. 9,9 m³.
 Mit dem spezifischen Frischwassereinsatz von 1 m³/t*h ergibt sich ein erforderlicher maximaler Grundwasserdurchfluss von 3 m³/h.

Tab. 1: Wichtigste Dimensionierungsangaben zur verfahrenstechnischen Gestaltung des Moduls

Kennwert	eine Rinne	Anlage Mittel	Anlage max.
Fischhaltungsvolumen (m ³)	24,0	48,0	48,0
Fischbestand Ende Zyklus (kg)	1.850	2.496 ¹	3.000
Endbestandsdichte (kg/m ³)	77	52	63
Wasserwechselrate (h ⁻¹)	4,8	4,8	4,8
Wasserdurchfluss (m ³ /h)	115	230	230
mittlere Strömungsgeschwindigkeit (cm/s)	1,5	1,5	1,5
max. spez. Sauerstoffbedarf Fische (g/kg*h)	0,35	0,35	0,35
max. Sauerstoffbedarf Fische (kg/h)	0,65	0,88	1,05
max. Sauerstoffbedarf Nitrifikation (kg/h) ²		0,29	0,35
max. Sauerstoffbedarf einschließlich 20 % Regelungsreserve (kg/h)		1,40	1,69
max. O ₂ -Zulaufkonzentration Rinnen bei max. Durchfluss (mg/l) ³		14,1	15,3
respiratorischer Koeffizient RQ (MolCO ₂ /MolO ₂)	0,85	0,85	0,85
max. spez. CO ₂ -Abgabe (kgCO ₂ /t*h pro kgO ₂ /t*h)	1,17	1,17	1,17
max. CO ₂ -Abgabe (kg/h)	0,76	1,02	1,23
spez. tägl. Futtermenge bei max. Bestand (kg/t*d)		18	18
Proteingehalt des Futters (%)		43	43
Futterverwertung FQ (kg/kg Zuwachs)		0,9	0,9
spez. NH ₄ -N-Emission (g/t*d)		620	620
max. tägliche Futtermenge (kg)		45	54
NH ₄ -N-Emission absolut (kg/d)		1,547	1,860
spez. NH ₄ -Abbaurrate Biofilter (gNH ₄ -N/m ² *d)		0,25	0,25
erforderliche Aufwuchsfläche des Biofilms (m ²)		6.190	7.441
spez. Oberfläche der Füllkörper (m ² /m ³)		750	750
Biofiltervolumen (m ³)		8,3	9,9
Frischwassereinsatz (m ³ /t*h)		1	1
Grundwasser absolut (m ³ /h)		2,5	3,0
Alkalinitätseintrag durch Grundwasser (molAlk/d) ⁴		59,9	72,0
Alkalinitätsaustrag durch Ablaufwasser (molAlk/d) ⁵		119,8	144,0
spez. Alkalinitätsverbrauch Nitrifikation (molAlk/gNH ₄ -N) ⁶		0,141	0,141
Alkalinitätsverbrauch Nitrifikation (molAlk/d)		218,2	262,3
erforderliche Alkalinitätszufuhr (molAlk/d)		278,09	334,30
NaHCO ₃ -Zufuhr (kg/d) ⁷		23,08	27,75

¹ Die beiden Rinnen werden zeitversetzt bewirtschaftet, der zeitliche Gleichzeitigkeitsfaktor wurde mit 0,66 angesetzt.

² Die Nitrifikation von 1 g NH₄-N erfordert 4,57 g O₂ (TIMMONS u. EBELING 2010).

³ 8 mg/l am Rinnenende zugrunde gelegt

⁴ Alkalinität des Grundwassers ca. 1 mmol/l

⁵ angestrebte Alkalinität im Haltungswasser ca. 2 mmol/l

⁶ Die Nitrifikation von 1 g NH₄-N erfordert 0,141 molAlk (TIMMONS u. EBELING 2010).

⁷ 83 g NaHCO₃ entsprechen 1 molAlk (TIMMONS u. EBELING 2010)

Der Alkalinitätseintrag mit dem Grundwasser ist durch dessen Alkalinität von ca. 1 mmol/l gering. Angestrebt wird ein Wert von 2 mmol/l im Haltungswasser der Fische, wodurch auch die Verringerung des pH-Wertes durch die Nitrifikation und die CO₂-Akkumulation kompensiert wird. Mit dem Alkalinitätsverbrauch der Nitrifikation von 0,141 molAlk/gNH₄-N (TIMMONS u. EBELING 2010) und der notwendigen Alkalinitätsaufstockung des zugeführten Grundwassers ergibt sich ein Alkalinitätsbedarf als Natrium-Hydrogencarbonat (NaHCO₃) von maximal 28 kg/d. Dieser Wert entspricht ca. 50 % der verabreichten Futtermenge.

Bei den grundlegenden konzeptionellen Betrachtungen zur Anlagenrealisierung war auch die Art und Weise der mechanischen Reinigung zu klären. Der nachträgliche Einbau von Schlammtrichtern am Ende der Fischhaltungsrinnen hinter den Fischgittern war aufgrund der baulichen Voraussetzungen nicht möglich. Stattdessen sollten die Möglichkeiten, die der Grundablass am Ende jeder Rinne bietet, genutzt werden. Die Anwendung von Siebfiltern, als die gegenwärtig für derartige Anlagen effektivste Form der mechanischen Reinigung, wurde ausgeschlossen. Die Probleme des Einbaus und die Kosten waren dafür maßgebend. Stattdessen wurde ein rückspülbarer getauchter Festbettfilter mit Füllkörpern großer Abmessungen als mechanischer Grobfilter eingesetzt.

Die Versorgung mit Grundwasser erfolgt über eine Enteisungsanlage mit drucklosem Filter.

Das Ablaufwasser aus der Modulanlage wird dem Ablaufkanal für das Ablaufwasser der Rinnenanlage und das Reinigungswasser der Modulanlage der Reinigungswasseraufbereitung der Rinnenanlage zugeführt.

Abb. 1 zeigt die realisierte Modulanlage in vereinfachter Draufsicht.

2.2.2 Fischhaltungseinrichtungen (Abb. A2.1, A2.2, A2.3)

Die Rinnen für die Fischhaltung mit einer Breite von ca. 2 m und einer Länge von ca. 12,25 m besitzen bei einem Freibord von 20 cm (mittlerer Wasserstand 1,07 m) und unter Abzug des Volumens hinter dem Fischgitter am Auslauf ein Volumen von ca. 24 m³.

Zur Erreichung des notwendigen Austrags des Kots der Fische mit dem abfließenden Wasser ist eine Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 1 - 3 cm/s erforderlich. Daneben wird mindestens ein fünffacher Wasserwechsel pro Stunde angestrebt (STEFFENS 1987).

Mit dem erreichbaren maximalen Kreislaufwasserdurchfluss einer Propellerpumpe von 230 m³/h ergeben sich ein Wasserwechsel von 4,8 h⁻¹ und eine Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 cm/s. Bei diesem geringen Wert der Strömungsgeschwindigkeit können insbesondere bei niedrigen Fischbestandsdichten Ablagerungen des Kots auf dem Rinnenboden entstehen, so dass zusätzliche Maßnahmen zur Rinnenreinigung erforderlich sind (RÜMMLER 2016b). Für diesen Fall ist ein Wassersauger vorhanden. Eine größere Strömungsgeschwindigkeit wäre zum Austrag der Kotreste der Fische günstiger, würde aber einen höheren Kreislaufdurchfluss und damit einen höheren Energieaufwand erfordern. Zusätzlich würde sich die hydraulische Belastung der Biofilter erhöhen und zu größeren Druckhöhenverlusten und einer steigenden Gefahr des Zusetzens führen.

Der Wasserzufluss zu den Fischhaltungsrinnen aus dem Sauerstoff-Begasungsbecken ist mit Gittern versehen, um einen „Aufstieg“ der Fische zu verhindern.

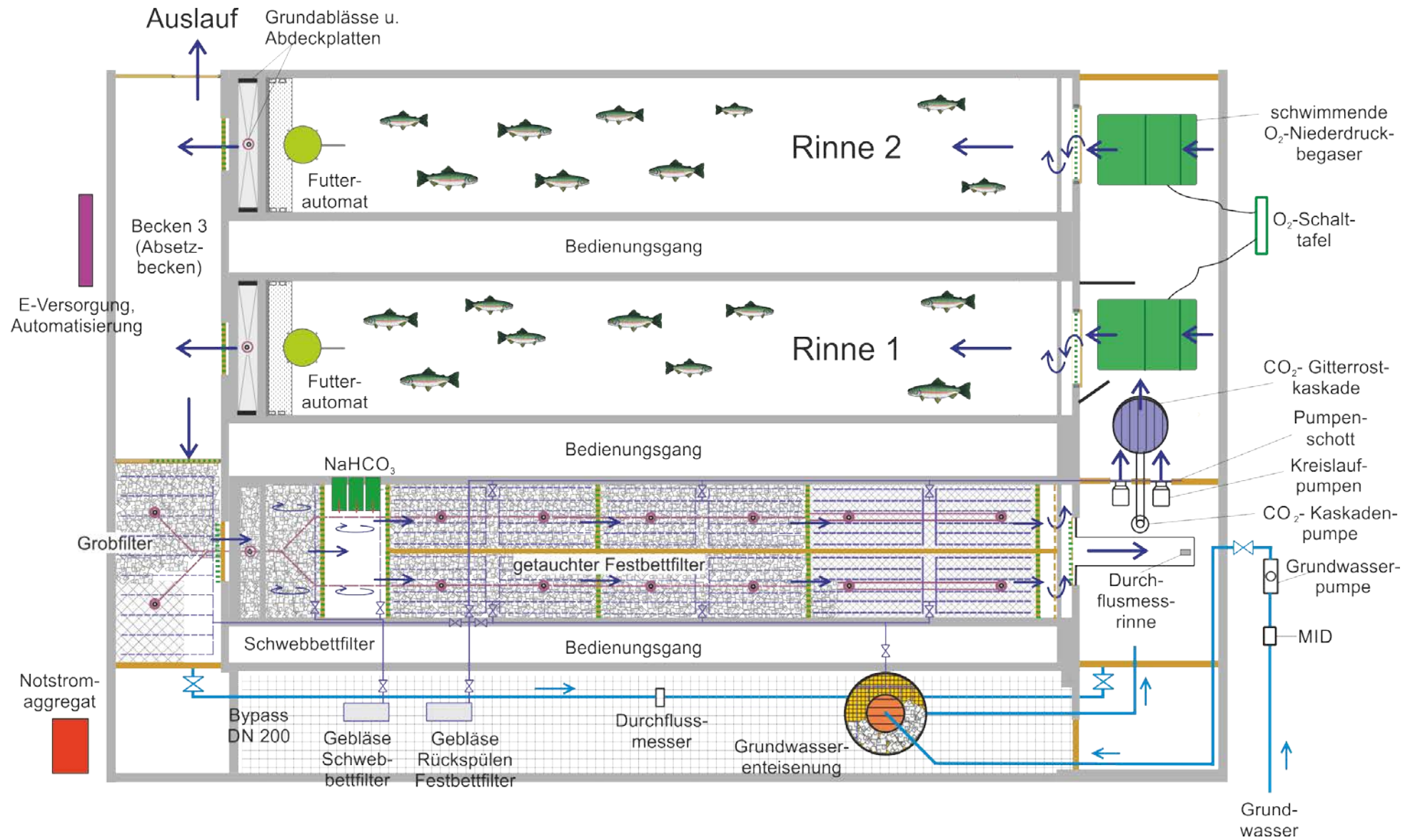


Abb. 1: Modulanlage in vereinfachter Draufsicht

An der Auslaufseite der Fischhaltungsrinnen werden die ursprünglich vorhandenen Gitter zur Zurückhaltung der Fische weiter genutzt. Die vorhandenen Grundablässe zur Schlammabfuhr DN 200 wurden mit Löchern in der Höhe des Rinnenbodens sowie einem tieferliegenden inneren Reduziererring versehen, wodurch eine eingeeengte Abflussöffnung DN 100 entsteht. Diese Öffnung nimmt einen Verschlussstopfen mit Zugstange zur Abdichtung bzw. zur Freigabe des Schlammabzugs auf. Zusätzlich wurden im Bereich zwischen Gitter und Rinnenrückwand zwei PE-Platten an den Seitenwänden drehbar angebracht, die im Normalzustand mit arretierten Leinen senkrecht nach oben ausgerichtet sind. Zum Schlammabzug werden diese Platten durch das Lösen der Arretierung der Leinen und die eigene Masse herabgelassen und decken die Schlammablagerungen ab.

Nach Öffnung des Grundablasses durch Ziehen des Verschlussstopfens wird durch die genau dimensionierten Schlitze zwischen den Platten und dem Rinnenboden bzw. den Rinnenseitenwänden ein Sog mit hoher Strömungsgeschwindigkeit erzeugt. Dadurch wird der Schlamm unter den Platten weitgehend abgesaugt. Nach den bisherigen Erfahrungen werden die Verschlussstopfen jeden Morgen ca. 45 - 60 Sekunden lang angehoben. Beobachtungen mit einem speziellen Unterwasser-Schaurohr mit Beleuchtung ergaben, dass die Schlammauflagen (bis auf geringe Mengen in den beiden Ecken) entfernt werden.

Diese Form der Schlammabfuhr stellt die erste Stufe der mechanischen Reinigung des Kreislaufsystems, insbesondere zur Kotentfernung dar und ist prinzipiell in allen ostdeutschen Rinnenanlagen der Forellenproduktion einsetzbar.

Andere Formen der Schlammabfuhr mit Druckluft oder Wasser und die anschließende Ableitung durch die Grundablässe führten nicht zum gewünschten Erfolg.

2.2.3 Fütterungstechnik (Abb. A2.1)

Die Fütterung der Fische erfolgt mit Hilfe von zwei Futterautomaten, die auf Metallplattformen am hinteren Rinnende stehen (Profi-Futterstreuer 60 kg, Fa. Linn-Gerätebau). Die Automaten bringen das Futter mit Hilfe von Druckluft zeitplangesteuert aus. Die Vorratsbehälter der Futterautomaten haben ein Fassungsvermögen von ca. 60 kg Futter.

Infolge der begrenzten Genauigkeit der Portionierung der Futtermenge (ausgebrachte Futtermasse/Zeiteinheit) werden die Futterautomaten täglich neu mit der abgewogenen Futtermenge für den jeweiligen Tag gefüllt. Die Fütterung erfolgt in Intervallen von 15 Minuten im Zeitraum von ca. 8.00 bis ca. 18.00 Uhr, d. h. mit maximal 40 Einzelfütterungen am Tag.

Das Gebläse zum Futteraustrag und das anschließende Führungsrohr lassen sich so einstellen, dass das Futter auch das vordere Viertel der Rinnen erreicht und innerhalb der Rinnenbreite auf der Wasseroberfläche aufkommt. Allerdings prallen einige Futterpartikel immer an der Wasseroberfläche ab und kommen in den Gängen zwischen den Rinnen auf. Zur Verhinderung dieser Futterverluste wurden an beiden Rinneninnenseiten abnehmbare PE-Platten mit einer Höhe von 30 cm über der Rinnenoberkante und zusätzlich Vorhänge aus PVC-Planen in einer Höhe von ca. 1,15 m über der Rinnenoberkante angebracht. Zur Durchführung von Bewirtschaftungsmaßnahmen (Probewiegung, Kontrolle des Fischbestandes, Reinigungsarbeiten) können die Vorhänge zur Seite geschoben und die Platten abgenommen werden.

2.2.4 Grobfilter (Abb. A2.4)

Das Wasser aus den Fischaufhaltungsrinnen gelangt durch die mit einem Gitter versehene Ablaufausrüstung in den ehemaligen Ablaufkanal.

Der ehemalige Ablaufkanal der Rinnenanlage hinter den beiden Fischhaltungsrinnen der Modulanlage stellt ein weiteres Becken mit ca. 8,5 m³ Volumen dar, das als Vorabsetzbecken für die Kotteste fungiert und mit dem Wassersauger in bestimmten Zeitabständen gereinigt wird.

Auf der dem Grobfilter abgewandten Seite des Vorabsetzbeckens befindet sich der Wasserablauf der Modulanlage in den Ablaufkanal der Rinnenanlage. Mit den Staubrettern dieses Ablaufes wird

die Wasserstandhöhe in der gesamten Modulanlage fixiert. Der Wasserstand wurde auf ein Niveau angehoben, bei dem die geodätischen Verlusthöhen in der Anlage, z. B. durch die Höhe der Aussparungen in den Rinnenzuläufen, nicht mehr vorhanden sind.

Vor den täglichen Reinigungsarbeiten des getauchten Festbettfilters und der mindestens wöchentlichen Reinigung der Enteisung wird der Wasserstand in der Anlage durch ein zusätzliches Staubrett um ca. 10 cm erhöht. Dadurch wird ein zusätzliches Wasserreservoir von ca. 10 m³ geschaffen, das zum Ausgleich des Reinigungswasserabflusses benötigt wird. Durch die Reinigungsarbeiten fällt der Wasserstand um ca. 15 cm, d. h. bis auf ca. 5 cm unter den Nennwasserstand ab. Für die Reinigungsarbeiten wird dadurch kein zusätzliches Frischwasser benötigt.

Das mit den Stoffwechselprodukten der Fische, insbesondere Kot, Ammonium (NH₄) und Kohlendioxid (CO₂), belastete Wasser wird vom Auslauf der Fischhaltungsrinnen bzw. vom Vorabsetzbecken zunächst dem mechanischen Grobfilter zugeführt. Der Grobfilter ist im letzten Teil des ursprünglichen Ablaufkanals installiert.

Für den Grobfilter wird eine Füllkörperschüttung von ca. 2,5 m³ stabiler glasfaserverstärkter Füllkörper DN 90 aus Polypropylen mit durchbrochenen Mantelflächen und inneren Stegen (Ralu-Ringe) sowie einer Dichte von 1,25 g/cm³ genutzt. Die spezifische Oberfläche dieser Füllkörper beträgt 75 m²/m³.

Die Schüttung wird weitgehend horizontal vom Kreislaufwasser durchflossen. Die größeren Kotpartikel setzen sich durch die beruhigte Strömung in der Füllkörperschüttung ab.

Die Entfernung der sedimentierten Partikel erfolgt durch tägliches Rückspülen. Dabei wird mit Hilfe von Druckluftleitungen unter dem Siebboden, auf dem die Füllkörper liegen, ein grobblasiger Luftaustritt (4 mm Lochdurchmesser) vorgenommen. Über zwei Reinigungswasserabläufe, die durch Ziehen der Verschlussstopfen freigegeben werden, wird das mit den abgesetzten Partikeln angereicherte Wasser abgeführt.

Für die Erzeugung der erforderlichen Luftmengen zum Rückspülen des Grobfilters und des getauchten Festbettfilters wurde ein Seitenkanalgebläse mit ca. 400 m³/h Luft bei einem Druck von 1,2 mWS eingesetzt. Der Druckluftdurchfluss des Gebläses wird mit Hilfe eines Frequenzumrichters gesteuert. Das Ein- und Ausschalten des Gebläses und die Drehzahlsteuerung erfolgen mit Hilfe einer elektronischen Fernbedienung.

2.2.5 Biologische Reinigung (Abb. A2.5, A2.6, A2.7, A2.8)

2.2.5.1 Schwebbettfilter

Nach dem Grobfilter wird das Kreislaufwasser über den ehemaligen Rinnenablauf dem zweistufigen Biofilter zugeführt, der das von den Fischen abgegebene Ammonium NH₄ durch bakterielle Nitrifikation zum weitgehend fischungiftigen Nitrat NO₃ umwandelt.

Die erste Stufe ist ein Schwebbettfilter (Moving-bed-Filter), der aus zwei nacheinander durchflossenen Abteilen besteht und im hinteren Teil der „Biofilterrinne“ untergebracht ist. Das Volumen des Filterabteils beträgt ca. 6,5 m³ bei einer Länge von 2,5 m an der Rinnenoberkante und 2,9 m am Rinnenboden.

Am Zulauf des Filters (ehemaliger Rinnenablauf), zwischen den beiden Abteilen des Schwebbettfilters und am Übergang zum getauchten Festbettfilter erfolgt die Rückhaltung der Füllkörper mit Hilfe großflächiger einlagiger Siebe aus Edelstahl mit 10 mm quadratischer Lochweite und ca. 65 % Lückengrad. Zusätzlich kann der Zufluss zum Biofilter durch das Einschieben einer PE-Schottplatte unterbrochen werden. Das Wasser wird dann über die Bypass-Leitung DN 200 zum Pumpensumpf geführt.

In diesen Filtern werden Füllkörper vom Typ RK Bioelements (Fa. RK Plast Dänemark) mit den Abmessungen 15 * 15 mm, einer Dichte von 0,93 g/cm³ sowie einer spezifischen Oberfläche von 750 m²/m³ eingesetzt. Der Füllungsgrad der Schwebbettfilter mit den Füllkörpern liegt bei ca. 39 - 42 %. Daraus ergeben sich ein Füllkörpervolumen von 2,74 - 2,80 m³ und eine mögliche Aufwuchsfläche für den Biofilm von ca. 2.060 - 2.100 m².

Durch grobblasige Druckluftausströmung (3 mm Lochdurchmesser) an der hinteren Längsseite der beiden Abteile (in Strömungsrichtung) erfolgt eine ständige walzenförmige Zirkulation des Füllkörperbetts. Für die Erzeugung der erforderlichen Luftmenge wurde ein Seitenkanalgebläse mit ca. 70 m³/h bei einem Druck von 1,2 mWS eingesetzt. Messungen im Betriebszustand des Schwebbettfilters ergaben einen Luftdurchsatz von ca. 40 - 52 m³/h bei einem Druck von ca. 1,11 mWS. Der Druckluftdurchfluss wird mit Hilfe eines Frequenzumrichters eingestellt.

2.2.5.2. Getauchter Festbettfilter

Der zweite Teil des Biofilters ist ein getauchter Festbettfilter, der im Anschluss an den Schwebbettfilter durchflossen wird und den größten Teil der dritten Rinne der Modulanlage einnimmt. Der Filter ist in Längsrichtung zweigeteilt und in jedem Längsabschnitt sind drei nacheinander durchflossene Abteile vorhanden. Die einzelnen Abteile sind 3,0 m, 3,0 m und 2,7 m lang.

Als Füllkörper werden ebenfalls RK Bioelements mit den Abmessungen 15 * 15 mm und einer spezifischen Oberfläche von 750 m²/m³ genutzt. Die Dichte beträgt hier aber 1,20 g/cm³.

Die Füllkörperschüttungen liegen auf Rosten und haben durch das Gefälle der Rinne unterschiedliche Höhen. Der Wasserspiegel befindet sich meist 5 - 25 cm über der Oberkante der Schüttung.

Die mittleren Höhen der Füllkörperschüttungen in den einzelnen Abteilen liegen bei ca. 50 - 53 cm, 43 - 47 cm und 36 - 40 cm. Daraus ergeben sich in den jeweils zwei parallelen Abteilen Füllkörpervolumen von 2,95 - 3,10 m³, 2,53 - 2,77 m³ und 2,05 - 2,11 m³.

Für das Füllkörpervolumen von insgesamt 7,53 - 7,98 m³ lässt sich eine Aufwuchsfläche für den biologischen Rasen von 5.649 - 5.983 m² berechnen. Die Summe der Aufwuchsflächen beider Biofilter liegt bei 7.707 - 8.040 m². Der in Tab. 1 angegebene Dimensionierungswert wurde damit erreicht und es sind geringfügige Reserven vorhanden.

Die Aufgabe des getauchten Festbettfilters besteht neben der Nitrifikation in der Zurückhaltung feindisperser Partikel, die sich durch die Turbulenzen im Schwebbettfilter u. U. noch verstärkt bilden können. Die lange Fließstrecke durch den getauchten Festbettfilter und die nacheinander durchflossenen Abteile wirken sich positiv auf den BSB₅-Abbau vor der Nitrifikationsphase und die Ausbildung unterschiedlicher Bakterienpopulationen aus (s. a. SUHR u. PEDERSEN 2010, PEDERSEN u. a. 2015). Durch die Aufrechterhaltung ausreichend hoher Sauerstoffkonzentrationen in den Fischhaltungseinrichtungen und die Belüftung im Schwebbettfilter konnte eine ausreichende Sauerstoffkonzentration am Auslauf des Biofilters gewährleistet werden (s. 2.3.3).

Neben den guten Eigenschaften für den BSB-Abbau und die Nitrifikation besteht das Hauptproblem bei der Gestaltung dieses langgestreckten Festbettfilters in der hohen hydraulischen Querschnittsbelastung von maximal 240 m/h (230 m³/h/ 1,9 m * 0,5 m Schüttungshöhe). Diese hat ihre Ursache in der durch die vorhandenen Rinnen vorgegebenen Anlagengeometrie. Idealerweise hätte der Biofilter eine höhere Querschnittsfläche und eine geringere Länge besitzen müssen.

Füllkörperschüttungen mit Füllkörpern DN 15 können nur mit bedeutend geringeren hydraulischen Belastungen durchflossen werden, um den erforderlichen Druckhöhenverlust von wenigen Zentimetern zu gewährleisten.

Die Wasserstanddifferenz, die durch die Propellerpumpen zu überwinden ist, ist in erster Linie vom Filterwiderstand bzw. dem entsprechenden Druckhöhenverlust des getauchten Festbettfilters abhängig. Um ein energieeffizientes Verfahren zu gewährleisten, dürfen Förderhöhe und Filterwiderstand bzw. der entsprechende Druckhöhenverlust nur wenige Zentimeter Wassersäule betragen.

Wird eine vertikale Durchströmung der Füllkörperschüttungen der einzelnen Abteile vorausgesetzt, so dass das Wasser in den ersten Abteilen von oben aufgegeben wird, im zweiten von unten nach oben die Füllkörperschüttung durchfließt und im dritten wieder von oben nach unten fließt, so ergibt sich eine maximale hydraulische Belastung von ca. 40 m/h (230 m³/h/ 1,9 m * 3,0 m).

Auch dieser Wert ist noch problematisch und führte nach dem Rückspülen des Filters schnell wieder zu einem erhöhten Filterwiderstand. In der Anfangsphase des Betriebs der Modulanlage wurde

das sichtbar und begrenzte den Durchfluss durch die Anlage bzw. führte zu größeren Druckhöhenverlusten des Festbettfilters mit entsprechender Havariegefahr.

Aus den Daten von RÜMMLER u. a. (2011a) ergibt sich eine hydraulische Belastung des Festbettfilters der untersuchten Satzfishanlage bei der vorgenommenen vertikalen und horizontalen Wasserbeaufschlagung von 12 - 21 m/h. Dabei wurden dieselben Füllkörper wie in der Modulanlage eingesetzt. Bei Versuchen im kleintechnischen Maßstab von PEDERSEN u. a. (2015) wurden Festbettfilter, ebenfalls mit denselben Füllkörpern DN 15 und einem von unten nach oben durchströmten Bett von 0,8 m Höhe mit einer hydraulischen Belastung von 14 m/h betrieben.

Neben dem hydraulischen Widerstand bzw. der Verlusthöhe der Füllkörperschüttung hat auch die Gestaltung der Siebe einen großen Einfluss auf die gesamte Verlusthöhe des gefluteten Festbettfilters. Erst durch Siebe mit einem Lückengrad von ca. 65 % bei einer quadratischen Lochabmessung von 10 mm sowie einer doppelwandigen Konstruktion mit 4 cm Abstand zwischen beiden Sieben, konnte dieser Einfluss minimiert werden. Durch die doppelwandigen Siebe wird ein Anliegen der Füllkörper nur an einer Siebseite ermöglicht.

Die jetzige Gestaltung der Strömungsführung im getauchten Festbettfilter, die sich bisher im praktischen Betrieb bewährt hat, besitzt folgende Form.

Im Zulauf der ersten beiden Filterabteile wird die Anströmung aus dem Schwebbettfilter in eine horizontale Wasseraufgabe auf die beiden vorderen Füllkörperschüttungen umgelenkt. Das geschieht durch schräge Holzbohlen und eine drehbar befestigte PE-Platte, die sich waagrecht in die Strömung stellt.

Alle drei doppelten Filterabteile besitzen neben dem horizontalen Sieb, auf dem die Füllkörper liegen, am Ende ein senkrecht stehendes Sieb. Dadurch wird die hydraulische Querschnittsbelastung am Auslauf weiter verringert. Es ergibt sich ein theoretischer maximaler Wert von ca. 35 m/h. Neben der vertikalen Durchströmung der ersten und dritten Abteile von oben nach unten und der mittleren Abteile von unten nach oben erfolgt durch die senkrecht stehenden Siebe zusätzlich eine horizontale Durchströmung der einzelnen Füllkörperschüttungen. Der Wasserablauf aus den mittleren Abteilen erfolgt nur durch das jeweilige senkrechte Sieb zwischen den mittleren und dritten Abteilen. Die hydraulische Querschnittsbelastung ist an dieser Stelle des Filters am höchsten (ca. 230 m/h), was bei der Siebgestaltung besonders zu berücksichtigen war.

Zur Behebung des Problems des relativ schnellen „Zusetzens“ der Füllkörperschüttungen durch die Sedimentation der feinen partikulären Substanz ist ein Bypass notwendig, der bei Erhöhung des Filterwiderstandes das „überschüssige“ Wasser automatisch zum Ablauf des Festbettfilters führt, ohne dass ein zusätzlicher Druckhöhenverlust entsteht. Die Sedimentation der feindispersen Partikel, der BSB-Abbau und die Nitrifikation erfolgen für den Bypass-Wasserstrom allerdings nicht. Das muss in Kauf genommen werden, um einen unkontrolliert ansteigenden Druckhöhenverlust des Filters, der zu einer Reduzierung des Kreislaufwasserdurchflusses, zur Veränderung des Sauerstoffeintrags sowie zu einer Erhöhung der CO₂-Konzentration führen würde, zu verhindern.

Die dazu letztendlich gefundene Lösung besteht darin, dass durch die senkrechten Siebe und die Höhe der Füllkörperschüttungen das Wasser, das nicht durch die Füllkörperschüttungen fließt, über den Schüttungen von Abteil zu Abteil abfließen kann und durch das Ablaufsieb der dritten Abteile den Filter weitgehend unbehandelt oder nur teilweise behandelt verlässt.

Die Gestaltung hat sich bewährt und führte zu keinen kritischen Verringerungen des Kreislaufdurchflusses. Der Umfang der funktionellen Einschränkungen des Biofilters muss durch entsprechend kurze zeitliche Abstände des Rückspülens der einzelnen Abteile begrenzt werden.

Die Verfahrensweise zur Entfernung der Partikel, die sich im getauchten Festbettfilter abgesetzt haben, gleicht der Vorgehensweise beim Rückspülen des Grobfilters. Unter den Siebböden der einzelnen Abteile sind Druckluftleitungen verlegt durch die ein grobblasiger Luftaustritt (3 mm Lochdurchmesser) vorgenommen werden kann. Messungen ergaben einen erforderlichen Luftdurchsatz von 494 - 527 m³/h.

Durch das Einschieben von PE-Schottplatten an den senkrechten Sieben lassen sich einzelne Abteile des Filters für das Rückspülen auswählen. In der Regel wird dabei die betreffende Längsseite des Filters insgesamt vom Kreislaufdurchfluss abgekoppelt. Das erfolgt durch eine am Ende jeder Längsseite einschiebbare PE-Schottplatte und das Umklappen der drehbar befestigten PE-Platte am Zulauf des ersten Abteils. Während des Rückspülvorgangs arbeiten die andere Hälfte des getauchten Festbettfilters und der Schwebbettfilter weiter und es kann ein zusätzlicher Bypass-Strom von ca. 80 m³/h über die vorhandene Rohrleitung DN 200 um den Biofilter herumgeleitet werden. Der Kreislaufwasserdurchfluss und der Druckhöhenverlust werden dadurch während des Rückspülens nur wenig verändert.

Nach der Expansion des Füllkörperbetts und der Herauslösung der abgesetzten Schlammartikel mit Hilfe der Druckluft wird das mit abgesetzten Partikeln angereicherte Wasser durch Ziehen der Verschlussstopfen der Reinigungswasserabflüsse abgeführt. Jedes Filterabteil besitzt zwei Reinigungswasserabflüsse. Nach der Beendigung des Rückspülvorgangs weist das Wasser in den betreffenden Abteilen noch einen erhöhten Anteil sehr feindisperser bräunlicher Partikel auf, so dass erst nach einer Absetzzeit von mindestens einer Stunde das betreffende Abteil wieder vom Kreislaufwasser durchströmt werden kann. Eine weitere Verringerung des verbleibenden feindispersen Partikelaustrags mit offensichtlich hohem Eisenanteil kann nur durch die Verbesserung der Enteisung erreicht werden.

Die einzelnen Rückspülvorgänge müssen daneben auf einen Wassermengenverlust, der zu einer Absenkung des Wasserstandes um maximal 15 cm (ca. 15 m³) (s. 2.2.4) in der gesamten Anlage führt, begrenzt werden. Der Grund liegt in dem geringen Ausgleichsvolumen, das der Pumpensumpf besitzt und der kontinuierlichen geringen Frischwasserzufuhr. Bei dem eingestellten Frischwasserdurchfluss von ca. 3 m³/h sind mehrere Stunden erforderlich, um nach einem Rückspülvorgang den Nennwasserstand wieder zu erreichen.

2.2.6 Pumpensumpf (Abb. A2.9)

Am Auslauf des Biofilters in den Pumpensumpf ist eine Rinne mit 40 * 40 cm Querschnitt angebracht, auf deren Boden ein Ultraschall-Durchflussmesser (OCM F, Fa. Nivus) für teil- und vollgefüllte Gerinne installiert ist. Das Gerät besitzt einen Ultraschall-Kompaktdopplersensor, der Strömungsgeschwindigkeit und Wasserstandhöhe misst. Anhand des Messgerätes erfolgt die Einstellung und Kontrolle des Kreislaufdurchflusses als eine der wichtigsten Betriebsparameter der Anlage.

Der Pumpensumpf ist ein Teil des ursprünglichen Zulaufkanals, der durch die Schottwand zur Aufnahme der Kreislaufpumpen und die hintere Trennwand der Modulanlage begrenzt wird. In Abhängigkeit vom Kreislaufdurchfluss betragen die Wasserstandshöhe ca. 90 cm und das Wasservolumen ca. 4,5 m³.

Neben der Wasservorlage für die Pumpen werden durch dieses Wasservolumen Schwankungen der Wassermenge (z. B. beim Rückspülen der Filter oder der Enteisung) und des Kreislaufdurchflusses (Durchflusseinstellungen, Rückspülen Filter) in begrenztem Maße ausgeglichen.

Die beiden Kreislaufpumpen sind mit ihren Druckstutzen in der Pumpenschottwand befestigt. Durch den Betrieb der Pumpen wird der Wasserstand hinter der Schottwand, d. h. im vorderen Teil des ursprünglichen Zulaufkanals bzw. im Sauerstoffbegasungsbecken, gegenüber dem Wasserstand im Pumpensumpf angehoben, so dass es anschließend den Fischhaltungsrinnen wieder zufließen kann.

Es kommen Propellerpumpen vom Typ Rohrpumpe L3 mit der Kennlinie 06 (Fa. Linn Gerätebau) zur Anwendung. Die Leistungsaufnahme P1 einer Pumpe beträgt 1,05 kW. Nach Abschluss der anlagentechnischen Veränderungen beträgt die durch die Pumpen zu überwindende Förderhöhe nur noch 6 - 11 cm (Mittel 8 cm). Unter diesen Bedingungen liefert eine Pumpe den erforderlichen maximalen Kreislaufdurchfluss von ca. 230 m³/h.

Beide Kreislaufpumpen sind mit einem Frequenzumrichter zur Einstellung des Durchflusses ausgerüstet. Die zweite Kreislaufpumpe dient als Reservepumpe für den Einsatz beim Ausfall der ersten Pumpe. Für den Betrieb immer nur einer Pumpe sind beide Pumpen mit Rückschlagklappen ausgerüstet.

Zusätzlich sind zwei weitere Pumpen im Pumpensumpf installiert, eine Propellerpumpe für die CO₂-Entgasung (s. 2.2.7) und eine Kreiselpumpe für die Rückspülung der Enteisung (s. 2.2.10). Bei Ausfall der ersten Kreislaufpumpe wird die zweite Kreislaufpumpe automatisch eingeschaltet, deren Drehzahl dieselbe Einstellung wie die erste Pumpe haben sollte. Fällt auch die zweite Kreislaufpumpe aus, wird die CO₂-Pumpe auf maximale Drehzahl geschaltet.

2.2.7 CO₂-Entgasung (Abb. A2.10)

Durch die Respirationstätigkeit der Fische erfolgt eine CO₂-Abgabe über die Kiemen, die dem ca. 1,17-fachen des durch die Fische aufgenommenen Sauerstoffmassesstromes entspricht (s. 2.2.1). Durch den geringen Wasseraustausch in Kreislaufsystemen entstehen hohe CO₂-Konzentrationen im Anlagenwasser, die den als kritisch angenommenen Grenzwert von ca. 24 mg/l in der Regel überschreiten. Dieser Grenzwert wurde von FIVELSTADT (2013) für Alkalinitäten über 0,6 mmol/l nach Auswertung der bisher vorliegenden Untersuchungen angegeben.

Aus diesem Grund sind entsprechende technische Maßnahmen zur CO₂-Entgasung vorzusehen. Ohne eine CO₂-Entgasung wurden in der Modulanlage bereits bei einer täglichen Futtermenge von 32 kg (59 % der zugrunde gelegten Maximalfuttermenge) und einer Fischbestandsmasse von 2,14 t CO₂-Konzentrationen am Ende der Rinnen von 40 mg/l und mehr (18.02.2014) gemessen.

Entsprechende Dimensionierungsgrundlagen für die CO₂-Entfernung, die eine Gestaltung bzw. Projektierung unter verschiedenen Bedingungen zuließen, liegen nur teilweise vor (z. B. GRACE u. a. 1996, SUMMERFELT u. a. 2000, 2003, WATTEN u. a. 2004, MORAN 2010, COLT u. a. 2012a, b, c) und kommen z. T. auch zu unterschiedlichen Aussagen.

Am geeignetsten für die CO₂-Entgasung sind Oberflächenbelüfter, von denen in Kreislaufanlagen in erster Linie offene Füllkörperkolonnen oder Gitterrostkaskaden eingesetzt werden (GRACE u. a. 1996, WATTEN u. a. 2004, SUMMERFELT u. a. 2000, 2003, MORAN 2010).

Die in der Modulanlage nachträglich installierte Füllkörpersäule hat einen Durchmesser von 0,8 m. Um den Energieaufwand gering zu halten, betrug die Schüttungshöhe der Füllkörper anfänglich ca. 0,9 m und später 0,6 m. Es wurden Pallringe DN 50 mit einer spezifischen Oberfläche von 110 m²/m³ eingesetzt. Die Wasserverteilung über der Schüttung erfolgt mit Hilfe eines gelochten runden Verteilerkastens mit 114 Löcher DN 8 mm. Zusätzlich wurde auf der Kolonne eine dichte Abdeckung mit einem Axiallüfter DN 315 mit Drehzahlsteller installiert. Nach Herstellerangaben wird damit ein Luftdurchfluss von ca. 1.000 m³ Luft/h bei 0,03 kPa Druck erzeugt. Auf diese Art und Weise kann eine Zwangsbelüftung von unten nach oben zur Erhöhung des Luftstromes gegenüber dem Wasserstrom vorgenommen werden. Die CO₂-Entgasungsleistung wird dadurch erhöht. Für den Betrieb ohne Zwangsbelüftung wird die Abdeckung mit dem Lüfter angehoben und ca. 20 cm über der Entgasungskolonne arretiert, so dass ein ungehinderter freier Luftaustausch möglich ist.

Angaben zum erforderlichen Verhältnis der Volumenströme von Luft zu Wasser reichen von 3 - 10 (SUMMERFELT u. a. 2003). Es wird aber auch über keine wesentliche Beeinflussung der CO₂-Entgasungsleistung durch die Höhe des Luftstromes berichtet (MORAN 2010).

Die CO₂-Entgasungskolonne ist auf zwei Trägern über dem Sauerstoffbegasungsbecken installiert, unmittelbar hinter der Pumpenschottwand.

Der zu entgasende Wasserstrom wird durch eine senkrecht stehende Propellerpumpe aus dem Pumpensumpf in den Wasserverteiler der Entgasungskolonne gefördert. Durch die Wasserförderung über die Pumpenschottwand hinweg addiert sich diese Wassermenge zu der Wassermenge der eigentlichen Kreislaufpumpe. Es wurde eine Rohrpumpe L3 (Fa. Linn Gerätebau) mit der Kennlinie 07 mit 1,40 kW Leistung P1 installiert, die nach der Kennlinie einen Durchfluss von mindestens 80 - 100 m³/h liefern müsste. Der Durchfluss betrug nach längeren Messungen 84 m³/h. Dieser Wert

entspricht einer hydraulischen Querschnittsbelastung von 167 m/h. Gleichzeitig wurde zur Anpassung des Durchflusses durch die Kaskade und damit der CO₂-Entgasungsleistung ein Frequenzumrichter eingebaut. Bei hohen CO₂-Konzentrationen wird die CO₂-Entgasungsleistung zusätzlich durch die Einschaltung bzw. Regelung des Luftmengenstromes des Axiallüfters erhöht.

Zur Ermittlung der CO₂-Entgasungsleistung wurden die CO₂-Konzentrationen vor und nach der Kaskade mit einem CO₂-Handmessgerät OxyGuard CO₂ Portable (Fa. OxyGuard) gemessen.

Messungen, die während des regulären Betriebs der Anlage mit Anpassungen der Wassermenge der CO₂-Entgasungspumpe und der Leistung des Lüfters erfolgten, ergaben eine Reduzierung der CO₂-Konzentration beim Durchlaufen der Kaskade von 10,0 mg/l. Dabei lag die mittlere CO₂-Konzentration im Pumpensumpf bei 27 mg/l. Die Entgasungseffizienz (prozentuale Verringerung der CO₂-Konzentration beim Durchlaufen der Kaskade bezogen auf den Anfangswert) betrug 38 %. Insgesamt konnte durch den Teilstrombetrieb der Kaskade die CO₂-Konzentration der Gesamtwassermenge zwischen Pumpensumpf und Begasungsbecken im Mittel um 3,2 mg/l reduziert werden.

Der messtechnisch bestimmte CO₂-Entgasungs-Massestrom lag im Mittel bei 624 gCO₂/h.

Die CO₂-Konzentrationsdifferenz zwischen Einlauf und Auslauf der Kolonne und der entgaste CO₂-Massestrom stiegen mit der Zulaufkonzentration (s. a. MORAN 2010). Die Entgasungseffizienz änderte sich nur geringfügig mit der Zulaufkonzentration.

Aufgrund der u. U. mehrmalig am Tag notwendigen Anpassung des Betriebsregimes der CO₂-Entgasung ist die Anzahl der Messungen bei maximaler Pumpenleistung sowie ohne und mit Lüfter noch gering. Diese Werte sowie Hochrechnungen auf den maximalen Durchfluss ergaben eine maximale CO₂-Entgasungsleistung der Kaskade von ca. 712 gCO₂/h ohne Lüfter und ca. 809 gCO₂/h mit Lüfter. Nach den bisherigen Erfahrungen ist eine Zwangsbelüftung zur Erhöhung des Luftdurchsatzes erst bei hohen CO₂-Konzentrationen im Zulaufwasser sinnvoll. Die spezifische Entgasungsleistung beträgt demnach 2,0 bzw. 2,1 kW*h/kgCO₂. Die CO₂-Entgasung ist der energieaufwändigste Teilprozess in der Modulanlage.

Mit der Füllkörperschüttung von 60 cm wurde keine verbesserte Entgasungsleistung gegenüber 90 cm Schüttungshöhe erzielt, da sich der Durchfluss der Pumpe mit der Verringerung der Förderhöhe nicht wesentlich erhöhte.

Der Vergleich der ermittelten maximalen CO₂-Entgasungs-Masseströme von ca. 700 - 800 gCO₂/h mit dem errechneten von den Fischen abgegebenen maximalen CO₂-Massestrom von 1.230 gCO₂/h zeigt, dass die CO₂-Entgasungsleistung der Kaskade noch nicht ausreichend war. Ursache ist der zu geringe Wasserdurchfluss der Kaskadenpumpe. Das Problem besteht in dem sehr begrenzten Spektrum von Pumpen mit einer für diesen Anwendungsfall in Frage kommenden Kennlinie.

In der Füllkörperschüttung kam es zu umfangreichen Ablagerungen von organischer Substanz, die sich trotz der hohen hydraulischen Belastung im Verlauf eines Jahres auf den Füllkörpern ausbildeten. Die Berieselungsfläche für den CO₂-Stoffaustausch dürfte sich damit auch nicht mehr durch die Füllkörperoberfläche definieren lassen. Auf weitere verfahrenstechnische Berechnungen, z. B. zur Ermittlung von CO₂-Stoffübergangskoeffizienten, wurde daher verzichtet.

Die Füllkörper wurden daraufhin durch fünf Gitterroste mit Längsstreben ersetzt, die jeweils um 90° versetzt angebracht wurden. Die Roste haben einen Stababstand von 1,0 cm und einen Stabdurchmesser von 2 mm. Bei dieser Ausbaustufe der CO₂-Kaskade wurde eine Verringerung der CO₂-Konzentration des über die Kaskade geleiteten Teilwasserstromes um ca. 5 mg/l gemessen, die geringer ist, als die mit den Füllkörpern erreichte. Hier sind weitere Arbeiten zur Verbesserung und Optimierung der CO₂-Entgasung notwendig.

Mit Hilfe eines installierten CO₂-Betriebsmessgerätes (OxyGuard CO₂ Analyser, Fa. OxyGuard), der Veränderung des Durchflusses durch die CO₂-Entgasungskaskade und die Zwangsbelüftung der Kaskade konnte die CO₂-Entgasungsleistung beim praktischen Betrieb gut an die auch tageszeitlich schwankende CO₂-Produktion der Fische angepasst werden. Die Sonde des CO₂-Messgerätes lässt sich abwechselnd in dem Rinnenende mit dem höchsten Fischbestand platzieren.

Zur Vereinfachung des Betriebsregimes und zur Energieeinsparung wurde die CO₂-Kaskade über weite Zeiträume der Produktion nur während der Fütterungszeit betrieben, da die tageszeitlichen

Veränderungen der CO₂-Emissionen parallel zu den Schwankungen des Sauerstoffverbrauches der Fische verlaufen. Es wurde darauf orientiert, die CO₂-Konzentrationen nicht über 25 mg/l ansteigen zu lassen.

2.2.8 Sauerstoffbegasung (Abb. A2.11)

Das Sauerstoffbegasungsbecken wird durch den zweiten Teil des ursprünglichen Zulaufkanals zwischen der Pumpenschottwand und der vorderen Trennwand zum Zulaufkanal der Rinnenanlage gebildet.

Als Sauerstoffbegasungsverfahren wurden schwimmende O₂-Niederdruckbegaser genutzt. Die Vorteile liegen in der einfachen Installation dieser Geräte und dem effektiven Sauerstoffeintrag. Untersuchungen eines Gerätes derselben Baureihe aber mit größerer Sauerstoffeintragskapazität (RÜMMLER 2008) und der Vergleich mit Niederdruck-Begasungsreaktoren und Düsenreaktoren (RÜMMLER 2009a, b) bildeten die Grundlage für diese Einschätzung. Es werden zwei schwimmende O₂-Niederdruckbegaser vom Typ KR 94 (Fa. FAS) genutzt. Die Geräte werden auf dem Becken mit Hilfe von Gummiseilen elastisch fixiert.

Durch die Begasung mit technischem Sauerstoff werden Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes der Luft in den Fischhaltungseinrichtungen gesichert, die Verbesserungen des Fischzuwachses, der Futterverwertung und der Überlebensrate der Fische ermöglichen (Zusammenfassung bei RÜMMLER u. a. 2008).

Während des Betriebs der Anlage wurden Messungen des Sauerstoffeintrags an einem der beiden Geräte vorgenommen. Dazu wurde der zugeführte O₂-Massestrom mit Hilfe eines O₂-Masseflussmessers (Fa. Vögtlin, Schweiz) ermittelt. Der ins Wasser eingetragene O₂-Massestrom ergibt sich aus dem gemessenen Kreislaufwasserdurchfluss und der O₂-Konzentrationsdifferenz zwischen Pumpensumpf und Auslauf des Begasungsbeckens. Beide Messwerte wurden mit Hilfe der installierten O₂-Betriebsmesstechnik (s. 2.2.11) und parallel dazu mit einem Handmessgerät gemessen. Die mit Hilfe des installierten Wirkleistungszählers ermittelte Leistungsaufnahme des Begasers betrug 0,41 kW.

Die Messungen wiesen für einen Begaser einen mittleren Sauerstoffeintrag von ca. 869 gO₂/h aus. Der ermittelte Sauerstoffverlust von ca. 10 % ist als sehr gering einzustufen. Die Zulaufkonzentration lag zwischen 6,7 und 9,1 mg/l und die Auslaufkonzentration zwischen 10,8 und 13,1 mg/l. Für die Sauerstoffeintragsleistung ergab sich ein mittlerer Wert von 0,48 kW * h/kgO₂, der noch niedriger ist als der bei RÜMMLER (2008) für das größere Gerät gleicher Bauart bestimmte Wert von 0,56 kW*h/kgO₂.

Weitere Messungen ergaben, dass die Sauerstoffkonzentration im Zulauf zu den Fischhaltungsrinnen bei verringertem Durchfluss Werte bis über 20 mg/l erreichen kann.

Der in der Konzeption der verfahrenstechnischen Daten nach Tab. 1 aufgeführte Sauerstoffeintrag kann daher für den Endbestand unter den zugrunde gelegten zeitversetzten Bedingungen erreicht werden. Beim bisherigen Betrieb der Anlage sind keine Probleme mit der Sauerstoffversorgung des Fischbestandes aufgetreten.

Die Versorgung mit technischem Sauerstoff erfolgt in der Anlage Thießen mit Hilfe einer Druckvergaseranlage und einer anschließenden Druckmindererstufe. Die Steuerung und Regelung des Sauerstoff-Massestromes, der den Begasern zugeführt wird, erfolgt mit Hilfe verschiedener Armaturen auf einer Sauerstoffschalttafel. Für jeden Begaser ist eine Stell- und Regelstrecke für den Sauerstoffdurchfluss vorhanden, die zwei Schwebkegel-Durchflussmesser mit Stellventil enthält. Dabei dient ein Durchflussmesser zur Einstellung der Grundlast des zugeführten Sauerstoffstromes. Dem Zweiten ist ein Magnetventil nachgeschaltet, mit dem eine Zweipunktregelung der O₂-Konzentration in den Fischhaltungsrinnen vorgenommen werden kann. An diesem Durchflussmesser wird die Regellast eingestellt. Es hat sich eine einfache Zweipunktregelung mit einstellbarer Hysterese als ausreichend erwiesen.

Das aus den Begasern auslaufende Wasser wird mit PE-Platten direkt auf die Zuläufe der einzelnen Fischhaltungsrinnen gerichtet. Auf diese Art und Weise kann die individuelle Regelung der Sauerstoffkonzentration in den beiden Rinnen durch die separate Steuerung der Sauerstoffdurchflüsse zu den einzelnen Begasern vorgenommen werden.

Zur Durchführung therapeutischer Bäder bei stehendem Wasserkörper in den Rinnen, d. h. ohne Wasserzufuhr und Wasserableitung, werden die Notbegasungsschläuche, die ursprünglich für die Rinnen vorgesehen waren, genutzt.

2.2.9 Alkalinitätszufuhr (Abb. A2.6)

Die Alkalinität des geförderten Grundwassers für die Versorgung der Modulanlage liegt bei ca. 1 mmol/l. Als Grenzwert der Alkalinität im Haltungswasser für die Fischproduktion gilt allgemein ein Wert von ca. 1 mmol/l (WEDEMAYER 1996). Im vorliegenden Fall wird im Rinnenwasser ein Wert von 2 mmol/l angestrebt. Der pH-Wertabfall, der mit dem Verbrauch von Alkalinität durch die Nitrifikation und mit der CO₂-Akkumulation verbunden ist, wird damit kompensiert.

Der Ausgleich der in der Modulanlage verbrauchten Alkalinität und die notwendige Alkalinitätsaufstockung des zugeführten Grundwassers müssen daher künstlich durch alkalische Chemikalien erfolgen.

Besonders geeignet dafür ist Natrium-Hydrogencarbonat (kohlen-saures Natron, Backpulver, Natriumbikarbonat). Na(HCO₃) löst sich schnell im Wasser und es treten keine pH-Spitzen in alkalischer Richtung auf. Es werden theoretisch 83gNa(HCO₃)/mol Alkalinität benötigt.

Beim Betrieb der Modulanlage hat sich ein täglicher NaHCO₃-Einsatz von 30 - 40 % der Futtermenge als ausreichend erwiesen. Das NaHCO₃-Pulver wird täglich abgewogen und mit Hilfe von zwei bis drei Bandfutterautomaten, die über dem Schwebetfilter installiert sind, kontinuierlich ausgebracht. Bei hohem Alkalinitätsbedarf werden zwei Automaten 24 Stunden lang und ein Futterautomat nur während der Fütterungsphase betrieben.

Nach den bisherigen Versuchszyklen ergab sich ein mittlerer NaHCO₃-Verbrauch von 37 % der Futtermenge und des Zuwachses der Fische. Dadurch wurde gleichzeitig der pH-Wert im circumneutralen Bereich gehalten. Die Messwerte mit dem Betriebsmessgerät ergaben von März 2013 bis Ende 2015 einen mittleren pH-Wert von 6,87 bei einer Standardabweichung von 0,15. Während der vier Untersuchungskampagnen des Biofilters betragen die Mittelwerte der Alkalinität 1,68 mmol/l, 2,11 mmol/l, 1,98 mmol/l und 1,88 mmol/l. Werte um 2 mmol/l konnten damit durch die beschriebene Verfahrensweise gewährleistet werden.

2.2.10 Frischwasserzufuhr - Grundwasserenteisung (Abb. A2.12, A2.13)

Zur Versorgung der Modulanlage mit Frischwasser wurde in unmittelbarer Nähe der Anlage ein 30 m tiefer Brunnen gebohrt, der Grundwasser ab ca. 17 m Tiefe entnimmt, das aber bis ca. 1,4 m unter Grund ansteht. Die Förderung des Grundwassers erfolgt mit Hilfe einer selbstansaugenden Schmutzwasserpumpe (Typ A40-110B/A, Fa. Linn-Pumpen) mit einer Leistung P1 von 0,55 kW und einem Frequenzumrichter zur Durchflussregulierung. In der Saugleitung der Pumpe ist ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser DN 40 (Optiflux 2100 C, Fa. Krohne) installiert, dessen Einheitssignal im Automatisierungssystem weiter verarbeitet wird.

Der Grundwasserdurchfluss wurde konstant auf 3,0 m³/h eingestellt und entspricht damit einem spezifischen Frischwassereinsatz von 1 m³/t*h bei der höchsten Fischbestandsmasse in der Anlage.

Zur Havariesicherung ist eine zweite selbstansaugende Pumpe vorhanden. Für die Betriebssicherung im Winter ist die Saugleitung der Grundwasserversorgung isoliert und zusätzlich mit einer Begleitheizung ausgestattet, die bei Pumpenausfall automatisch einschaltet.

Das Grundwasser in Theißen weist Eisenkonzentrationen auf, die eine Enteisung erfordern, bevor das Wasser der Anlage zugeführt wird. Im Laufe des Betriebs der Modulanlage stiegen die TFe-

Konzentrationen des Grundwassers von 2,81 mg/l als Mittel aus 5 Messungen 2011 und 2012 auf 4,57 mg/l als Mittel aus 10 Messungen 2015.

Die Enteisung größerer Wassermengen mit kurzen Verweilzeiten in den Filtern (hohe Filtergeschwindigkeit) und Auslaufkonzentrationen, die über denen der Trinkwasseraufbereitung von 0,2 mg/l liegen können, ist für die Aquakultur und auch die Wasserwirtschaft ein neues Feld, auf dem bisher keine nutzbaren Bemessungsgrundlagen existieren.

Die direkte Oxidation des gelösten Eisen(II) zu Eisen(III) beim Durchlaufen von Belüftungseinrichtungen wird in den meisten Fällen nur unvollständig sein. Bei hohen pH-Werten von 8,0 beträgt die Reaktionszeit für eine vollständige Oxidation ca. 20 Minuten, bei niedrigeren pH-Werten bis zu mehreren Stunden. Eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit wird durch sessile Eisenbakterien bewirkt, die in der Lage sind, Eisen(II) zu Eisen(III)-Oxidhydrat zu oxidieren und auszufällen. Zusätzlich bilden deren Ausscheidungsprodukte (Fe(III)-Oxidhydrat, extrazelluläre polymere Substanzen EPS) hydratisierbare Oberflächen zu denen gelöstes Fe(II) diffundiert, dort adsorbiert und anschließend oxidiert wird (DVGW-Arbeitsblatt 223-1, 223-2).

Für die Modulanlage wurde eine Eisen(II)-Filtration über inertes Material als Verfahren gewählt (DVGW-Arbeitsblatt 223-1, 223-2). Dabei erfolgt die Oxidation des Eisens (II) erst innerhalb des Filterbetts durch die Adsorption an der eingearbeiteten Filtermaterialoberfläche, durch die Oxidation zu Eisen(III)-Oxidhydrat und die Rückhaltung des Eisen(III)-Oxidhydrates im Filtermaterial. Es bildet sich ein brauner Belag auf dem Filtermaterial, der aus Eisenbakterien, EPS und Eisen(III)-Oxidhydrat besteht.

Zur Minimierung der Energiekosten bei der Enteisung wurde eine offene Filteranlage realisiert und erprobt, über der eine Kaskade zur vorherigen Anreicherung des Grundwassers mit Sauerstoff und der Entfernung von CO₂ installiert ist. Die Wasserverteilung in der Kaskade erfolgt mit Hilfe eines gelochten runden Verteilerkastens mit 53 Löchern DN 7 mm.

In der ursprünglichen Füllkörperkaskade mit 1,5 m Höhe kam es innerhalb eines Jahres zu umfangreichen Eisenablagerungen auf den Füllkörpern DN 50. In der umgebauten Kaskade sind sechs Gitterroste, die nur noch Längsstreben von ca. 3 mm Stärke im Abstand von 20 mm aufweisen, übereinander und versetzt angebracht.

Die Sauerstoffkonzentration des nahezu sauerstofffreien Grundwassers (gemessener Mittelwert 0,48 mg/l) wurde durch die Gitterrostkaskade im Mittel auf 86 % des Sättigungswertes, d. h. ca. 9,7 mg/l bei der mittleren gemessenen Grundwassertemperatur von 10,05 °C aufgestockt. Die CO₂-Konzentration des Grundwassers wurde im Mittel um 2,2 mg/l verringert, wodurch der pH-Wert im Mittel um 0,31 stieg.

Der Wasserzufluss zum Enteisungsfilter erfolgt aus der über dem Filter stehenden Kaskade.

Für den offenen Filter zur Enteisung wurden ebenfalls Füllkörper vom Typ RK Bioelements mit den Abmessungen 15 * 15 mm, einer spezifischen Oberfläche von 750 m²/m³ und einer Dichte von 1,20 g/cm³ genutzt. In dem Filterbehälter mit 1,1 m Durchmesser und 1,4 m Höhe liegt ein Füllkörpervolumen von ca. 1,0 m³ auf einem Rost. Das aus dem Behälter ablaufende Wasser wird über ein Steigrohr und einen Überlauf zur Wasserstandsfixierung dem Pumpensumpf zugeführt.

Die zyklische Entfernung des abgelagerten Eisens erfolgt durch Rückspülung. Dazu sind unter dem Filterrost Druckluftrohe verlegt. Die Druckluftzufuhr wird mit Hilfe des Gebläses für die Rückspülung der anderen Filter vorgenommen. Das Filterbett wird durch die grobblasige Druckluftausströmung (3 mm Löcher) leicht expandiert. Im oberen Teil des Filters befinden sich drei Ablaufrohe mit Sieben, um das mit Eisenoxidhydrat angereicherte Rückspülwasser abzuleiten. Zusätzlich kann mit Hilfe einer Pumpe (Typ Unilift AP 12.40.08.3 Fa. Grundfos, Leistung P1 1,2 kW, 20 m³/h bei 3 m WS) ein Rückspüldurchfluss aus dem Pumpensumpf in den unteren Teil des Filters eingeleitet werden. Für das Rückspülen sind ungefähr 10 m³ Wasser aus der Anlage erforderlich.

Aus 152 Messwerten in den Jahren 2013 bis 2015 ergab sich eine mittlere TFe-Konzentration am Auslauf der Enteisungsanlage von 0,66 mg/l. Allerdings zeigt die Standardabweichung von 0,45 mg/l die größeren Schwankungen der Werte. Vor dem Rückspülen ergab sich eine mittlere Kon-

zentration von 0,31 mg/l (28 Messungen). Nach dem Rückspülen bzw. am ersten Tag nach dem Rückspülen lag das Mittel bei 1,31 mg/l (33 Messungen). Diese Erhöhung der Eisenkonzentrationen lässt sich auf die geringe Wirkung der direkten Eisen(II)-Oxidation und die umfangreiche Entfernung des braunen Filtermaterialbelags aus Eisenbakterien, EPS und Eisen(III)-Oxidhydrat durch das Rückspülen zurückführen. Innerhalb der folgenden Stunden und Tage sinkt die TFe-Konzentration exponentiell auf den aufgeführten Minimalwert vor der nächsten Rückspülung ab. Mit dem Anstieg der Eisenkonzentrationen im Grundwasser mussten auch die zeitlichen Intervalle des Rückspülens von ca. einer Woche auf ca. drei bis vier Tage verringert werden. Mögliche Verbesserungen der Enteisung könnten in einer Verbesserung des Rückspülregimes und einer Veränderung des Filters bestehen. Der Filter müsste eine größere horizontale Querschnittsfläche und eine geringere Höhe der Filterschicht besitzen. Weiterhin sollte der Rückspülvorgang segmentweise möglich sein. Generell sind auf diesem Gebiet noch umfangreiche Ingenieursarbeiten zu leisten.

2.2.11 Automatisierungs- und Havariesicherungssystem

Durch das Automatisierungssystem werden folgende Parameter gemessen, angezeigt und registriert: zugeführte Frischwassermenge, Sauerstoffkonzentrationen im Zulauf und am Ablauf der Fischhaltungsrinnen sowie am Ende des Biofilters, Wassertemperatur, CO₂-Konzentration und pH-Wert am Auslauf der am stärksten besetzten Fischhaltungsrinne und Kreislaufwasserdurchfluss. Diese Werte bilden eine wichtige Grundlage für die Überwachung und Einstellung der verfahrenstechnischen Parameter der Anlage sowie zur Gewährleistung der angestrebten günstigen bzw. optimalen Haltungsbedingungen für den Fischbestand. Daneben lassen sich die in den programmierbaren Bildschirmschreibern gespeicherten Daten auf andere PC's überspielen und mit Hilfe einer entsprechenden Software weiter verdichten und auswerten.

Weiterhin beinhaltet das Automatisierungssystem Alarmierungen und Grenzwertsignalisierungen sowie Steuerungen, Regelungen und Notschaltungen.

Die einzelnen Funktionen und Teile der Elektro- und Automatisierungseinheit sind im Anhang A3 aufgeführt.

2.3 Verfahrenstechnische Untersuchungen

2.3.1 Überblick über die durchgeführten Untersuchungen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden Messungen und Untersuchungen der verfahrenstechnischen Parameter der verschiedenen Teilprozesse bzw. Anlagenteile und der Haltungsbedingungen für die Fische durchgeführt.

Die ermittelten verfahrenstechnischen Leistungsparameter der eingesetzten O₂-Eintragsgeräte, der CO₂-Entgasungsanlage und der Enteisung wurden bereits bei der Beschreibung der Gestaltung und Erprobung der einzelnen Teilprozesse der Modulanlage dargestellt.

Für das biologische Reinigungssystem der Modulanlage wurde eine anlagentechnische Gestaltung angestrebt, bei der die Dimensionierung und Bewirtschaftung des Biofilters (Rückspülung), die Frischwasserzufuhr, der Alkalinitätseintrag und die verabreichte Futtermenge so aufeinander abgestimmt sind, dass die Stickstoffkonzentrationen im Haltungswasser der Fische (Ammonium NH₄, Nitrit NO₂ und Nitrat NO₃) sowie der pH-Wert und die Alkalinität mit ausreichender Sicherheit unter den Grenzwerten bzw. im optimalen Bereich für den Fischbestand liegen und die aufwändige Bestimmung der Stickstoffparameter des Haltungswassers der Fische nur in Ausnahmefällen erforderlich ist.

Im Rahmen der Untersuchungen des IfB zu den realisierten Haltungsparametern der Fische wurden Wasserproben als doppelte Schöpfproben am Ende der Fischhaltungsrinnen entnommen und analysiert. Die Probenahmen erfolgten in erster Linie bei höheren Futtermengen.

Zur Untersuchung Wirkungsweise des Biofilters wurden überwiegend Wasserproben als doppelte Schöpfproben sowie zu Vergleichszwecken als 24 Stunden-Mischproben mit Probenahmeautomaten entnommen. Bei drei der vier Messkampagnen zur Untersuchung des Biofilters erfolgte die Entnahme der Schöpfproben zu mehreren Zeitpunkten eines Untersuchungstages. Es wurden Proben am Einlauf des Biofilters, d. h. am Zulauf des Schwebbetfilters, zwischen Schwebbetfilter und Festbetfilter und am Ende des Festbetfilters entnommen. Bei einer Kampagne wurden auch Wasserproben vor dem Grobfilter geschöpft.

Die Analysen erfolgten im IfB mit Hilfe eines Hach-Lange Digital-Photometers DR 5000. Es wurden Ammonium (NH_4), Nitrit (NO_2), Nitrat (NO_3), Gesamtstickstoff (TN), Gesamtphosphor (TP), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSB_5) mit den entsprechenden Hach-Lange Küvetten-Tests (LCK 138, 304, 341, 339, 349, 314 und 554) bestimmt. Zusätzlich wurden aus den Wasserproben der pH-Wert potentiometrisch, die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe AFS (DIN EN 872) sowie titrimetrisch die Alkalinität $K_{S4,3}$ (Säurebindungsvermögen, DIN 38409-7) ermittelt. Auf die Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) wurde verzichtet, da dieser Parameter sehr großen Schwankungen unterliegt, nur wenige Vergleichswerte vorliegen und schwer zu interpretieren ist (s. RÜMMLER 2010b und 2011b u. RÜMMLER u. a. 2011b). CRIPPS und KELLEY (1996) stuften TOC als nicht geeignet für die Kennzeichnung der organischen Belastung von Fischproduktionsanlagen ein, da der Anteil der biologisch abbaubaren Substanz nicht quantifiziert wird.

Kreislaufdurchfluss, O_2 -Konzentration, pH-Wert, CO_2 -Konzentration und Temperatur wurden mit Hilfe der Betriebsmesstechnik bzw. durch die Auswertung der aufgezeichneten Daten mit der entsprechenden Software ermittelt. Daneben wurden die aktuellen Werte durch das Anlagenpersonal einmal täglich aufgeschrieben.

Zusätzlich wurden im Rahmen der Messungen durch das IfB folgende Parameter mit entsprechenden Handmessgeräten vor Ort erfasst: pH-Wert, O_2 -Konzentration und Temperatur (Multiparameter-Messgeräte WTW 350i und Hach Lange HQ 40d), CO_2 -Konzentration (CO_2 -Portable der Fa. OxyGuard). Die Ermittlung der N_2 -Konzentrationen (digitales Gesamtgasdruckmessgerät PT4 Tracker TDGP der Fa. Point Four Systems Inc. Kanada) erfolgte nur anfänglich und wurde danach eingestellt, da keine N_2 -Übersättigungen ermittelt wurden. Durch den Betrieb der schwimmenden O_2 -Niederdruckbegaser war das auch sehr unwahrscheinlich (vergl. RÜMMLER 2008).

Gegenüber der ursprünglichen Planung wurden keine Messungen in bestimmten Zeitabständen über längere Zeitabschnitte vorgenommen. Aufgrund der durchgeführten Umbauten bzw. der technischen Ergänzungen, die mehrmals vorgenommen werden mussten und zu zeitweisen Unterbrechungen der Fischaufzucht mit anschließend zunächst geringeren Fischbeständen führten, wurden die Untersuchungen der Haltungparameter in den Rinnen und der Wasserwerte des Biofilters auf bestimmte kürzere Zeitabschnitte mit höherer Futterbelastung begrenzt.

Das Reinigungswasser der Modulanlage, das durch das Ziehen der Verschlussstopfen der Grundablässe der beiden Fischhaltungsrinnen, das Reinigen der Anlage mit dem Wassersauger und das Rückspülen der Festbetfilter und der Enteisung anfällt, konnte durch die baulichen Voraussetzungen in der Anlage bisher nicht separat gefasst werden. Die Rinnenanlage besitzt eine einheitliche unterirdische Reinigungswasserleitung. Im Rahmen weiterer Arbeiten zur Verbesserung der Reinigungswasseraufbereitung in der Rinnenanlage werden derartige Messungen 2016 vorgenommen werden können.

Die genutzten Berechnungen der fischtoxischen Stickstoffkomponenten Ammoniak und salpetrige Säure aus den entsprechenden Dissoziationsgleichgewichten sind bei RÜMMLER u. a. (2011a) aufgeführt.

2.3.2 Haltungbedingungen der Fische

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Mediane, 90 und 75 Perzentilen verschiedener Wasserparameter am Auslauf der Fischhaltungsrinnen zusammengefasst.

Es handelt sich dabei nur um Werte, die bei mehr als 20 kg Futter pro Tag und mehr als einer Tonne Fischbestand ermittelt wurden.

Die Werte zeigen, dass die mittlere tägliche NaHCO_3 -Zugabe von 38 % der Futtermenge zu einer stabilen Alkalinität $K_{S4,3}$ mit ausreichendem Puffervermögen (Mittel 1,9 mmol/l) und stabilen pH-Werten im circumneutralen Bereich (Mittel 6,8) geführt hat.

Als Handlungsbedingungen von größter Bedeutung sind die Ammoniakkonzentration und die Konzentration der salpetrigen Säure, die bereits bei geringen Werten fischtoxisch wirken.

Durch die Arbeitsweise des Biofilters ergab sich in den Fischhaltungseinrichtungen eine mittlere NH_4 -Konzentration von 0,79 mg/l. Infolge der pH-Werte geringfügig unter 7,0 wurde der Grenzwert für den Optimalbereich der Ammoniakkonzentration NH_3 von 0,01 mg/l (SCHRECKENBACH 2010) in keinem Fall überschreiten. Die höchsten Ammoniumwerte im Bereich von 1,2 - 1,6 mg/l ergaben sich bei Futtermengen über 32 kg und einem Fischbestand über 2,0 t.

Die Nitritkonzentration NO_2 lag im Mittel bei 0,5 mg/l. Als Höchstwerte wurden in vier Fällen Werte über 1 mg/l gemessen. Die verabreichten Futtermengen betragen dabei mehr als 35 kg pro Tag. Die berechneten Werte der salpetrigen Säure HNO_2^- lagen im Mittel bei 0,00022 mg/l. Als Grenzwert des Optimalbereiches wurden 0,0002 mg/l angegeben (SCHRECKENBACH u. a. 1983, 1987, SCHRECKENBACH 2010). Negative Beeinträchtigungen der Fische konnten im Rahmen der fischgesundheitslichen Untersuchungen nicht festgestellt werden. Die höchsten HNO_2 -Werte lagen im Bereich von 0,0004 - 0,0006 mg/l (3 Messwerte) bei Futtermengen über 35 kg pro Tag. SCHRECKENBACH (2010) gab für den oberen eingeschränkten Bereich der Handlungsbedingungen HNO_2 -Werte von 0,0002 - 0,0005 mg/l an. Durch die Erhöhung der NaHCO_3 -Menge bei sehr hoher Futterbelastung, die sich der stöchiometrisch ermittelten Menge (s. Tab. 1) annähert, kann dieser Tendenz mit einfachen Mitteln entgegengewirkt werden.

Die Berechnung der HNO_2 -Werte ist sehr pH- und temperatursensitiv, so dass geringe Messungenauigkeiten des pH-Wertes schnell zu höheren HNO_2 -Werten führen können. Die in Tab. 2 im Wesentlichen zugrunde gelegten pH-Werte der Betriebsmeselektrode zeigten immer eine Tendenz zu etwas geringeren pH-Werten und ergaben damit höhere HNO_2 -Konzentrationen, während die Werte der nicht berücksichtigten pH-Messungen im Labor um mehrere Zehntel höher lagen.

Die Nitatkonzentrationen NO_3 lagen mit einem Mittelwert von 40 mg/l und einem Höchstwert von 56 mg/l ebenfalls weit unter dem Grenzwert für den Optimalbereich von 200 mg/l (SCHRECKENBACH 2010).

Die Sauerstoffkonzentration in den Fischhaltungseinrichtungen konnte durch die automatische Regelung des Sauerstoffeintrags der schwimmenden O_2 -Niederdruckbegaser stets im optimalen Bereich gehalten werden. Der aufgeführte Mittelwert von 10,4 mg/l entspricht bei der mittleren Temperatur von 11,0° C einem Sättigungswert von 94 %. Der Sollwert der Regelung liegt bei 9 mg/l.

Die mittlere Temperatur bei den Messungen von 11,0 °C lag in der Nähe des Mittels aller bisherigen Temperaturmesswerte (s. 2.5).

Die CO_2 -Konzentration war mit einem Mittel von 27 mg/l höher als der angestrebte Grenzwert von 25 mg/l. Trotzdem konnten bei den fischgesundheitslichen Untersuchungen keine Symptome der Nephrocalzinose, d. h. einer Beeinträchtigung der Nierenfunktion der Fische durch Kalkablagerungen in diesem Organ (TAEGE 1984, FIVELSTAD u.a. 2003, HOSFELD u.a. 2008), festgestellt werden. Die Ursache ist die bisher mangelnde Leistungsfähigkeit der CO_2 -Entgasungskolonne (s. 2.2.7), insbesondere durch das Fehlen einer geeigneten Pumpe.

Der Mittelwert der abfiltrierbaren Stoffe stellt mit 17 mg/l in den Fischhaltungsrinnen und 17 mg/l bzw. 14 mg/l im Zulauf des Biofilters kein Problem dar. Der untere Grenzwert wird mit ca. 25 mg/l angegeben (TIMMONS u. EBELING 2010). Dysfunktionen der Kiemen treten bei Salmoniden erst bei Werten von 80 - 100 mg/l auf (WEDEMAYER 1996).

Die Konzentrationen an N_{\min} , CSB, BSB₅ und TP sind wichtige Parameter für die wasserwirtschaftliche Bewertung des Ablaufwassers aus der Anlage, das die Konzentrationen des Fischhaltungswassers besitzt. Das aus teilgeschlossenen Kreislaufanlagen abgegebene Wasser setzt sich aus dem mengenmäßig bestimmenden Ablaufwasser mit geringen Konzentrationen der gewässerbelastenden

Stoffe und dem Reinigungswasser mit geringen Wassermengen und höheren Konzentrationen der gewässerbelastenden Stoffe zusammen. Ob es sinnvoll ist, beide Ströme vor der Zusammenführung getrennt aufzubereiten oder zusammen zu behandeln, ist noch unklar, da es für die Anforderungen in Deutschland noch keinen Stand der Technik der Abwasseraufbereitung teilgeschlossener Kreislaufanlagen gibt (s. a. RÜMMLER 2015).

Tab. 2: Wasserparameter in den Fischhaltungsrinnen der Modulanlage bei mehr als 20 kg Futter/Tag und mehr als 1 t Fischbestand

Parameter	arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Median	75 Perzentil	90 Perzentil	Anzahl Messwerte
pH-Wert	6,8	0,1	6,8	6,9	7,0	67
Temperatur (°C)	11,0	2,0	11,0	12,9	13,6	65
Sauerstoffkonzentration (mg/l)	10,4	1,28	10,4	10,9	11,7	65
Kohlendioxid CO ₂ (mg/l)	26,9	5,7	28,0	30,0	33,3	48
Kreislaufdurchfluss (m ³ /h)	174	174	24	108	190	202
Alkalinität K _{S4,3} (mmol/l)	1,88	0,41	1,90	2,2	2,4	85
Ammonium NH ₄ (mg/l)	0,79	0,32	0,73	0,99	1,29	85
Ammoniak NH ₃ (mg/l)	0,00101	0,00055	0,00090	0,0013	0,0017	82
Nitrit NO ₂ (mg/l)	0,50	0,22	0,47	0,60	0,77	85
salpetrige Säure HNO ₂ (mg/l)	0,00021	0,00010	0,00020	0,0003	0,0003	85
Nitrat NO ₃ (mg/l)	40,04	9,86	39,95	45,9	55,0	85
Gesamtstickstoff TN (mg/l)	10,96	2,43	11,30	12,45	14,17	85
mineral. Stickstoff N _{min} (mg/l)	10,03	2,37	10,24	19,58	23,68	85
chemischer Sauerstoffbedarf CSB (mg/l)	18,0	4,7	16,7	4,69	5,93	85
biochemischer Sauerstoffverbrauch BSB ₅ (mg/l)	4,00	1,48	3,72	1,11	1,39	56
Gesamtphosphor TP (mg/l)	0,29	0,12	0,28	0,36	0,45	68
abfiltrierbare Stoffe AFS (mg/l)	17,13	8,90	16,52	23,28	29,82	16
Fischbestand (kg)	1.828 (1.063 - 2.387)					
Futtermenge (kg/d)	29,3 (20,5 - 47,2)					
NaHCO ₃ (kg/d)	10,6 (4 - 16)					
Verhältnis NaHCO ₃ /Futter	0,38 (0,11 - 0,57)					

Insbesondere die Konzentration des für wasserwirtschaftliche Betrachtungen genutzten mineralischen Stickstoffs (Summe aus NH₄-N, NO₂-N und NO₃-N) des Ablaufwassers ist von Bedeutung, da der überwiegende Teil der Stickstofffracht mit dem Ablaufwasser abgegeben wird. Der Mittelwert von ca. 11 mg/l ist geringer als die Werte in den von RÜMMLER u. a. (2011a) untersuchten Anlagen von 16 und 12 mg/l. Aus den Daten von DALSGAARD u. a. 2013 für die dänischen Anlagen ergibt sich ebenfalls ein Mittelwert vom 10 mg/l.

Phosphor und organische Belastung verlassen die Anlage dagegen überwiegend mit dem Reinigungswasser. Deren Konzentrationen sind mit Mittelwerten von 0,29 mg/l TP, 18 mg/l CSB und 4 mg/l BSB₅ im Ablaufwasser wesentlich geringer als im üblichen Reinigungswasser von Durchfluss- und Kreislaufanlagen (vergl. RÜMMLER u. a. 2012, RÜMMLER 2016b).

Wasserparameter aus anderen teilgeschlossenen Kreislaufanlagen werden unter 2.3.3 angegeben, da die Werte in den Fischhaltungseinrichtungen und im Zulauf zum Biofilter in der Regel identisch oder ähnlich sind und sich durch die geringen Konzentrationsdifferenzen auch von den Auslaufwerten des Biofilters nicht nennenswert unterscheiden.

Insgesamt ergaben die Messungen, dass in den Fischhaltungseinrichtungen der Modulanlage günstige bzw. optimale Wasserparameter für den Fischbestand aufrechterhalten werden konnten und damit die Voraussetzungen für gute Aufzuchtergebnisse geschaffen wurden.

2.3.3 Biofilter

Zur Ermittlung verfahrenstechnischer Daten des Biofilters wurden vier Messkampagnen durchgeführt. In Tab. 3 sind die Mittelwerte der wichtigsten wasserchemischen Konzentrationen und Parameter zusammengefasst. Dabei handelte es sich ebenfalls wieder um Werte bei mehr als 20 kg Futter pro Tag und mehr als einer Tonne Fischbestand.

Die Nitrifikationsvorgänge im Biofilter führten durch die Umwandlung des Ammoniums über die Zwischenstufe Nitrit zu mittleren Nitratkonzentrationen am Auslauf des Filters von 41 mg/l. Als Höchstwerte wurden bei einer Futtergabe von 45 kg 52 und 55 mg/l gemessen.

Verglichen mit den Messwerten von RÜMMLER u. a. (2011a) in zwei teilgeschlossenen Kreislaufanlagen ergaben sich am Auslauf des Biofilters der Modulanlage höhere Ammoniumwerte von 0,61 gegenüber 0,12 bzw. 0,17 mg/l. Die Nitritwerte von 0,55 bzw. 0,42 mg/l und die Nitratwerte von 42,5 bzw. 35,9 mg/l lagen in den beiden Produktionsanlagen in demselben Bereich wie in der Modulanlage mit 0,6 mg/l NO_2 und 41 mg/l NO_3 .

Aus dänischen Produktionsanlagen wurden mittlere NH_4 -Werte von 3,1 mg/l (0,4 - 9,6 mg/l) zusammen mit einem mittleren pH-Wert von 7,8 angegeben (DALSGAARD u. a. 2013). Hier dürften in vielen Fällen NH_3 -Grenzwertüberschreitungen vorliegen. Andere Angaben liegen bei 0,8 - 0,9 mg/l und 1,8 - 2,2 mg/l (SUHR u. PEDERSEN 2010). Der mittlere NO_2 -Wert wurden mit 0,5 mg/l (0,3 - 5,6 mg/l) und der mittlere NO_3 -Wert mit 32 mg/l angegeben (DALSGAARD u. a. 2013).

Beim Durchlaufen des zweistufigen Biofilters der Modulanlage erfolgte eine, wenn auch geringe Konzentrationsreduzierung des Ammoniums (Mittel 0,22 mg/l) und des Nitrits (Mittel 0,04 mg/l). Eine theoretisch zu erwartende Steigerung der Nitratkonzentration ergab sich nicht. Die geringen Konzentrationsveränderungen sind auf die niedrige mittlere Wasserverweilzeit im Biofilter von ca. 7 Minuten zurückzuführen. Es stellt sich infolge der hohen Wasserdurchflüsse erst nach einer Reihe von „Wasserumläufen“ ein Gleichgewicht zwischen erzeugter und abgebauter bzw. umgewandelter Fracht der einzelnen Wasserparameter mit einer entsprechenden Konzentration ein.

Trotz der geringen Höhe der Ammoniumkonzentration im Zulauf zum Biofilter ergibt sich eine mittlere NH_4 -Filtereffizienz von 22,4 %. Die Mittelwerte der vier Messkampagnen reichen von 21 bis 35 %. Die Filtereffizienz wird als Konzentrationsdifferenz zwischen Ein- und Auslauf bezogen auf den Einlaufwert in % definiert (s. a. RÜMMLER 2010c).

Die Nitrifikationsrate, angegeben in $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$, ist einer der wichtigsten Parameter der Biofilter für die Fischproduktion. Für den kombinierten Filter der Modulanlage ergaben sich bei den einzelnen Messkampagnen Mittelwerte von 0,08 - 0,11 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ mit einem Gesamtmittel von 0,09 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$.

Bei den Untersuchungen von RÜMMLER u. a. (2011a) in zwei teilgeschlossenen Kreislaufanlagen, ebenfalls mit kombiniertem Schwebbett/Festbettfilter und denselben Füllkörpern, wurden für die höchsten verabreichten Futtermengen bei Temperaturen von 9,5 - 12,6 °C Nitrifikationsraten von 0,18 $\text{g NH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ und bei 16° C von 0,21 - 0,22 $\text{g NH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ ermittelt.

Für Schwebbettfilter unter Kaltwasserbedingungen der Fischproduktion gaben RUSTEN u. a. (2006) Werte der Nitrifikationsrate im Bereich von 0,4 - 0,5 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ an. TERJESEN u. a. (2013) ermittelten bei 13,6 °C bzw. 14,3 °C und einer Zulaufkonzentration von 0,48 bzw. 0,8 mg/l NH_4 Werte der Nitrifikationsleistung von 0,08 bzw. 0,15 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$.

SUHR und PEDERSEN (2010) führten Untersuchungen mit separaten kleintechnischen Biofiltern durch, die mit dem Wasser aus einer teilgeschlossenen Produktionsanlage gespeist wurden. Die Nitrifikationsrate von zwei Festbettfiltern und zwei Schwebbettfiltern ergab bei NH_4 -Zulaufwerten von 3,7 mg/l und 8 °C Werte von 0,46 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ für die Festbettfilter und 0,27 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ für die Schwebbettfilter.

Bei kleintechnischen Versuchen mit identischen Festbett- und Schwebbettfiltern mit den Füllkörpern, die auch in der Modulanlage eingesetzt wurden, ergaben sich spezifische Nitrifikationsraten von 0,21 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ für die Festbettfilter und 0,16 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ für die Schwebbettfilter sowie Werte der Filtereffizienz von 59 % bzw. 46 % (PEDERSEN u. a. 2015). Die Werte wurden bei Temperaturen von 18 - 19 °C, Zulaufkonzentrationen unter 0,4 mg/l NH_4 und 0,7 mg/l NO_2 sowie einer Wasserverweilzeit von 3,3 Minuten ermittelt.

Die Nitrifikationsraten sind in hohem Maße von den Wasserparametern (NH_4 -Konzentration, CSB- und BSB_5 -Konzentration, Temperatur, pH-Wert, O_2 -Gehalt u. a.), der Art der Füllkörper sowie der Betriebsweise (z. B. Rückspülen, hydraulische Belastung) abhängig (SUHR u. PEDERSEN 2010).

Die große Spannweite der Nitrifikationsraten unter Praxisbedingungen ergibt sich auch unter vergleichbaren Rahmenbedingungen (Filter- und Füllkörperart, Temperatur, Wasserdurchfluss) dadurch, dass die NH_4 -Emissionen der Fische kurzfristigen und längerfristigen zeitlichen Schwankungen unterliegen. Der zeitweise annähernde Gleichgewichtszustand zwischen der abgegebenen Stickstofffracht durch die Fische und der abgebauten bzw. umgewandelten Stickstofffracht im Biofilter zuzüglich der mit dem Ablaufwasser abgeführten N-Fracht stellt sich dadurch immer wieder auf einem neuen Konzentrationsniveau ein, das die Nitrifikationsrate beeinflusst (vergl. HENZE u. a. 2002, RUSTEN u. a. 2006). Der tägliche Rhythmus der NH_4 -Emission der Fische und veränderte Futtergaben sowie gegebenenfalls Rückspülvorgänge sind dabei wichtige Einflussgrößen. Aus diesen Gründen müssen sich Biofilter auch unterschiedlichen Betriebsbedingungen anpassen können. Das erfordert eine Diversität der NH_4 und NO_2 abbauenden Bakterien mit verschiedenen Optima der N-, O_2 - und pH-Werte sowie unterschiedlichen Anforderungen an das Substrat, die Wasserströmung usw.. Festbettfilter werden unter dieser Voraussetzung als geeigneter angesehen als die ideal durchmischten Schwebbettfilter (SUHR u. PEDERSEN 2010). In der Modulanlage wurde den Anforderungen nach diversifizierten Lebensräumen für verschiedene Bakterienkulturen durch den zweifachen Schwebbettfilter und die drei doppelten hintereinander angeordneten Festbettfilter in hohem Maße entsprochen.

Entsprechende Modelle, die die Nitrifikationsrate, die NH_4 -Konzentration, die Filtereffizienz und die hydraulische Belastung beinhalten, gibt es noch nicht, so dass es nicht möglich ist, die wenigen vorliegenden Untersuchungsergebnisse weiter zu verdichten.

Der mittlere pH-Wert in der Modulanlage von 6,8 dürfte keinen Einfluss auf die Nitrifikationsprozesse haben und liegt im Rahmen der von RÜMMLER u. a. (2011a) sowie SUHR und PEDERSEN (2010) angegebenen Werte von 7,02 und 7,05 bzw. 6,7 - 6,9 aus Produktionsanlagen. Dasselbe gilt für die Alkalinität. Allerdings ist das aus dänischen Anlagen angegeben pH-Mittel mit 7,8 höher (DALSGAARD u. a. 2013).

Die Sauerstoffkonzentrationen am Auslauf des Biofilters bzw. im Pumpensumpf der Modulanlage lagen im Mittel immer über 8,0 mg/l (74 % Sättigung bei 12 °C) bzw. nie unter 5 mg/l (47 % Sättigung). Bei der zugrunde gelegten niedrigen spezifischen NH_4 -Abbaurrate von 0,25 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ bzw. dem ermittelten Wert 0,09 $\text{gNH}_4\text{-N/m}^2\text{*d}$ dürfte eine Limitierung der Nitrifikationsleistung durch die Sauerstoffkonzentration daher ausgeschlossen sein (vergl. SUHR u. PEDERSEN 2010, RUSTEN u.a. 2006).

Einen wesentlichen Einfluss auf die Nitrifikationsrate eines Biofilters hat die organische Belastung des Kreislaufwassers in gelöster aber vor allem in partikulärer Form (LEONARD u. a. 2002). Bei hoher organischer Belastung werden die Nitrifikanten durch die schneller wachsenden heterotrophen Bakterien überdeckt und nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Die Folge ist ein drastisches Absinken der Nitrifikationsleistung (s. EDING u. v. WEERD 1999, EDING u. a. 2006, RUSTEN u. a. 2006).

Tab. 3: Mittelwerte der wichtigsten wasserchemischen Konzentrationen und Parameter der vier Messkampagnen zur Untersuchung des Biofilters

Parameter	27.06. - 5.09.13	21.01. - 25.02.14	29.04.2014, 2.07. - 4.08.14	9.04. - 1.07.15	Summe, Mittel	
Anzahl Messtage	8	7	14	9	38	
Anzahl Messungen	26	7	36	18	87	
Futtermenge (kg/d)	20,6 - 33,5	24,5 - 35,3	20,7 - 47,2	22,9 - 44,7		
Fischbestand (kg)	1.078 - 1.876	1.536 - 2.387	1.369 - 2.419	1.439 - 2.290		
Füllkörpervolumen (m ³)	10,47	10,72	10,72	10,27	10,55	
mittlere Temperatur (°C)	12,4	8,6	13,3	11,0	11,3	
O ₂ -Gehalt Pumpensumpf (mg/l)	8,7	9,6	7,2	7,6	8,3	
Durchfluss (m ³ /h)	190	179	195	169	183	
Wasserverweilzeit (h ⁻¹)	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	
pH-Wert	6,64	6,78	6,73	6,93	6,77	
Alkalinität K _{S4,3} (mmol/l)	1,68	2,11	1,98	2,00	1,94	
Ammonium NH ₄	Ablauf (mg/l)	0,37	0,71	0,54	0,81	0,61
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)*	0,18	0,21	0,26	0,21	0,22
	Filtereffizienz NH ₄ (%)	34,5	23,3	31,3	20,6	27,4
	Nitrifikationsrate (gNH ₄ -N/m ² *d)	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09
	Ammoniak (NH ₃) Zulauf (mg/l)	0,0005	0,009	0,001	0,0019	0,0031
Nitrit NO ₂	Auslauf (mg/l)	0,35	0,40	0,94	0,72	0,60
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	0,01	0,02	0,06	0,07	0,04
Nitrat NO ₃	Auslauf (mg/l)	32,7	35,8	52,1	44,0	41,2
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	2,04	0,44	-0,58	0,43	0,58
Gesamt-Stickstoff TN	Auslauf (mg/l)	9,01	9,81	13,04	11,6	10,9
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	0,38	0,19	0,18	0,6	0,34
chemischer Sauerstoffbedarf CSB	Auslauf (mg/l)	13,7	14,8	17,1	18,1	15,93
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	0,61	1,89	2,19	2,63	1,83
biochemischer Sauerstoffverbrauch BSB ₅	Auslauf (mg/l)	3,31	3,30			3,31
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	-0,14	0,59			0,23

Parameter		27.06. - 5.09.13	21.01. - 25.02.14	29.04.2014, 2.07. - 4.08.14	9.04. - 1.07.15	Summe, Mittel
CSB/TN**		1,56	1,64	1,49	1,69	1,59
BSB ₅ /NH ₄ -N**		11,3	5,8			8,54
abfiltrierbare Stoffe AFS (mg/l)	Auslauf (mg/l)	13,6	15,5			14,6
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	-0,32	2,92			1,3
automatischer Bypass		ohne	möglich	möglich	möglich	möglich

*Zulauf - Ablauf, ** Mittel von Zu- und Ablaufwerten

Tab. 4: Mittelwerte der wichtigsten wasserchemischen Konzentrationen und Parameter der vier Messkampagnen zur Untersuchung des Schwebbetfilters und des Festbetfilters

Parameter		27.06. - 5.09.13	21.01. - 25.02.14	29.04.14, 2.07. - 4.08.14	9.04. - 1.07.2015	Summe, Mittel
Anzahl Messtage		5	7	14	9	35
Anzahl Messungen		14	7	36	18	75
Schwabbettfilter						
Wasserverweilzeit (h ⁻¹)		0,033	0,035	0,033	0,038	0,035
Füllkörperoberfläche (m ²)		2.103	2.057	2.057	2.057	2.069
Füllkörpervolumen (m ³)		2,80	2,74	2,74	2,74	2,76
Ammonium NH ₄ (mg/l)	Zulauf (mg/l)	0,65	0,83	0,80	0,83	0,78
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	0,07	0,12	0,12	0,06	0,09
	Filtereffizienz NH ₄ (%)	11,1	11,9	15,0	4,7	10,7
	Nitrifikationsrate (gNH ₄ -N/m ² *d)	0,11	0,20	0,21	0,09	0,15
Festbettfilter						
Wasserverweilzeit (h ⁻¹)		0,073	0,078	0,070	0,081	0,08
Füllkörperoberfläche (m ²)		5.753	5.983	5.983	5.649	5.842
Füllkörpervolumen (m ³)		7,67	7,98	7,98	7,53	7,79
Ammonium NH ₄ (mg/l)	Zulauf (mg/l)	0,57	0,71	0,68	0,77	0,68
	Konzentrationsdifferenz (mg/l)	0,13	0,07	0,14	0,13	0,12
	Filtereffizienz NH ₄ (%)	25,1	10,6	14,6	17,6	17,0
	Nitrifikationsrate (gNH ₄ -N/m ² *d)	0,07	0,04	0,08	0,07	0,07

Während einer Messkampagne wurden auch vor dem Grobfilter Schöpfproben genommen. Die Differenzen zum Einlauf des Biofilters waren für alle Wasserparameter minimal. Das betraf auch die abfiltrierbaren Stoffe. Allerdings wiesen die Differenzen der AFS große Schwankungen in beide Richtungen auf. Auf das Problem der großen Streuungen der Messergebnisse der AFS wurde bereits bei RÜMMLER u. a. (2011b) hingewiesen. Trotzdem hat der Grobfilter eine Wirkung, die an der Färbung des Reinigungswassers beim täglichen Rückspülen sichtbar wird.

Die Mittelwerte der organischen Belastung CSB und BSB₅ von ca. 16 mg/l bzw. 3,3 mg/l am Auslauf des Biofilters der Modulanlage können als relativ niedrig eingestuft werden. Bei den Untersuchungen von RÜMMLER u. a. (2011a) ergaben sich mittlere CSB-Werte von 31 bzw. 28 mg/l. Die BSB₅-Konzentrationen lagen mit einem Mittel von 3,0 bzw. 2,1 mg/l in ähnlicher Größenordnung. Aus dänischen Produktionsanlagen wurden CSB- und BSB₅-Werte im Mittel von 25 mg/l bzw. 4,5 mg/l (DALSGAARD u. a. 2013) sowie von 19 - 23 mg/l und 2,4 - 4,9 mg/l angegeben (SUHR u. PEDERSEN 2010).

Als Orientierung für die einzuhaltende organische Belastung wurde für geschlossene Warmwasser-Kreislaufanlagen ein BSB₅/NH₄-N-Verhältnis im Bereich von 1,8 - ca. 4 bzw. ein CSB/TN-Verhältnis unter 1,0 - 1,3 aufgeführt (EDING u. a. 2006, CHEN u. a. 2006). Diese Verhältnisse wurden in der Modulanlage mit einem CSB/TN-Verhältnis von 1,59 etwas und mit einem BSB₅/NH₄-N-Verhältnis von 8,54 in größerem Umfang überschritten. Bei den Untersuchungen von RÜMMLER u. a. (2011a) ergab sich ein CSB/TN-Verhältnis von 2,0 bzw. 2,4 und infolge der niedrigen NH₄-Konzentrationen extrem hohe BSB₅/NH₄-N-Verhältniswerte. Wahrscheinlich müssen derartige Verhältnisangaben für teilgeschlossene Kreislaufanlagen noch genauer spezifiziert werden.

Für die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe AFS ergibt sich am Auslauf des Biofilters mit einem Mittel von ca. 14,6 mg/l ein geringerer Wert als am Auslauf der Fischhaltungsrinnen von 17,1 mg/l, der auf die Filterwirkung des Festbettfilters schließen lässt.

In Tab. 4 sind die wichtigsten Messergebnisse und Kennwerte der beiden Teile des Biofilters der Modulanlage aufgeführt. Diese getrennte Betrachtung wurde durch die zwischen beiden Filtern entnommenen Wasserproben ermöglicht.

Die Mittelwerte der NH₄-Konzentrationsdifferenz und der NH₄-Filtereffizienz sind für den Festbettfilter etwas höher als für den Schwebbettfilter (0,12 gegenüber 0,09 mg/l bzw. 17 gegenüber 11 %). Allerdings betragen die Filteroberfläche des Festbettfilters das 2,8fache und die Wasserverweilzeit das 2,2fache. Daraus ergibt sich eine ca. doppelt so hohe Nitrifikationsrate im Schwebbettfilter gegenüber dem Festbettfilter (0,15 gegenüber 0,07 gNH₄-N/m²*d).

Diese Verhältnisse lassen darauf schließen, dass ein Teil der Füllkörperoberfläche des Festbettfilters nicht für die Nitrifikation zur Verfügung steht, sondern als mechanischer Filter für die feindispersen Schwebstoffe und den BSB₅-Abbau wirksam wird. Hinzu kommt, dass bei den Messkampagnen in den Jahren 2014 und 2015 der Bypass über der Füllkörperschüttung des Festbettfilters (s. 2.2.5.2) wirksam war und dadurch ein Teil des Wasserstromes nicht über den Festbettfilter geleitet worden sein könnte. Dagegen wird durch den Schwebbettfilter immer der gesamte Kreislaufdurchfluss geführt. Wesentliche Unterschiede der Messergebnisse lassen sich aber zwischen der ersten und den folgenden Messkampagnen nicht erkennen. Hinzu kommt die etwas geringere NH₄-Zulaufkonzentration zum Festbettfilter, die eine geringere Nitrifikationsrate zur Folge hat (vergl. EDING u. v. WEERD 1999, CHEN u. a. 2006, EDING u. a. 2006, RUSTEN u. a. 2006).

Insgesamt liegt die in der Modulanlage ermittelte Nitrifikationsrate des Biofilters im unteren Bereich der wenigen bisher in anderen Anlagen erhobenen Werte. Dafür dürften die niedrige Temperatur, die geringe NH₄-Konzentration, die Funktion des Festbettfilters als mechanische Reinigung und der realisierte Bypass sowie u. U. die geringe Wasseraufenthaltszeit verantwortlich sein. Durch das realisierte Füllkörpervolumen ist der Biofilter aber ausreichend, die NH₄-Emissionen bei hohem Fischhaltebestand und hoher Futtermenge umzuwandeln und optimale bis unkritischen Konzentrationen der fischtoxischen Stickstoffkomponenten Ammoniak und salpetrige Säure zu gewährleisten.

2.4 Produktionstechnologische Zielstellungen und produktionstechnologischer Ablauf

Die beiden Fischhaltungsrinnen werden zeitversetzt mit Setzlingen von ca. 10 g Stückmasse besetzt. Nach durchschnittlich vier Monaten soll die Abfischung von je ca. 1,85 t Satzfishen mit einer mittleren Stückmasse von ca. 100 g erfolgen.

Es wird von einem mittleren Stückmassezuwachs von 2,0 %/d ausgegangen (s. u. und 2.5). Dadurch ergibt sich zum Zeitpunkt der Abfischung der einen Rinne und der Hälfte der Aufzuchtzeit in der zweiten in letzterer ein Fischbestand von 646 kg. Die höchste Bestandsmasse in der Anlage beträgt dadurch 2.496 kg. Da durch Verschiebungen der Satzfishanlieferungen u. ä. eine exakt zeitversetzte Aufzucht nicht möglich ist, wurde eine maximale Bestandsmasse von 3,0 t zugrunde gelegt (s. a. Tab. 1).

Die Besatzstückmasse von 10 g stellt einen als günstig angesehenen Wert dar. Die Satzfishzukaufe werden aber immer um diesen Wert schwanken, wodurch sich eine längere oder kürzere Aufzuchtdauer für die einzelnen Zyklen ergeben wird.

Die Dauer der Aufzuchtzyklen wird daneben noch durch die Wassertemperatur in der Anlage variieren. Obwohl das Grundwasser eine Temperatur von 10 °C besitzt, hat die Wassertemperatur in der Anlage im Sommer durch Wärmeaufnahme einen etwas höheren und im Winter durch Abstrahlungsverluste an die Umgebung einen niedrigeren Wert als das Grundwasser.

Es wurden fünf zeitversetzte Aufzuchtzyklen pro Jahr geplant. Dadurch sind im Verlauf eines Jahres Reserven für kurze Stillstandzeiten einer Rinne und einen kurzzeitigen vollständigen Stillstand der ganzen Anlage für Wartungs- und Reparaturarbeiten berücksichtigt.

Die Endbestandsdichte beträgt ca. 77 kg/m³. Die Verluste wurden mit 10 % angesetzt. Für den Futterquotienten wurde ein Wert von 0,9 kg Futter/kg Zuwachs geplant.

In Tab. 5 wurden die Daten für einen Aufzuchtzyklus in einer Rinne berechnet. Dazu wurden zum einen zwei unterschiedliche Werte des Stückmassezuwachses und zum anderen zwei verschiedene Werte der täglichen Fütterungsrate vorgegeben. Daraus ergibt sich die mittlere Aufzuchtdauer von vier Monaten.

Bei der Durchführung von fünf Aufzuchtzyklen werden pro Jahr ca. 9,25 t und 92,5 Tsd. Satzfish in dem Modul erzeugt. Die Satzfishmasse, die für eine Produktion von ca. 40 t Portionsforellen in der übrigen Rinnenanlage erforderlich ist, liegt geringfügig höher und beträgt 10,0 t und 100 Tsd. Fische. Diese Werte sollten unter Nutzung der vorhandenen Reserven angestrebt werden.

Der Besatz der Rinnen erfolgt über eine Rohrleitung und eine Rutsche vom Transportfahrzeug aus. Nach dem Besatz einer Rinne mit Satzfishen wird der Rinnenzulauf abgesperrt und nur die Grundwassermenge aus der Enteisungsanlage zugeführt. Diese Maßnahme dient der besseren Adaption der Tiere an die veränderten Umweltbedingungen. Nach zwei bis vier Tagen beginnt die erste Fütterung, die je nach Futteraufnahme schnell auf die Nennfütterungsrate erhöht wird.

Zur Bestandsführung durch den Bewirtschafter dient eine EXCEL-Tabelle. In dieser werden, ausgehend von der Bestandsmasse und der Stückzahl beim Besatz, durch Vorgabe der Fütterungsrate und des Futterquotienten sowie unter Berücksichtigung der aufgetretenen Verluste die Bestandsdaten täglich vorausberechnet. Dazu gehören die zu verabreichende Futtermenge, die Bestandsmasse, die Stückzahl und die mittlere Stückmasse.

Durch eine Probewiegung zur Bestimmung der mittleren Stückmasse werden die Werte jede Woche an den aktuellen Bestand angepasst. Der Umfang der Probewiegung beträgt mindestens zweimal 100 Fische.

Die EXCEL-Tabelle ermöglicht auch die aktuelle Verfolgung des Futterquotienten und des Stückmassezuwachses. Entsprechend der Temperatur und der zunehmenden Stückmasse werden vor allem die Fütterungsrate und seltener der Futterquotient angepasst.

Infolge der begrenzten Genauigkeit der Portionierung der Futtermenge (ausgebrachte Futtermasse/Zeiteinheit) durch die Futterautomaten werden die in der EXCEL-Tabelle berechneten täglichen Futtermengen jeden Morgen abgewogen und in die Vorratsbehälter der Automaten gefüllt.

Tab. 5: Wichtigste produktionsbiologische Zielstellungen der Satzfischaufzucht in der Modulanlage

	Berechnung mit vorgegebenem Stückmassezuwachs eine Rinne, ein Zyklus		Berechnung mit vorgegebener Fütterungsrate eine Rinne, ein Zyklus		Mittel eine Rinne, ein Zyklus	gesamte Anlage, 2 Rinnen, Jahresverlauf
	1	1	1	1	1	5
Anzahl der Aufzuchtzyklen						
Besatz						
Masse (kg)	204	204	204	204	204	1.020
Stückmasse (g)	10	10	10	10	10	10
Stückzahl (Stück)	20.350	20.350	20.350	20.350	20.350	101.750
Bestandsdichte (kg/m ³)	8,8	8,8	8,9	8,9	8,9	8,9
Abfischung						
Masse (kg)	1.850	1.850	1.850	1.850	1.850	9.250
Stückmasse (g)	100	100	100	100	100	100
Stückzahl (Stück)	18.500	18.500	18.500	18.500	18.500	92.500
Produktionsdaten						
Produktionsvolumen (m ³)	24	24	24	24	24	48
Endbestandsdichte (kg/m ³)	77	77	77	77	77	77
Zuwachs (kg)	1.647	1.647	1.646	1.646	1.646	8.230
Anlagenauslastung (kg Zuwachs/m ³ /a)						172
Verluste (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Produktionsdauer (d)	115	128	110,3	122,5	119	360
Produktionsdauer (Monate)	3,8	4,3	3,7	4,1	4,0	12
Stückmassezuwachs (%/d)	2,0	1,8			1,9	1,9
Aufwandskriterien - Futter						
Futtermenge (kg)	1.482	1.482	1.482	1.482	1.482	7.410
FQ (kg/Zuwachs)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Fütterungsrate (%/d)			2,0	1,8	1,8	1,8
Fütterungsrate/FQ = Zuwachs/Bestand*d			0,022	0,020	0,21	0,21

Diese taggenaue Verabreichung der berechneten Futtermengen ist eine wesentliche Voraussetzung, um die geplanten Aufzuchtergebnisse und Aufwandskriterien zu erreichen.

Das NaHCO₃-Pulver zur Alkalinitäts- und pH-Stabilisierung in Höhe von 33 - 40 % der verabreichten Futtermenge wird ebenfalls täglich abgewogen und mit Hilfe der Bandfutterautomaten kontinuierliche ausgebracht.

Am Ende des Aufzuchtzyklus erfolgt in der Regel eine erste Abfischung der „Vorwüchser“ bei mittleren Stückmassen der Fische über 80 - 90 g. Diese Fische werden mit Hilfe eines Sortiergitters mit 16 mm lichtem Stababstand am Rinnenende konzentriert. Danach werden die Tiere in einen Tragekübel gekeschert, gewogen und über eine Rutsche mit anschließender Rohrleitung der jeweiligen Rinne in der Rinnenanlage zugeführt. In bestimmten Abständen werden die Fische mit Wasser gewogen und anschließend zur Bestimmung der mittleren Stückmasse aus dem Tragekübel ausgezählt. Die fischgesundheitliche Betreuung erfolgt durch das Landesamt für Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt, Fachbereich 4 - Veterinärmedizin, Stendal.

2.5 Bisherige Aufzuchtergebnisse

In Tab. 6 sind die bisherigen Aufzuchtergebnisse zusammengefasst. Es wurden zehn Aufzuchtzyklen durchgeführt.

Für die Berücksichtigung der Fischverluste bei der Aufzucht gibt es zwei Möglichkeiten.

Zum einen wird die Differenz zwischen Besatz- und Abfischungsstückzahl zur Verlustberechnung genutzt. Generell können aber die Besatzstückzahlen größere Ungenauigkeiten aufweisen, da sie aus der Satzfishmasse und wenigen Probewiegungen ermittelt werden.

Ein anderer Weg besteht darin, die Besatzstückzahl aus dem genaueren Abfischungsergebnis und den dokumentierten Verlusten zu bestimmen. Auch hierbei können die ermittelte Abfischungsstückzahl und die Anzahl der abgesammelten toten Fische Ungenauigkeiten aufweisen. Trotzdem wird diese Vorgehensweise als die genauere angesehen. Es wird daher nach der Abfischung eine Korrektur der Besatzstückzahl und der Besatzstückmasse vorgenommen. In der Regel verringert sich die Besatzstückzahl dabei und die mittlere Besatzstückmasse wird etwas größer. In Tab. 6 sind die Produktions- und Aufwandsdaten auf dieser Basis dargestellt und berechnet.

Die mittlere Besatzstückmasse der bisherigen Aufzuchtzyklen (ohne Zyklus 7) betrug 9,8 g. Meist lag die Besatzstückmasse unter 10 g, wodurch sich vor allem im Winterhalbjahr eine längere Produktionsdauer ergab. Insbesondere die Sommerzyklen 2, 5 und 6 verdeutlichen diesen Unterschied. Die mittlere Aufzuchtdauer bis zu Stückmassen von ca. 100 g lag bei 123 Tagen bzw. 4,1 Monaten. Der Mittelwert der maximalen Aufzuchtdauer, d. h. die Belegungsdauer der betreffenden Rinne betrug 128 Tage bzw. 4,25 Monate. Die geplante Durchführung von fünf Aufzuchtzyklen pro Jahr ist damit realisierbar. Bei Besatzstückmassen von 10 g oder geringfügig darüber würde sich dieser Zeitraum weiter verkürzen. Allerdings lassen sich die Satzfishlieferungen nicht immer exakt auf die Bedürfnisse der Modulanlage abstimmen.

In Tab. 6 sind die Zyklen 1 und 2, die vor dem Umbau der Anlage zur Abdeckung bzw. zum Ersatz der verzinkten Stahlteile durchgeführt wurden, grau hinterlegt. Wesentliches Kennzeichen dieser Produktionsperioden sind die sehr hohen Verluste.

Am Ende des Produktionszyklus 6 konnten durch den Satzfisherzeuger aus betrieblichen Gründen keine Satzfish für den nächsten Zyklus geliefert werden. Aus diesem Grund wurde ein Teil des Bestandes aus der Rinne entnommen und die verbliebenen Fische weiter aufgezogen (Zyklus 7). Es erfolgte eine mehrmalige Abschöpfung des Zuwachses bis Fische mit Speisefischgröße von 363 g abgefischt wurden.

Der Zyklus 10 wurde frühzeitig bei einer mittleren Stückmasse von 62 g abgefischt. Nach einer erneuten kurzen Stilllegungsphase zur Realisierung der letzten Umbauten am Biofilter Anfang des Jahres 2015 wurden anschließend beide Rinnen wieder besetzt.

Tab. 6: Bisherige Aufzuchtergebnisse in der Modulanlage (graue Zellen - Produktionszyklen vor Umbau der Anlage) (1)

Produktionsperiode (Aufzuchtzyklus)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel bzw. Summe /Jahr¹
Rinne	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	
Datum	13.3. - 24.7.13	31.5.- 11.9.13	14.11. - 3.4.14	09.1. - 22.5.14	10.4.- 7.8.14	27.5. - 27.8.14	28.8.14 - 15.1.15	12.8.14 - 15.1.15	15.2.15 - 19.7.15	25.2.15 - 7.5.15	
Dauer (d)	133	96	122 (105 - 139)	125 (118 - 132)	111 (104 - 118)	92	139	155	146 (137 - 155)	72	123² (128^{2,3})
Dauer (Monate)	4,3	3,1	4,1 (3,5 - 4,6)	4,2 (3,9 - 4,4)	3,7 (3,5 - 3,9)	3,1	4,6	5,2	4,9 (4,6 - 5,2)	2,3	4,1² (4,25^{2,3})
Besatz:											
Masse (kg)	200	241	384	178	114	200	687	155	165,6	320	
mittlere Stückmasse (g)	6,6	8,1	16,1	8,9	6,4	10,2	75,7	7,2	8,1	16,9	9,8⁴
Anzahl (Stück)	30.303	29.753	23.794	20.066	17.818	19.631	9.075	21.573	20.372	18.981	
Abfischung:											
Masse (kg)	1.272	1.862	2.413	2.010	1.573	1.765	2.541	1.742	1.483	1.166	9.828⁵
mittlere Stückmasse (g)	109	106	114	111	102	91	291	106	102	62	
Anzahl (Stück)	11.723	17.494	21.101	18.040	15.495	19.439	8.735	16.599	14.534	18.700	

¹ Anzahl der Produktionstage, ² ohne Zyklen 7 und 10, ³ Mittel maximale Zyklusdauer, ⁴ ohne Zyklus 7, ⁵ Abfischungsmasse pro Jahr (Abfischungsmasse der Zyklen 3 - 6 und 8 und 9 mit 128 Tagen maximaler Produktionsdauer und 4 Tagen Stillstandzeit der Rinnen zwischen zwei Zyklen bezogen auf ein Jahr)

Tab. 6: Bisherige Aufzuchtergebnisse in der Modulanlage (graue Zellen - Produktionszyklen vor Umbau der Anlage) (2)

Produktionsperiode (Aufzucht-zyklus)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel bzw. Summe /Jahr ¹
Aufwands- u. Produktionsdaten:											
Verluste (Stück)	18.580	12.259	2.693	2.026	2.323	556	340	4.974	5.838	281	
Verluste (%)	61,31	41,20	11,3	10,1	13,0	2,8	3,8	23,1	28,7	1,5	11,8
Futtermenge (kg)	996	1.327	2.092	1.587	1.198	1.451	1.731	1.590	1.597	979	8.512⁶
Fischbestandszuwachs (kg)	1.072	1.621	2.029	1.832	1.459	1.565	1.853	1.587	1.317	846	8.758⁶
Futterquotient (kg/kg Zuwachs)	0,93	0,82	1,03	0,87	0,82	0,93	0,93	1,00	1,21	1,16	0,99
mittlere Futtermenge/Bestand*d (%/d)	2,0 - 1,3	2,3 - 1,7	2,0 - 1,3	2,0 - 1,75	2,5 - 2,0	2,5 - 2,0	2,0 - 0,9	3,0 - 1,25	2,5 - 1,75	2,5 - 1,70	2,5 - 1,70⁷
mittlerer Stückmassezuwachs (%/d)	2,11	2,68	1,60	2,02	2,49	2,38	0,97	1,74	1,73	1,82	1,97⁸
Endbestandsdichte (kg/m ³)	55,3	81,0	78,8	74,2	65,1	73,6	63,9	72,6	64,7	48,6	67,7
Zuwachs/Anlagenvolumen (kg/m ³ /a)	128,0	268,0	222,0	211,1	188,0	258,7	202,8	155,7	129,2	178,6	191,9
Satzfischaufwand (kg/kg Zuwachs)	0,19	0,15	0,19	0,10	0,08	0,13	0,37	0,10	0,13	0,38	0,12²
NaHCO ₃ -Verbrauch (kg):	0	478,7	723,3	591,7	540,1	429,8	519,3	599,0	871,5	274,0	3.360
NaHCO ₃ -Verbrauch/Zuwachs (kg/kg Zuwachs)	0,00	0,30	0,36	0,32	0,37	0,27	0,28	0,38	0,66	0,32	0,37
Elektroenergieverbrauch (kWh)	6.493	4.259	5.990	5.009	3.775	3.086	5.134	5.765	5.072	2.321	25.673⁶
Elektroenergieverbrauch/Zuwachs (kWh/kg Zuwachs)	6,05	2,63	2,95	2,73	2,59	1,97	2,77	3,63	3,85	2,74	2,91
mittlere Temperatur (°C)	11,2	12,9	8,9	9,9	12,3	12,8	9,9	10,2	10,7	9,6	10,8
Sauerstoffverbrauch (kg)						1.168	1.083	1.315	2.537	1.095	8.301⁹
Sauerstoffverbrauch/Zuwachs (kgO ₂ /kg Zuwachs)						0,75	0,58	0,83	1,93	1,29	1,08

⁶ Wert pro Jahr (Abfischungsmasse der Zyklen 3 - 6 und 8 und 9 mit 128 Tagen maximaler Produktionsdauer und 4 Wartungstagen zwischen jedem Zyklus bezogen auf ein Jahr), ⁷ häufigster Bereich, ⁸ ohne Zyklus 7, ⁹ Zyklus 6 - 10 und 4 Wartungstage zwischen jedem Zyklus

Für die Endbestandsmasse in beiden Rinnen ist die Anlage nicht ausgelegt. Um den zeitversetzten Produktionsablauf nach der Stilllegung wieder zu erreichen, erfolgte eine vorzeitige Abfischung von Rinne 2 am 7.05.2015.

Die Verluste der einzelnen Zyklen waren sehr unterschiedlich. Für die Zyklen 3 bis 10 ergab sich ein Mittelwert von 11,8 %, der im Bereich der geplanten Verlusthöhe liegt.

Beim Zyklus 3 traten unmittelbar nach dem Besatz erhöhte Verluste auf, die ca. 10 % der Gesamtstückzahl der besetzten Fische ausmachten. Die Verluste können auf Adaptionsprobleme an die neuen Haltungsbedingungen zurückgeführt werden, deren konkrete Ursache sich aber nicht ermitteln ließ. In der Folgezeit wurde daher die unter 2.4 beschriebene Vorgehensweise zur vorübergehend veränderten Wasserführung nach dem Besatz vorgenommen.

Trotzdem kam es beim folgenden Zyklus 4 nach ca. einem Monat zu einer ca. einen Monat dauernden Phase mit erhöhten Verlusten von ca. 50 Tieren pro Tag und vereinzelt auch mehr. Die Gesamtverluste lagen aber nur bei ca. 10 %. Auch hier ließen sich die Ursachen nicht ermitteln.

Während des Zyklus 5 betrugen die Verluste 13 %. Die (korrigierte) Besatzstückmasse war mit 6,4 g sehr gering. Infolge der vorhandenen Streuungen der individuellen Stückmasse konnten viele kleinere Fische die Zulauf- und wahrscheinlich auch die Ablaufgitter passieren und befanden sich in verschiedenen Anlagenteilen. Es wurden daher für die Zeitabschnitte unmittelbar nach dem Besatz austauschbare Zulaufgitter zu den Rinnen mit 8 mm Maschenweite angefertigt. Etwas höhere dokumentierte Verluste traten aus ungeklärter Ursache zwischen dem 23 und 28 Produktionstag und als Folge der zwischenzeitlichen Abfischung und Vakzinierung gegen die Rotmaulkrankheit auf.

Beim Zyklus 6 waren die Verluste mit 2,8 % sehr gering. Dasselbe gilt für die anschließende Aufzucht bis zur Speisefischgröße.

Im 8. Zyklus traten erhöhte Verluste von 23 % insbesondere durch einen hochgradigen Parasitenbefall mit *Ichthyophthirius multifiliis* auf. Als therapeutische Maßnahmen wurden Bäder zur Wasserhygienisierung mit Wofasteril E 400 durchgeführt.

Der 9. Zyklus wies wiederum höhere Verluste von 29 % auf, die auf eine Verlustperiode ca. 2,5 Monate nach dem Besatz zurückzuführen sind. Als Ursache kommt eine Vergiftung infolge eines Bades mit Formalin in Frage, das überlagert war.

Während des 10. Zyklus traten nur geringe Verluste von 1,5 % auf.

Der Futterquotient lag im Mittel bei 0,99 kg Futter/kg Zuwachs. Der geplante Wert von 0,90 kg Futter/kg Zuwachs wurde in mehreren Zyklen erreicht. Insbesondere bei den Zyklen mit Verlusten über den geplanten 10 % kommt es zu einer schlechteren Futtermittelverwertung.

Die Hauptursache für eine schlechtere Futtermittelverwertung war die Verabreichung einer nicht richtig an die Futteraufnahme der Fische angepassten Futtermenge.

Der mittlere Stückmassezuwachs der bisherigen 10 Zyklen lag bei ca. 2 %/d. Der in Tab. 5 veranschlagte Wert konnte damit erreicht werden. Allerdings erfordert diese hohe Zuwachsrate entsprechend hohe Fütterungsraten. Die häufigsten Werte der Fütterungsrate lagen im Bereich von 2,5 % am Anfang und 1,7 %/d am Ende der Aufzucht.

Dabei muss zusätzlich der Einfluss der Wassertemperatur berücksichtigt werden. Die mittlere Wassertemperatur der bisherigen 10 Zyklen betrug 10,8 °C. Die Mittelwerte der einzelnen Zyklen reichten je nach Jahreszeit von 8,9 bis 12,9 °C.

Der Mittelwert aller bisherigen, jeden Tag abgelesenen und aufgezeichneten Temperaturwerte ab 13.03.2013 beträgt 10,7 °C. Die Standardabweichung reicht von 8,5 - 12,9 °C, die kurzzeitig aufgetretenen niedrigsten Werte lagen bei 6,5 °C und die höchsten Werte bei 15,0 °C.

Die 14tägigen Mittelwerte unterschritten im Winter 2013/2014 nur geringfügig 8 °C und lagen im Winter 2014/2015 über 7 °C (Abb. 2). Im Sommer lagen die 14tägigen Mittelwerte immer unter 14 °C. Der Temperaturvorteil durch den Grundwassereinsatz in der Modulanlage gegenüber der Nutzung von Oberflächenwasser in der Durchflussanlage ist anhand von Abb. 2 sichtbar.

In den Fütterungsempfehlungen für das eingesetzte Futter werden für den Temperaturbereich von 8 - 12 °C bei einer Stückmasse von 15 - 60 g Fütterungsraten von 1,2 - 1,6 %/d angegeben. Die Veränderungen in Abhängigkeit von der Temperatur liegen bei ca. 0,1 %/°C.

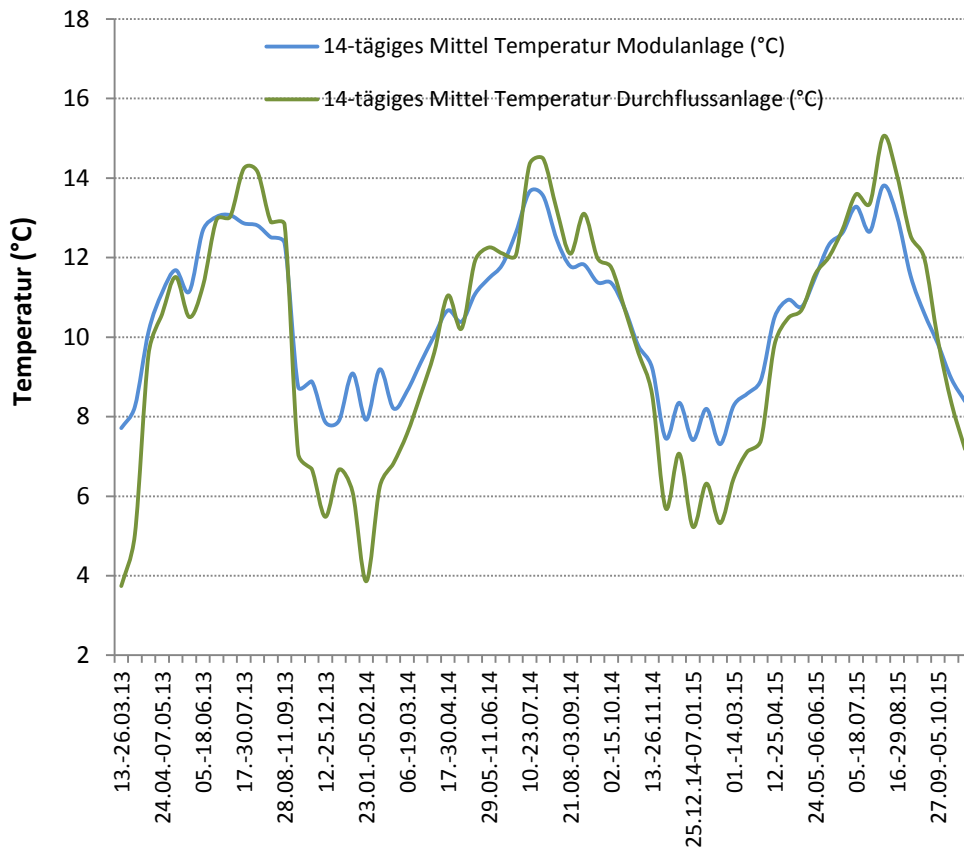


Abb. 2: 14-tägiges Mittel der Wassertemperatur in der Modulanlage mit Grundwasserspeisung und in der Durchflussanlage mit Oberflächenwasserzufluss

Um die geplante hohe Zuwachsleistung und eine gute Futtermittelverwertung zu erreichen, müssen Hochenergiefuttermittel mit optimiertem Energie/Protein-Verhältnis eingesetzt werden. Das genutzte Futter besitzt für die beiden hauptsächlich eingesetzten Körnungen von 2,5 mm und 4 mm eine verdauliche Energie von 20,6 - 20,9 MJ/kg. Der Rohproteingehalt liegt bei 43,5 - 44,5 % und der Rohfettgehalt beträgt 25,0 - 25,5 %.

In der Modulanlage müssen aus ökonomischen Gründen hohe aber an die Futteraufnahme der Fische angepasste Fütterungsraten realisiert werden. Dabei muss die verabreichte Futtermenge vollständig durch die Fische aufgenommen werden.

Eine nicht richtig an die Futteraufnahme der Fische angepasste Futtermenge kann vor allem auf fischgesundheitliche Probleme oder veränderte Umwelt- und Bewirtschaftungsbedingungen zurückzuführen sein. Die Folge sind Ablagerungen von nicht aufgenommenem Futter, in erster Linie auf dem Boden der Rinnen. Neben der verschlechterten Futterverwertung kommt es dadurch auch zu Abbauprozessen der organischen Substanz, die zur Emission von NH_4 , CH_4 bis zu H_2S führen können und daneben das Besiedelungssubstrat für die Vermehrung ubiquitärer Bakterien, Erreger und Parasiten bilden, die weitere gesundheitliche Beeinträchtigungen der Fische hervorrufen können.

Zu gleichen Effekten kann die mangelnde Reinigung der Anlage führen. In Kreislaufanlagen ist eine ständige Entfernung der sich am Boden aller Anlagenteile sowie in strömungsberuhigten Zonen ablagernden organischen Substanz eine Grundvoraussetzung für die Gewährleistung günstiger Haltungsbedingungen für die Fische.

Das Auftreten einer verminderten Fressbereitschaft der Fische und erhöhter Verluste nach der Sichtung abgelagerter Futterreste oder Verunreinigungen wurde in der Modulanlage mehrfach festgestellt. Es

macht sich daher eine häufige Beobachtung der Futteraufnahme und eine Kontrolle möglicher Ablagerungen von nicht gefressenem Futter und Schlamm insbesondere auf dem Boden der beiden Fischhaltungsrinnen erforderlich.

Die Abfischungsmasse überstieg bei mehreren Zyklen den geplanten Wert von 1,85 t (Zyklus 2, 3, 4). Dasselbe gilt parallel für die Endbestandsdichte von 77 kg/m³ und die Anlagenauslastung mit ca. 192 kg Zuwachs/m³ Fischhaltungsvolumen und Jahr. Geringere Werte sind vor allem auf die Besatzstückzahl und das Verlustgeschehen zurückzuführen.

Die Bestandsmasse zum Abfischungszeitpunkt einer Rinne lag ohne die Zyklen 1 und 2 im Mittel bei 2.340 kg. Der erreichte Maximalwert betrug 2.926 kg.

Werden ein Mittelwert der maximalen Zyklusdauer (Belegungszeit der jeweiligen Rinne) von 128 Tagen bzw. 4,25 Monaten und vier Wartungstage zwischen zwei Zyklen zugrunde gelegt, so ergibt sich aus den bisherigen Daten der Zyklen 3 - 6 sowie 8 und 9 eine mittlere jährliche Abfischungsmasse von 9,828 t. Der Wert in Tab. 5 von 9,25 t Satzische im Jahr wurde damit überschritten und die für die Versorgung der übrigen Rinnenanlage anzustrebende Satzische Masse von 10 t pro Jahr erscheint erreichbar. Zum einen kann durch eine geringfügige Erhöhung der Stückmasse der besetzten Fische der Produktionszyklus verkürzt werden. Zum anderen bestehen Potenziale bei der Verringerung der Verluste. Diese drücken sich auch im Satzische Aufwand aus, der im Mittel 0,12 kg/kg Zuwachs betrug.

Als Aufwandkennwerte sind neben dem Futterquotienten und dem Satzische Aufwand vor allem der notwendige Einsatz an Elektroenergie, technischem Sauerstoff und alkalischen Chemikalien von Bedeutung. Der Einsatz von Desinfektionsmitteln wird infolge des zeitlich sehr unterschiedlichen Einsatzes nicht betrachtet, sondern nur als Pauschale in der ökonomischen Rechnung berücksichtigt.

Der Elektroenergieverbrauch wird durch tägliches Ablesen und Dokumentation des Standes des Wirkleistungszählers erfasst. Die Ermittlung des Sauerstoffverbrauches erfolgte mit Hilfe eines O₂-Massetdurdurchflussmessers mit summierender Funktion. Der O₂-Verbrauch wird ebenfalls durch tägliches Ablesen und Dokumentation des O₂-Massetwertes erfasst. Der Einbau dieses Gerätes erfolgte erst im Mai 2014. Der Verbrauch an Natrium-Hydrogenkarbonat wurde durch Summation der täglich abgewogenen und dokumentierten NaHCO₃-Mengen ermittelt.

Der Elektroenergieverbrauch betrug im Mittel 2,91 kWh/kg Zuwachs. Die mittlere Anschlussleistung der Modulanlage lag bei 2,93 kW und der Jahresverbrauch unter Zugrundelegung von 128 Tagen pro Zyklus und entsprechenden Wartungstagen 25.673 kWh. Der Elektroenergieverbrauch liegt damit im Bereich der grundsätzlich erwarteten Werte, die sich schwer im Voraus kalkulieren ließen.

Für den durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch ergab sich ein Wert von 1,08 kgO₂/kg Zuwachs. Der mittlere O₂-Massetstrom betrug 0,49 kg/h und der Jahresverbrauch unter Berücksichtigung von 4 Wartungstagen pro Zyklus 8.301 kg.

Der für die Atmung der Fische erforderliche Sauerstoffverbrauch lässt sich auf der Basis des spezifischen Sauerstoffverbrauches, der Fütterungsrate und des FQ überschlagen. Bei einem spezifischen Sauerstoffverbrauch von ca. 300 gO₂/t*h, einer Fütterungsrate von 1,7 % bei der höchsten Fischbestandsmasse und einem FQ von 1,0 kg Futter/kg Zuwachs ergibt sich ein Wert von 350 gO₂/t*h * 24 h/d / 17 kg Futter/t*d / 1,0 kg Futter/kg Zuwachs = 495 gO₂/kg Zuwachs. Hinzu kommt der Sauerstoffbedarf für den Biofilter, der bei einer Ammoniumexkretion von ca. 43 gNH₄-N/kg Zuwachs (bei den angegebenen Werten des Rohproteingehaltes und des FQ) 43 gNH₄-N/kg Zuwachs * 4,57 gO₂/g NH₄-N = ca. 197 gO₂/kg Zuwachs beträgt. Damit ergibt sich ein theoretischer O₂-Verbrauchswert von ca. 700 gO₂/kg Zuwachs.

Das höhere Mittel der gemessenen Werte dürfte seine Ursache zum einen in der Ungenauigkeit des zugrunde gelegten spezifischen Sauerstoffverbrauches haben. Zum anderen sind Verluste beim Sauerstoffeintrag durch die O₂-Niederdruckbegaser und durch die begrenzten Anpassungsmöglichkeiten des augenblicklichen O₂-Eintrags an den aktuellen O₂-Bedarf nicht zu vermeiden. Letztere werden durch die an den Schwebkegel-Durchflussmessern eingestellten Werte und die automatische Regelung beeinflusst. Die Regelung arbeitet erst ab Juni 2015 zufriedenstellend, nachdem die Auslaufströmung der beiden Begaser auf die Rinnenzuläufe ausgerichtet wurde. Es ergeben sich daher noch Möglichkeiten, den spezifischen Sauerstoffverbrauch zu verbessern.

Bisher wurden pro Produktionsjahr 3.360 kg NaHCO₃ bzw. 0,37 kg NaHCO₃/kg Zuwachs eingesetzt. Das entspricht ca. 38 % der täglichen Futtermenge. Zur Stabilisierung der wasserchemischen Verhältnisse sollte dieser Wert beibehalten bzw. bei hoher Anlagenauslastung noch etwas gesteigert werden.

2.6 Ökonomische Betrachtungen

In Tab. 7 wurde eine Deckungsbeitragsrechnung I unter Nutzung der bisherigen Produktionsdaten und Aufwandsgrößen sowie mit den durch den Bewirtschafter der Modulanlage zu zahlenden Preise für Satzfische, Futter, Personal, Energie, Sauerstoff und Natrium-Hydrogenkarbonat vorgenommen.

Es wird deutlich, dass bei einem Abgabepreis der Fische von 5,00 €/kg ein geringer Deckungsbeitrag erwirtschaftet wird.

Zur Verbesserung des Deckungsbeitrages würden bereits geringe Kostenverringerungen, insbesondere der drei wichtigsten Positionen Satzfishkosten, Futterkosten und Personalkosten beitragen.

Den größten Spielraum dürfte die höchste Position, die Satzfishkosten, besitzen. Bei der Menge von über 100.000 Tsd. Fischen pro Jahr erscheinen Preise um 0,1 €/pro Satzfish verhandelbar. Es bleibt jedoch das Problem der Satzfishqualität. Ein niedriger Satzfishpreis und damit verbunden u. U. eine schlechtere Satzfishqualität könnten zu höheren Verlusten bei der Aufzucht führen und sich damit als kontraproduktiv herausstellen.

Beim bisherigen Betrieb der Modulanlage traten noch eine Reihe von Problemen auf, die die Anlagentechnik, die Bewirtschaftung und die Fischgesundheit betrafen.

Durch die vorgenommenen Veränderungen in der Anlage und die sich weiter verbessernde Erfahrung des Bewirtschafters lassen sich diese schrittweise abbauen. Dieser Prozess wird mit einer weiteren Verbesserung der noch nicht optimalen Aufzucht kennwerte verbunden sein.

Vor diesem Hintergrund wurden die in Tab. 8 aufgeführten Produktions- und Aufwandskennwerte für eine weitere Deckungsbeitragsrechnung in Tab. 9 genutzt.

Ein in der Tierproduktion oft zugrunde gelegter Risikofaktor von einem Totalausfall alle zehn Jahre wurde noch nicht berücksichtigt. Der finanzielle Verlust durch Totalverlust in der Anlage zum Zeitpunkt des Erreichens des Endbestandes einer Rinne würden 14.340 € betragen und einem Risikoansatz von 1.434 € entsprechen.

Von dem in Tab. 7, 8 und 9 berechneten Deckungsbeitrag I müssen die fixen Kosten, d. h. die produktfixen Kosten (Deckungsbeitrag II) und die allgemeinen bzw. unternehmensfixen Kosten abgezogen werden, um das Betriebsergebnis zu erhalten.

Die produktfixen Kosten werden in erster Linie durch die Abschreibungen gebildet. Wird die 100 %ige Förderung der Modulanlage als Eigenmittel betrachtet, so kann auf die Berücksichtigung des Kapitaldienstes im vorliegenden Beispiel verzichtet werden.

Die Kosten für eine gegebenenfalls weitere Anlage werden aufgrund der vorliegenden Projektierungsunterlagen und der Erfahrungen zur Anlagengestaltung auf ca. 80 Tsd. € geschätzt.

Bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren (hoher Anteil elektrischer Betriebsmittel und Elektronik) würden sich Abschreibungen bzw. AfA (Absetzungen für Abnutzung) von 10 Tsd. €/pro Jahr ergeben.

Ein nachhaltiger Betrieb dieser Anlagen unter Abzug der Abschreibungen bzw. AfA zur Bildung der Anschaffungs- und Herstellungskosten wäre demnach nicht möglich.

Würden als andere Variante die Abschreibungen nicht berücksichtigt und der Wertverfall bzw. der technische Verfall durch erhöhte Wartungskosten hinausgezögert und stattdessen nur der Neubau einer Anlage unter Einbeziehung einer 50 %ige Förderung (40 Tsd. €), 25 % Fremdkapital (20 Tsd. €) und 25 % Eigenanteil (20 Tsd. €) berücksichtigt, so ergäbe sich eine anfängliche Belastung durch den Kapitaldienst von ca. 1.000 € (Zinsen und anfängliche Tilgung 5 %/a), die bei entsprechenden Erlösen u. U. realisierbar wären.

Tab. 7: Deckungsbeitragsrechnung I mit den bisherigen Produktions- und Aufwandsdaten

Kennwert		Wert
Leistung		
Abfischungsmasse	kg/a	9.828
Erlöse spezifisch	€/kg	5,0
Leistung	€/a	49.140
variable Kosten		
Besatzkosten		
Stückverluste	%	11,8
mittlere Besatzstückmasse	g	9,8
Besatzstückzahl	Stück/a	111.429
Besatzmasse	kg/a	1.114
Kosten Satzfiſche spezifisch	€/Stück	0,12
Kosten Satzfiſche	€/a	13.371
Futterkosten		
Futterquotient	kg Futter/kg Zuwachs	0,99
Zuwachs	kg/a	8.714
Futtermenge	kg/a	8.627
Kosten Futter spezifisch	€/kg	1,515
Kosten Futter	€/a	13.069
Elektroenergiekosten:		
Elektroenergieverbrauch	kWh/a	25.673
Elektroenergiekosten spezifisch	€/kWh	0,24
Elektroenergiekosten	€/a	6.162
Sauerstoffkosten:		
Sauerstoffverbrauch	kg/a	8.301
Sauerstoffkosten spezifisch	€/kg	0,23
Sauerstoffkosten	€/a	1.923
Kosten alkalische Chemikalien:		
NaHCO ₃ -Verbrauch	kg/a	3.360
NaHCO ₃ -Kosten spezifisch	€/kg	0,6
NaHCO₃-Kosten/a	€	2.016
Personalkosten		
Personalaufwand	h/d	1,0
Personalaufwand	h/a	365
Personalkosten spezifisch	€/h	30
Personalkosten	€/a	10.950
Wartungen + Reparaturen	€/a	0
Arzneimittel, Desinfektion, fiſchgesundheitliche Betreuung	€/a	500
Summe variable Kosten	€/a	47.991
Deckungsbeitrag	€/a	1.148

Tab. 8: Werte der Produktions- und Aufwandskennziffern nach weiteren Verbesserungen (Zeitraum ein Jahr)

Kennwert	Wert
Abfischungsmasse (kg/a)	10.000
Abfischungsstückmasse (g)	100
Abfischungsstückzahl (Stück/a)	100.000
Verluste (%)	10
Besatzstückzahl (Stück/a)	111.111
Besatzstückmasse (g)	10
Besatzmasse (kg/a)	1.111
Zuwachs (kg/a)	8.889
Futterquotient (kg/kg Zuwachs)	0,90
Futtermenge (kg/a)	8.000
spez. Elektroenergieverbrauch (kWh/kg Zuwachs)	2,91
Elektroenergieverbrauch (kWh/a)	25.867
spez. Sauerstoffverbrauch (kgO ₂ /kg Zuwachs)	1,0
Sauerstoffverbrauch (kg/a)	8.889
spez. NaHCO ₃ -Einsatz (kg/kg Futter)	0,4
NaHCO ₃ -Einsatz (kg/a)	3.200
spez. Personaleinsatz (h/d)	1,0
Personaleinsatz (h/a)	365

Insgesamt zeigen die Berechnungen, dass eine ökonomische Betriebsweise prinzipiell möglich aber angespannt ist. Eine Berücksichtigung von Investitionskosten ist nur über den Weg der Investitionsförderung z. B. mit 50 % aus dem EMFF (Europäischer Meeres und Fischerei Fonds) möglich. Diese Situation ist aber für die gesamte Branche und insbesondere kleiner Anlagen zutreffend.

Eine derartige Anlage zur Satzfischaufzucht hat aber den Vorteil, dass die Gesamtaufwendungen durch die Anlagengröße begrenzt sind und sich durch die Satzfischaufzucht unter optimierten Bedingungen ein wesentlicher Wachstumsschub und eine Stabilisierung der anschließenden Mast bis zum Speisefisch ergeben kann.

Tab. 9: Deckungsbeitragsrechnung I mit verbesserten Produktions- und Aufwandskennziffern und verringerten Satzfishkosten

Kennwert		Wert
Leistung		
Abfischungsmasse	kg/a	10.000
Erlöse spezifisch	€/kg	5,0
Leistung	€/a	50.000
variable Kosten		
Besatzkosten		
Besatzstückzahl	Stück/a	111.111
Kosten Satzfish spezifisch	€/Stück	0,10
Kosten Satzfish	€/a	11.111
Futterkosten		
Futtermenge	kg/a	8.000
Kosten Futter spezifisch	€/kg	1,515
Kosten Futter	€/a	13.333
Elektroenergiekosten:		
Elektroenergieverbrauch	kWh/a	25.867
Elektroenergiekosten spezifisch	€/kWh	0,24
Elektroenergiekosten	€/a	6.208
Sauerstoffkosten:		
Sauerstoffverbrauch	kg/a	8.889
Sauerstoffkosten spezifisch	€/kg	0,23
Sauerstoffkosten	€/a	2.059
Kosten alkalische Chemikalien:		
NaHCO ₃ -Verbrauch	kg/a	3.200
NaHCO ₃ -Kosten spezifisch	€/kg	0,6
NaHCO₃-Kosten/a	€	1.920
Personalkosten		
Personalaufwand	h/a	365
Personalkosten spezifisch	€/h	30
Personalkosten	€/a	10.950
Wartungen + Reparaturen	€/a	500
Arzneimittel, Desinfektion, fischgesundheitliche Betreuung	€/a	500
Summe variable Kosten	€/a	47.591
Deckungsbeitrag	€/a	2.409

3. Fazit

Die Forellenproduktion ist der Zweig der deutschen Fischproduktion mit dem höchsten Aufkommen. Die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. die Schaffung der ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer wird dazu führen, dass für die Forellenaufzucht langfristig geringere Wassermengen verfügbar sein werden.

Teilgeschlossene Kaltwasser-Kreislaufanlagen stellen eine neue Anlagentechnologie für die Forellenproduktion dar, die mit weniger Frischwasser auskommt und geringere Emissionen in die Vorflut ermöglicht.

Da insbesondere in Ostdeutschland ein Anlagenneubau in den wenigsten Fällen in Frage kommt, wurde in dem durchgeführten Projekt ein Konzept verfolgt, bei dem ein Modul einer teilgeschlossenen Kreislaufanlage durch den Umbau mehrerer Rinnen in einer bestehenden Betonrinnenanlage errichtet und erprobt wurde.

Die Modulanlage wurde in der Forellentrinnenanlage Thießen in Sachsen-Anhalt errichtet und betrieben. Projektpartner des IfB und Bewirtschafter der Anlage ist die Fischzucht Ehrmann.

Durch die Arbeit mit einer geringen Grundwassermenge ermöglichen derartige Anlagen eine wassersparende Betriebsweise unabhängig von Oberflächengewässern, einen günstigeren Temperaturgang für die Forellenaufzucht, eine seuchenbiologische Trennung von der fließenden Welle sowie optimierte Wasserparameter für die Fischhaltung.

Für die Erprobung der Anlage wurde auf die Erzeugung von Satzfishen orientiert. Die Satzfishproduktion besitzt bessere ökonomische Voraussetzungen und erfordert begrenzte Aufwendungen. Durch die Satzfishaufzucht unter optimierten Bedingungen lassen sich ein wesentlicher Wachstumsschub und eine Stabilisierung der anschließenden Mast in der Rinnenanlage erreichen.

Die errichtete Modulanlage besteht aus zwei weiterhin zur Fischhaltung genutzten Rinnen der ursprünglichen Rinnenanlage. Eine weitere Rinne und die entsprechenden Teile des ehemaligen Zu- und Ablaufkanals werden für die Aufbereitung des Haltungswassers der Fische im Kreislauf genutzt. Die Wasseraufbereitung setzt sich aus den Grundabläsen zur Schlammentfernung aus den Fischhaltungsrinnen, einem mechanischen Grobfilter, dem zweistufigen Biofilter, bestehend aus Schwebbetfilter und getauchtem Festbetfilter, der Wasserförderung mit Propellerpumpen, der CO₂-Entgasung, der Sauerstoffbegasung mit schwimmenden Niederdruckbegasern und der Alkalinitätszufuhr zusammen. Die Verfahrensgestaltung mit Sauerstoffbegasung und Propellerpumpen ist neu für teilgeschlossene Kreislaufanlagen und an die deutschen Verhältnisse besser angepasst.

Die technische Realisierung des Moduls erfolgte neben der Installation der notwendigen Geräte (Pumpen, Sauerstoffbegaser, Gebläse) durch den Einbau von Schottwänden, Rosten, Sieben und Rohrleitungen ohne bautechnische Veränderung der Anlage.

Auf der Grundlage der angestrebten Produktionshöhe eines Aufzuchtdurchgangs von maximal 3 t Satzfishen mit 100 g Stückmasse und einer Endbestandsdichte von ca. 77 kg/m³ sowie einer Grundwasserzufuhr von 3 m³/h, d. h. 1 m³/t*h, erfolgte die Dimensionierung der einzelnen verfahrenstechnischen Teilprozesse und die Projektierung der Anlage.

Nach der Errichtung mussten weitere Veränderungen und Verbesserungen an der Anlagentechnik vorgenommen werden. Ein Hauptproblem ergab sich durch die vorgegebene Anlagengeometrie, die einen sehr langen Festbetfilter mit geringem Querschnitt und entsprechendem Druckhöhenverlust zur Folge hatte, der durch die Sedimentation der partikulären Substanz ständigen Veränderungen unterliegt. Durch den Verzicht auf einen Siebtrommelfilter ist die Schwebstoffbelastung des Biofilters relativ hoch. Daneben mussten Ergänzungen am Mess-, Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungssystem vorgenommen werden und zusätzlich eine CO₂-Entgasung und eine Enteisung geplant und gebaut werden.

Zum Abschluss des Projektes wurden die realisierten und erprobten Veränderungen in die Projektierungsunterlagen eingearbeitet. Die kompletten Unterlagen liegen digital vor.

Die beiden Fischhaltungsrinnen von je 24 m³ Volumen werden bei dem maximalen Kreislaufwasserdurchfluss von 230 m³/h mit einem ca. fünffachen Wasserwechsel sowie einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 cm/s betrieben, die bei geringen Fischbestandsdichten zusätzliche Reinigungsarbeiten erfordert.

Die Fütterung erfolgt mit zeitplangesteuerten Futterautomaten.

Die erste mechanische Reinigung wird durch die vorhandenen Grundablässe am Rinnenende vorgenommen. Diese wurden so verändert, dass sich die angesammelten Schlamm- und Kotreste durch tägliche Betätigung nahezu vollständig mit geringem Wasserdurchfluss entfernen lassen. Diese Verfahrensweise stellt eine Lösung zur internen mechanischen Reinigung dar, die prinzipiell in allen ostdeutschen Rinnenanlagen der Forellenproduktion einsetzbar ist.

Als zweiter Teil der mechanischen Reinigung durchläuft der Kreislaufdurchfluss einen Grobfilter mit 2,5 m³ sinkenden Füllkörpern DN 90. Hier werden nur sehr grobe Partikel zurückgehalten. Das Rückspülen zur Entfernung der sedimentierten Partikel erfolgt durch die Expansion der Füllkörper mit Druckluft, die unter dem Füllkörperbett grobblasig ausgeströmt und die anschließende Abführung des mit Partikeln angereicherten Wassers in das Reinigungswassersystem.

Dem Grobfilter schließt sich der Biofilter zur Umwandlung des von den Fischen abgegebenen Ammoniaks in weitgehend fischungiftiges Nitrat durch bakterielle Nitrifikation an. Der zuerst durchflossene Schwebbettfilter besteht aus zwei hintereinander liegenden Segmenten, die zu ca. 40 % mit schwimmenden Füllkörpern DN 15 gefüllt sind. Durch grobblasige Druckluftausströmung wird das Füllkörperbett von insgesamt ca. 2,8 m³ in ständiger Expansion gehalten.

Der zweite Teil des Biofilters ist ein getauchter Festbettfilter, der aus zwei parallelen Reihen von jeweils drei nacheinander vertikal und horizontal durchflossenen Abteilen mit jeweils ca. 0,4 - 0,5 m Höhe, ca. 3 m Länge und ca. 1,0 m Breite der Füllkörperschüttungen besteht. Es werden ca. 8 m³ sinkende Füllkörper DN 15 eingesetzt. Insbesondere der vordere Teil des Filters wirkt als weitere mechanische Reinigung. Erst nach ausreichendem Abbau der organischen Substanz wird der anschließende Teil für die Nitrifikation wirksam. Durch die Gestaltung der Siebe und den Abstand zwischen Füllkörperbett und Wasserspiegel wurde ein selbstständig arbeitender Bypass realisiert, der eine Unterbrechung der Kreislaufwasserführung infolge des zunehmenden Zusetzens des Festbettfilters verhindert. Durch ein angepasstes Rückspülregime muss die Leistungseinbuße bei der Nitrifikation, die sich mit zunehmender Bypass-Wassermenge vergrößert, begrenzt werden.

Aus dem Biofilter fließt das Wasser über eine Durchfluss-Messrinne in den Pumpensumpf, dem ehemaligen Zulaufkanal der Rinnenanlage. Die größere Menge des Kreislaufwassers wird durch eine Propellerpumpe mit einer Leistung P₁ von ca. 1,0 kW im Mittel nur 8 cm angehoben und ins O₂-Begasungsbecken gefördert. Eine geringere Wassermenge gelangt ebenfalls mit Hilfe einer Propellerpumpe nach Durchlaufen der CO₂-Entgasungskaskade ins Begasungsbecken.

Die CO₂-Entgasung musste zusätzlich in das Projekt aufgenommen werden, um die erforderlichen Haltungsbedingungen für die Fische zu gewährleisten. Die realisierte CO₂-Kaskade DN 800 mit Zwangsbelüftung besaß eine Schüttungshöhe der Füllkörper DN 50 von 0,6 m. Die ermittelte CO₂-Entgasungsleistung lag bei 0,71 bzw. 0,81 kgCO₂/h mit Lüfter und ist für die Modulanlage noch nicht ausreichend. Die spezifische Entgasungsleistung beträgt mit der Pumpenleistung P₁ von 1,4 kW 2,0 bzw. 2,1 kW*h/kgCO₂. Die CO₂-Entgasung ist der energieaufwändigste Teilprozess in der Modulanlage. Beim Durchlaufen der Kaskade wurde eine Verringerung der CO₂-Konzentration um 10 mg/l bzw. eine Entgasungseffizienz von 38 % erreicht. Das Problem einer ökonomisch realisierbaren CO₂-Entgasung für teilgeschlossene Kreislaufanlagen ist generell ungelöst und erfordert weitere Arbeiten.

Die Sauerstoffbegasung erfolgt durch zwei schwimmende O₂-Niederdruckbegaser. Aus dem Begasungsbecken läuft das Kreislaufwasser in die beiden Aufzuchttrinnen zurück. Der ermittelte O₂-Eintrag eines Begasers betrug 0,87 kgO₂/h. Die Sauerstoffeintragsleistung ist damit für den geplanten Fischbestand ausreichend. Die Leistung P₁ eines Gerätes liegt bei 0,41 kW und die spezifische Eintragsleistung beträgt 0,48 kW*h/kgO₂. Die Sauerstoffverluste sind mit 10 % gering. Der Sauerstoffeintrag jedes Begasers wird anhand der O₂-Konzentration am Ende der zugehörigen Fischhaltungsrinne automatisch geregelt.

Zum Ausgleich der verbrauchten Alkalinität durch die Nitrifikation und zur notwendigen Alkalinitätsaufstockung des zugeführten Grundwassers wurde Natrium-Hydrogencarbonat mit Hilfe von Bandfütterautomaten über dem Schwebbettfilter zugeführt.

Das Grundwasser von 3 m³/h durchläuft eine Enteisungsanlage und wird im Pumpensumpf eingespeist. Zur Minimierung der Energiekosten wurde eine offene Filteranlage mit ca. 1 m³ Füllkörper DN 15 realisiert und erprobt, über der eine Kaskade zur vorherigen O₂-Anreicherung und CO₂-Entgasung des Grundwassers installiert ist. Das Rückspülen des Filters erfolgt anfänglich mit Druckluft und anschließend mit Anlagenwasser aus dem Pumpensumpf. Durch die Enteisung wurde die TFe-Konzentration des Grundwassers von 2,8 - 4,6 mg/l auf 0,3 - 1,3 mg/l reduziert. Die für teilgeschlossene Kreislaufanlagen erforderliche Enteisung größerer Wassermengen mit Auslaufkonzentrationen, die über denen der Trinkwasseraufbereitung liegen können, ist für die Aquakultur und auch die Wasserwirtschaft ein neues Feld, auf dem bisher keine nutzbaren Bemessungsgrundlagen existieren.

Messungen der verschiedenen Wasserparameter bei hohen Futtermengen und Bestandsdichten ergaben, dass günstige bzw. optimale Umweltbedingungen für den Fischbestand aufrechterhalten werden konnten und damit die Voraussetzungen für gute Aufzuchtergebnisse gegeben sind. Die mittlere tägliche NaHCO₃-Zugabe von 38 % der Futtermenge führte zu einer stabilen Alkalinität mit ausreichendem Puffervermögen (Mittel 1,9 mmol/l) und stabilen pH-Werten im circumneutralen Bereich (Mittel 6,8). Durch die Arbeitsweise des Biofilters ergaben sich in den Fischhaltungseinrichtungen folgende Mittelwerte der Stickstoffkonzentrationen: Ammonium NH₄ 0,79 mg/l, Nitrit NO₂ 0,5 mg/l und Nitrat NO₃ 40 mg/l. Die Ammoniakkonzentration und die Konzentration der salpetrigen Säure, die bereits bei geringen Werten fischtoxisch wirken, überschritten nicht oder nur selten den Optimalbereich. Die O₂-Konzentration in den Fischhaltungseinrichtungen konnte mit einem Mittelwert von 10,4 mg/l stets im optimalen Bereich gehalten werden. Die mittlere Temperatur lag bei ca. 11,0° C. Die CO₂-Konzentration war mit einem Mittel von 27 mg/l höher als der angestrebte Grenzwert von 25 mg/l. Trotzdem konnten keine Symptome der Nephrocalzinose festgestellt werden. Der Mittelwert der abfiltrierbaren Stoffe stellt mit 17 mg/l kein Problem dar.

Das aus teilgeschlossenen Kreislaufanlagen abgegebene Wasser setzt sich aus dem mengenmäßig bestimmenden Ablaufwasser mit geringen Konzentrationen gewässerbelastender Stoffe und einem geringeren Reinigungswasserstrom mit höheren Konzentrationen zusammen. Einen Stand der Technik der Abwasseraufbereitung teilgeschlossener Kreislaufanlagen gibt noch nicht (s. a. RÜMMLER 2015). Die Messungen im Fischhaltungswasser und damit im Ablaufwasser der Anlage ergaben folgende Mittelwerte: 11 mg/l N_{min}, 0,29 mg/l TP, 18 mg/l CSB und 4 mg/l BSB₅. Insbesondere die N_{min}-Konzentration des Ablaufwassers ist wasserwirtschaftlich von Bedeutung, da nahezu die gesamten Stickstofffrachten der Anlage über diesen Weg abgeführt werden.

Die Messungen zur Wirksamkeit des Biofilters ergaben Mittelwerte der NH₄-Filtereffizienz von 22 % und der Nitrifikationsrate von 0,09 gNH₄-N/m²*d. Einen wesentlichen Einfluss auf die Nitrifikationsrate eines Biofilters hat die organische Belastung des Kreislaufwassers. Die CSB- und BSB₅-Mittelwerte von ca. 16 mg/l bzw. 3,3 mg/l am Auslauf des Biofilters können als relativ niedrig eingestuft werden. Für die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe AFS ergibt sich am Auslauf des Biofilters mit einem Mittel von ca. 14,6 mg/l ein geringerer Wert als am Auslauf der Fischhaltungsrinnen, der auf die Filterwirkung des Festbettfilters schließen lässt.

Die getrennte Betrachtung der beiden Filter ergab eine höhere NH₄-Filtereffizienz des Festbettfilters gegenüber dem Schwebbettfilter aber aufgrund der größeren Filteroberfläche des Festbettfilters eine ca. doppelt so hohe Nitrifikationsrate des Schwebbettfilters. Diese Verhältnisse lassen darauf schließen, dass ein Teil der Füllkörperoberfläche des Festbettfilters nicht für die Nitrifikation zur Verfügung steht, sondern als mechanischer Filter für die feindispersen Schwebstoffe und den BSB₅-Abbau wirksam wird.

Insgesamt liegt die in der Modulanlage ermittelte Nitrifikationsrate des Biofilters im unteren Bereich der wenigen bisher in anderen Anlagen erhobenen Werte. Dafür dürften die niedrige Temperatur, die

geringe NH_4 -Konzentration, die Funktion des Festbettfilters als mechanische Reinigung und der realisierte Bypass verantwortlich sein. Der Biofilter ist aber für die vorgesehenen Fischbeständen und Futtermengen ausreichend.

Die produktionstechnologische Zielstellung der Modulanlage sieht einen zeitversetzten Besatz mit Setzlingen von ca. 10 g Stückmasse vor. Die Fische sollen nach ca. vier Monaten mit einer Stückmasse von ca. 100 g abgefischt werden. Es ist vorgesehen, dass die Bestandsmasse in der Anlage zu diesem Zeitpunkt ca. 2,5 t beträgt. Durch fünf Zyklen pro Jahr sollen 9,25 - 10,0 t bzw. 92,5 - 100 Tsd. Satzfische erzeugt werden. Für die Futtermenge wurde ein Wert von 0,9 kg Futter/kg Zuwachs vorgegeben.

Bisher wurden zehn Aufzuchtzyklen durchgeführt. Die mittlere Besatzstückmasse betrug 9,8 g. Die mittlere Aufzuchtdauer bis zu Stückmassen von ca. 100 g lag bei 123 Tagen bzw. 4,1 Monaten und die mittlere Belegungsdauer der betreffenden Rinne bei 128 Tagen bzw. 4,25 Monaten. Die geplante Durchführung von fünf Aufzuchtzyklen pro Jahr ist damit realisierbar. Bei Besatzstückmassen geringfügig über 10 g würde sich dieser Zeitraum weiter verkürzen. Die mittleren Verluste betragen 12 %. Das Verlustgeschehen der einzelnen Zyklen war sehr unterschiedlich. Hier sind weitere Verbesserungen insbesondere durch eine genauere Anpassung der Futtermenge an die Fressaktivität der Fische notwendig. Der mittlere Futterquotient von 0,99 kg Futter/kg Zuwachs lag daher noch über dem geplanten Wert. Der mittlere Stückmassenzuwachs betrug ca. 2 %/d. Diese hohe Zuwachsrate erfordert entsprechend hohe Fütterungsraten und den Einsatz von Hochenergiefuttermitteln mit optimiertem Energie/Protein-Verhältnis. Die häufigsten Werte der Fütterungsrate lagen im Bereich von 2,5 % am Anfang und 1,7 %/d am Ende der Aufzucht. Die Mittelwerte der Wassertemperatur reichten für die einzelnen Zyklen je nach Jahreszeit von 8,9 bis 12,9 °C. Die Abfischungsmasse überstieg bei mehreren Zyklen den geplanten Wert von 1,85 t. Aus den bisherigen Daten ergibt sich eine mittlere jährliche Abfischungsmasse von 9,83 t.

Im Mittel ergaben sich folgende Verbrauchskennziffern: Elektroenergie 2,91 kWh/kg Zuwachs bei einer mittleren Anschlussleistung von 2,93 kW, Sauerstoff 1,08 kg O_2 /kg Zuwachs bei einem mittleren O_2 -Massestrom von 0,49 kg/h und Natrium-Hydrogenkarbonat 0,37 kg NaHCO_3 /kg Zuwachs.

Unter Nutzung der bisherigen Produktionsdaten und Aufwandskennwerte sowie der durch den Bewirtschafter zu zahlenden Preise wurde eine Deckungsbeitragsrechnung I vorgenommen. Bei einem Abgabepreis der Fische von 5,00 €/kg lässt sich ein geringer Deckungsbeitrag erwirtschaften. Eine derartige Anlage zur Satzfischaufzucht hat den Vorteil begrenzter Gesamtaufwendungen und hoher produktionsbiologischer Folgewirkungen.

Zur weiteren Entwicklung der zukunftsweisenden Technologie der teilgeschlossenen Kreislaufanlagen der Forellenproduktion sind folgende zukünftige Arbeiten erforderlich:

- Erarbeitung bzw. Vervollkommnung von Dokumentationen zum Stand der Technik bzw. der Aufzuchttechnologie teilgeschlossener Kreislaufanlagen als Grundlage für die Anlagengenehmigung und die breitere Anwendung dieses Verfahrens
- Verbesserung der Aufzucht- und Aufwandsdaten um die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens zu verbreitern und die fischereiliche und ökonomische Bewertung der teilgeschlossenen Kreislaufanlagen auf umfangreicherer Datenbasis zu ermöglichen
- Erarbeitung und Vervollkommnung von Prozess- und Betriebsparametern sowie optimierter Anlagengestaltungen für eine energieeffiziente CO_2 -Entgasung und Enteisenung des genutzten Grundwassers
- Weitere Untersuchungen zu den Biofiltern als Grundelement der Wasseraufbereitung unter den speziellen Bedingungen teilgeschlossener Kreislaufanlagen
- Erarbeitung von genaueren Bilanzierungen der Stoffströme und erzeugten Fracht- und Konzentrationswerten in teilgeschlossenen Kreislaufanlagen als Grundlage für die Realisierung der anschließenden Abwasserbehandlung

- Erarbeitung von Anlagengestaltungen zur Abwasserbehandlung von teilgeschlossenen Kreislaufanlagen

Für die Durchführung dieser Arbeiten bietet sich die Modulanlage durch ihre Größe und Ausstattung an.

Bisher wurden die Erkenntnisse aus dem Projekt in folgenden Vorträgen dargestellt:

RÜMMLER, F.: Wasserrahmenrichtlinie und Forellenproduktion - Entwicklung und Erprobung wassersparender Technologien. Brandenburger Fischereitag des Landesfischereiverbandes Brandenburg/Berlin, 17.09.2014, Seddin

RÜMMLER, F.: Vorstellung des Fischereibetriebs Thießen, Maßnahmen zur Verringerung des Einsatzes von Rosselwasser sowie Durchgängigkeit, WRRL und Aquakulturrichtlinie. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, 16.03.2015, Magdeburg

RÜMMLER, F.: Pilotprojekte Forellenanlage Thießen. Spartenveranstaltung der Forellenproduzenten der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt am 24.11.2015 in Thießen

RÜMMLER, F.: Aktuelle Erfahrungswerte mit teilgeschlossenen Kreislaufanlagensystemen zur Aufzucht von Regenbogenforellen. Ein Modell mit Zukunft? „Info-Veranstaltung für Fischzüchter in NRW“ am 3.12.2015, Albaum

RÜMMLER, F.: Neue Untersuchungen zu teilgeschlossenen Kreislaufanlagen der Forellenproduktion. Fortbildungsveranstaltung für Fischhaltung und Fischzucht des Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei, 13.01.2016, in Starnberg

Die Erkenntnisse werden in einer Broschüre der Schriftenreihe des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow ausführlicher dargestellt. Die Bände der Schriftenreihe des IfB werden als gedruckte Broschüre und durch die Homepage des IfB www.ifb-potsdam.de der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

4. Literatur

BRÄMICK, U. (2015): Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2014.

http://www.portal-fischerei.de/fileadmin/redaktion/dokumente/fischerei/Bund/Jahresbericht_Binnenfischerei_2014_end.pdf.

CHEN, S., LING, J. u. BLANCHETON, J.-P. (2006): Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering* 34, 179 - 197.

COLT, J., WATTEN, B., PFEIFFER, T. (2012a): Carbon dioxide stripping in aquaculture - Part I: Terminology and reporting. *Aquacultural Engineering* 47, 27 - 37.

COLT, J., WATTEN, B., PFEIFFER, T. (2012b): Carbon dioxide stripping in aquaculture - Part II: Development of gas transfer models. *Aquacultural Engineering* 47, 38 - 46.

COLT, J., WATTEN, B., PFEIFFER, T. (2012c): Carbon dioxide stripping in aquaculture - Part III: Model verification. *Aquacultural Engineering* 47, 47 - 59.

CRIPPS, S. J. u. KELLY, L. A. (1996): Reduction in wastes from aquaculture. IN: BAIRD, D. J., BEVERIDGE, M., KELLY, L. u. MUIR, J.: *Aquaculture and water resource management*, 166 – 201.

DALSGAARD, A. J. T. u. PEDERSEN, P. B. (2012): Trout farming in Denmark: recent trends and future prospects. In: *AES Newsletter*, Vol. 15, No. 1, 2 - 4.

DALSGAARD, J., LUND, I., THORARINSDOTTIR, R., DRENGSTIG, A., ARVONEN, K. u. PEDERSEN, P. B. (2013): Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53, 2 - 13.

DVGW-Arbeitsblatt W 223-1 (2005): Enteisung und Entmanganung, Teil 1: Grundsätze und Verfahren, 33 S.

DVGW-Arbeitsblatt W 223-2 (2005): Enteisung und Entmanganung, Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen, 31 S.

EDING, E. H. u. v. WEERD, J. (1999): Spezielle Aquakulturverfahren und Aquakulturkanidaten. Grundlagen, Aufbau und Management von Kreislaufanlagen. In: BOHL, M.: *Zucht und Produktion von Süßwasserfischen*. Verlags Union Agrar, 436 - 489.

EDING, E. H., KAMSTRA, A., VERRETH, J. A. J., HUISMANN, E. A. u. KLAPWIJK, A. (2006): Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering* 34, 234 - 260.

FIVELSTAD, S. (2013): Long-term carbon dioxide experiments with salmonids. *Aquacultural Engineering* 53, 40 - 48.

FIVELSTAD, S., OLSEN, A. B., TORBJØRN, A., BAEVERFJORD, G., RASMUSSEN, T., VINDHEIM, T. u. SIGURD STEFANSSON, S. (2003): Long-term effects of carbon dioxide on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar L.*): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. *Aquaculture* 215, 301 - 319.

- GRACE, G. R. u. PIEDRATHITA, R. H. (1996): Carbon dioxide control. IN: TIMMONS, M. B. u. LOSORDO, T. M.: Aquaculture water reuse systems: engineering design and management, 209 - 234.
- HENZE, M.; HARREMOES, P.; JANDEN, J. u. ARVIN, E. (2002): Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes. Third edition, Springer Verlag, 430 S.
- HOSFELD, C. D., ENGEVIK, A., MOLLAN, T., LUNDE, T. M., WAAGBO, R., OLSEN, A. B., BRECK, O., STEFANSSON, S. u. FIVELSTAD S. (2008): Long-term separate and combined effects of environmental hypercapnia and hyperoxia in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) smolts. Aquaculture. 280, 146 - 153.
- JANSEN, W., JENNERICH, H.-J., SCHULZ, S., KRENKEL, L. u. WENZEL, H.-J. (2011): Zur Entwicklung eines Kaltwasserkreislaufes für die Haltung von Salmoniden - Stand 12/2008. Beiträge zur Fischerei. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Heft 45, S. 54 - 70.
- JOKUMSEN, A. u. SVENDSEN, L. M. (2010): Farming of freshwater rainbow trout in Denmark. DTU Aqua report Nr. 219-2010, 47 S.
- JOKUMSEN, A., PEDERSEN, P. B., DALSGAARD, A. J. T., LUND, I., PAULSEN, H., RASMUSSEN, R. S. u. HYLDIG, G. (2009). New methods in trout farming to reduce the farm effluents - Case study in Denmark. In BARDÓCZ, T., OBERDIECK, A. u. VÁRADI, L. (2009): A handbook for sustainable aquaculture. 61 - 73. <http://www.vdbi.de/pages/sustainaqua/informationen.php>
- KIEFFER, J. D., ALSOP, D. u. WOOD, C. M. (1998): A respirometric analysis of fuel use during aerobic swimming at different temperatures in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The Journal of Experimental Biology 201, 3123 - 3133.
- LEONHARD, N., GUIRAUD, J. P., GASSET, E., CAILLERES, J. P. u. BLANCHETON, J. P. (2002): Bacteria and nutrients - nitrogen and carbon - in a recirculation system for sea bass production. Aquacultural Engineering 26, 111 - 127.
- MORAN, D. (2010): Carbon dioxide degassing in fresh and saline water, I: Degassing performance of a cascade column. Aquacultural Engineering 43, 29 - 36.
- PEDERSEN, L.-F. (2012): Recent examples on sustainable aquaculture development in Denmark. www.aquaculture.uni-kiel.de/.../Pedersen_DTU-Aqu.
- PEDERSEN, L. F., OOSTERVELD, R. u. PEDERSEN, P. B. (2015): Nitrification performance and robustness of fixed and moving bed biofilters having identical carrier elements. Aquacultural Engineering 65, 37 - 45.
- ROQUE D'ORBCASTEL, E., BLANCHETON, J.-P. u. BELAUD, A. (2009a): Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: Comparison with a flow through system. Aquacultural Engineering 40, 135 - 143.
- ROQUE D'ORBCASTEL, E., PERSON-LE RUYET, J., LE BAYON, N. u. BLANCHETON, J.-P. (2009b): Comparative growth and welfare in rainbow trout reared in recirculating and flow through rearing systems. Aquacultural Engineering 40, 79 - 86.
- RÜMMLER, F. (2008): Schwimmende Niederdruckbegaser zur Sauerstoffbegasung. Fischer & Teichwirt, 59, 129 - 131.

- RÜMMLER, F. (2009a): Mechanisierung und Verfahrenstechnik als wichtige Elemente einer effektiven und Ressourcen schonenden Fischproduktion. In: LUKOWICZ, M. u. HILGE, V.: Ressourcen schonende Fischproduktion. Arbeiten des Deutschen Fischereiverbandes e.V. Heft 86, 137 - 182.
- RÜMMLER, F. (2009b): Die verschiedenen Wassernutzungsintensitäten der Fischproduktion - Teil 2. Fischer & Teichwirt 60, 85 - 89.
- RÜMMLER, F. (2010a): Anwendung und Vervollkommnung energieeffizienter Verfahren und Ausrüstungen in der Aquakultur. http://www.vdff-fischerei.de/fileadmin/daten/pdf-Dokumente/Ruemmler_2010_Energieeinsparung_bezeichnet_alle_Massnahmenneu.pdf.
- RÜMMLER, F. (2010b): Emissionsproblematik von Durchflussanlagen der Fischzucht - Teil 1. Fischer & Teichwirt, 61, 453 - 455.
- RÜMMLER, F. (2010c): Kreislauftechnik - Wasseraufbereitung und Wiederverwendung. In: SCHMIDT-PUCKABER, B.: Fisch vom Hof !?, Deutscher Landwirtschaftsverlag, S. 41 - 86.
- RÜMMLER, F. (2011a): Konfliktpotenzial Durchgängigkeit der Fließgewässer - Aquakulturanlagen. Der Märkische Fischer, H. 3, 40 - 41.
- RÜMMLER, F. (2011b): Emissionsproblematik von Durchflussanlagen der Fischzucht - Teil 2. Fischer & Teichwirt, 62, 10 - 13.
- RÜMMLER, F. (2012): Forschungen zur nachhaltigen fischereilichen Gewässerbewirtschaftung und Aquakultur für die Erzeugung und den Absatz qualitativ hochwertiger Lebensmittel, Teil: Ermittlung von Umweltparametern bei der Erzeugung von Forellen in Durchflussanlagen. In: RÜMMLER, F.: Jahresbericht 2012 des Instituts für Binnenfischerei, 51 - 53.
- RÜMMLER, F. (2015): Förderinitiative Nachhaltige Aquakultur: Untersuchungen zur Aufbereitung des Ablauf- bzw. Reinigungswassers geschlossener Warmwasser-Kreislaufanlagen zur Aufzucht verschiedener Fischarten. Projektbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt der DBU, 61 S.
- RÜMMLER, F. (2016a): Neue Untersuchungen zu teilgeschlossenen Kreislaufanlagen der Forellenproduktion. Fortbildungsveranstaltung für Fischhaltung und Fischzucht des Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei, 13.01.2016, in Starnberg. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ifi/.../ifi_januartagung_2016.pdf
- RÜMMLER, F. (2016b): Verfahrens- und Anlagentechnik der Fischproduktion. In BOHL, M u. WEDEKIND, H.: Zucht- und Produktion von Süßwasserfischen, 3., neu überarbeitete Auflage, im Druck
- RÜMMLER, F., FRANK, H. u. FREYDANK, R. (2008): Anwendung der Sauerstoffbegasung in der Fischproduktion, Fischer & Teichwirt, 59, 12-15
- RÜMMLER, F. RANK, H., SCHIEWE, S., WEICHLER, F. u. WINKELMANN, S. (2011a): Untersuchungen zur Funktionsweise einer teilgeschlossenen Kreislaufanlage der Forellenaufzucht. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow Bd. 29, 64 S.
- RÜMMLER, F., PFEIFER, M., JÄHRLING, R., RANK, H., WEICHLER, F. u. SCHIEWE, S. (2011b): Untersuchungen zur Emissionsproblematik abwasserabgabepflichtiger Anlagen der Fischproduktion. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen, Heft 4 2011, 102 S., http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/5063_1.pdf.

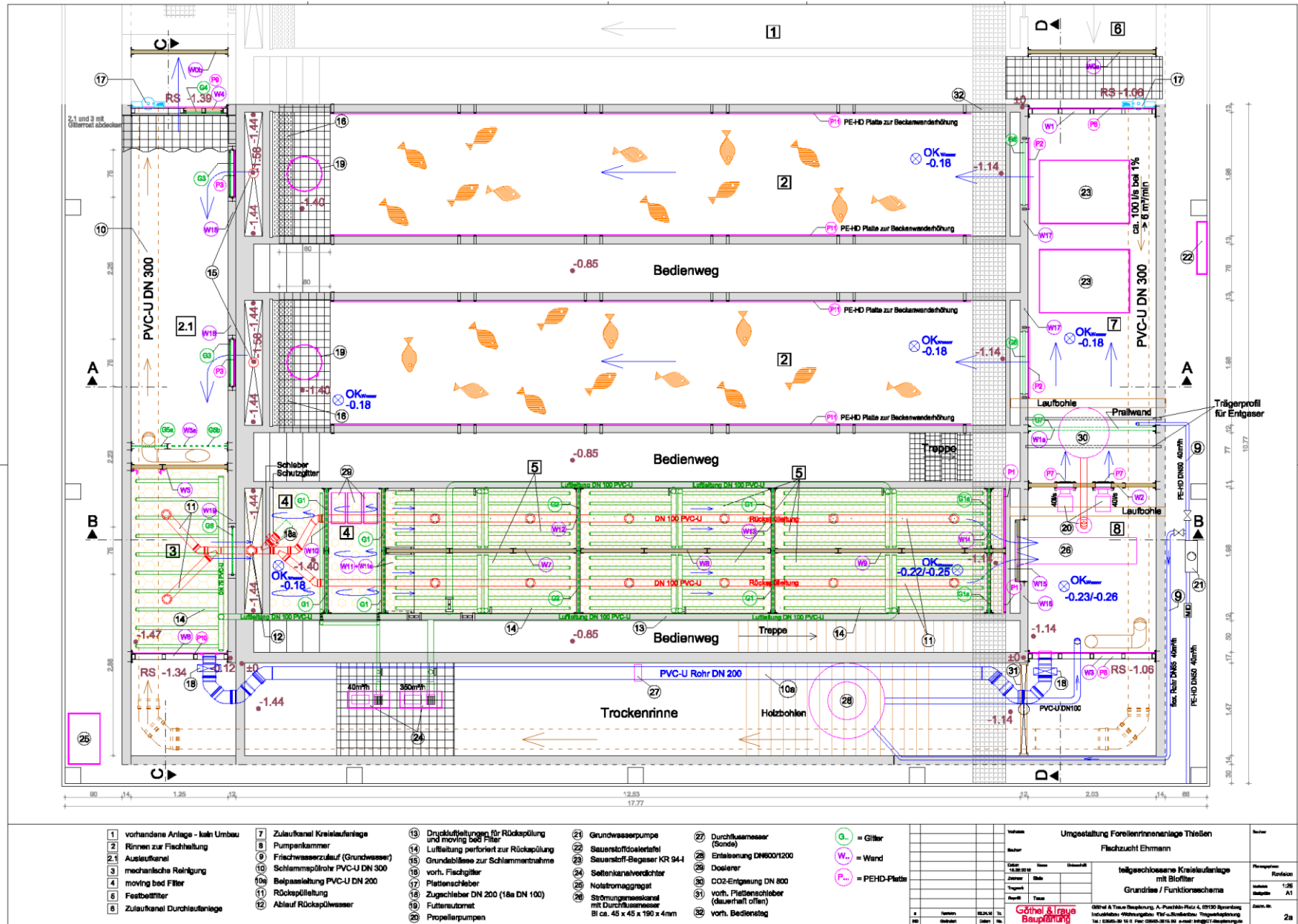
- RÜMMLER, F. u. WINKELMANN, S. (2012): Untersuchungen in einer teilgeschlossenen Kreislaufanlage. *Fischer & Teichwirt*, 63, 128 - 131.
- RÜMMLER, F., JÄHRLING, R., MÜLLER, M. u. KARAU, E. (2012): Emissionsverringierung durch die Reinigungswasserabführung in Forellenrinnenanlagen. *Fischer & Teichwirt*, 63, 285 - 288.
- RUSTEN, B., EIKEBROKK, B., ULGENES, Y. u. LYGREN, E. (2006): Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering* 34, 322 - 331.
- SANNI, S. u. FORSBERG, O. I. (1996): Modeling pH and carbon dioxide in single-pass seawater aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 15, 91 - 110.
- SCHRECKENBACH, K. (2010): Gesundheit und Hygiene - Basis für Wachstum. In: SCHMIDT-PUCKHABER, B.: *Fisch vom Hof !?*, Deutscher Landwirtschaftsverlag, S. 87 - 123.
- SCHRECKENBACH, K. u. SPANGENBERG, R. (1983): Das Auftreten von Stickstoffverbindungen bei der Satzkarpfenproduktion und ihre Toxizität. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR*, 30, 115 - 122
- SCHRECKENBACH, K., STEFFENS, W. u. ZOBEL, H. (1987): Technologien, Normen und Richtwerte der Fischproduktion. *Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen*, 180 S.
- SKYBAKMOEN, S., SIIKAVUOPIO, S. I., u. SÆTHER, B.-S (2009): Coldwater RAS in an Arctic charr farm in Northern Norway. *Aquacultural Engineering* 41, 114 - 121.
- STEFFENS, W. (1987): Forellenproduktion in Rinnenanlagen. In: SCHRECKENBACH, K., STEFFENS, W. u. ZOBEL, H. (1987): Technologien, Normen und Richtwerte der Fischproduktion. *Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen*, S. 93 - 102 S.
- SUHR, K. I. u. PEDERSEN, P. B. (2010): Nitrification in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. *Aquacultural Engineering* 42, 31 - 37.
- SUMMERFELT, S. T., DAVIDSON, J. u. WALDROP, T. (2003): Evaluation of full-scale carbon dioxide stripping columns in a coldwater recirculating system. *Aquacultural Engineering* 28, 155 - 169.
- SUMMERFELT, S. T., ZÜHLKE, A., KOLAREVIC, J., REITEN, B. K. M., SELSET, R., GUTIERREZ, X. u. TERJESEN, B. F. (2015): Effects of alkalinity on ammonia removal, carbon dioxide stripping, and system pH in semi-commercial scale water recirculating aquaculture systems operated with moving bed bioreactors. *Aquacultural Engineering* 65, 46 - 54.
- SUMMERFELT, S. T., VINCI, B. J. u. PIEDRAHITA, R. H. (2000): Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural Engineering* 22, 87 - 108.
- TAEGER, M. (1984): Zum Einfluss von Temperatur, Wasser-pH und Sauerstoffpartialdruck auf einige Parameter des Säure/Basen-Status bei Karpfen (*Cyprinus carpio*). *Fortschr. Fischereiwiss.* 3, 97 - 107.
- TERJESEN, B. F., SUMMERFELT, S. T., NERLAND, S., ULGENES, Y., FJÆRA, S. O., REITEN, B. K. M., SELSET, R., KOLAREVIC, J., BRUNSVIK, P. BÆVERFJORD, G., TAKLE, H., KITTELSEN, A. H. u. ÅSGÅRD, T. (2013): Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering* 54, 49 - 63.

TIMMONS, M. B. u. EBELING, J. M. (2010): Recirculating Aquaculture (2nd Edition). Cayuga Aqua Ventures, 948 S.

WATTEN, B. J., BOYD, C. E., SCHWARTZ, M. F., SUMMERFELT, S. T. u. BRAZIL, B. L. (2004): Feasibility of measuring dissolved carbon dioxide based on head space partial pressure. Aquacultural Engineering 30, 83 - 101.

WEDEMEYER, G. A. (1996): Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman and Hall, New York, 232 S.

Anhang A1
Technische Zeichnungen der Gesamtanlage



- 1 vorhandene Anlage - kein Umbau
- 2 Auslaufkanal zur Fischhaltung
- 2.1 mechanische Reinigung moving bed Filter
- 3 Feststofffilter
- 8 Zulaufkanal Durchlaufanlage

- 7 Zulaufkanal Kreislaufanlage
- 8 Pumpenkammer
- 9 Frischwasserzulauf (Grundwasser)
- 10 Schlammfangvorrichtung PVC-U DN 300
- 10a Belpassleitung PVC-U DN 200
- 11 Rückspülleitung
- 12 Ablauf Rückspülwasser

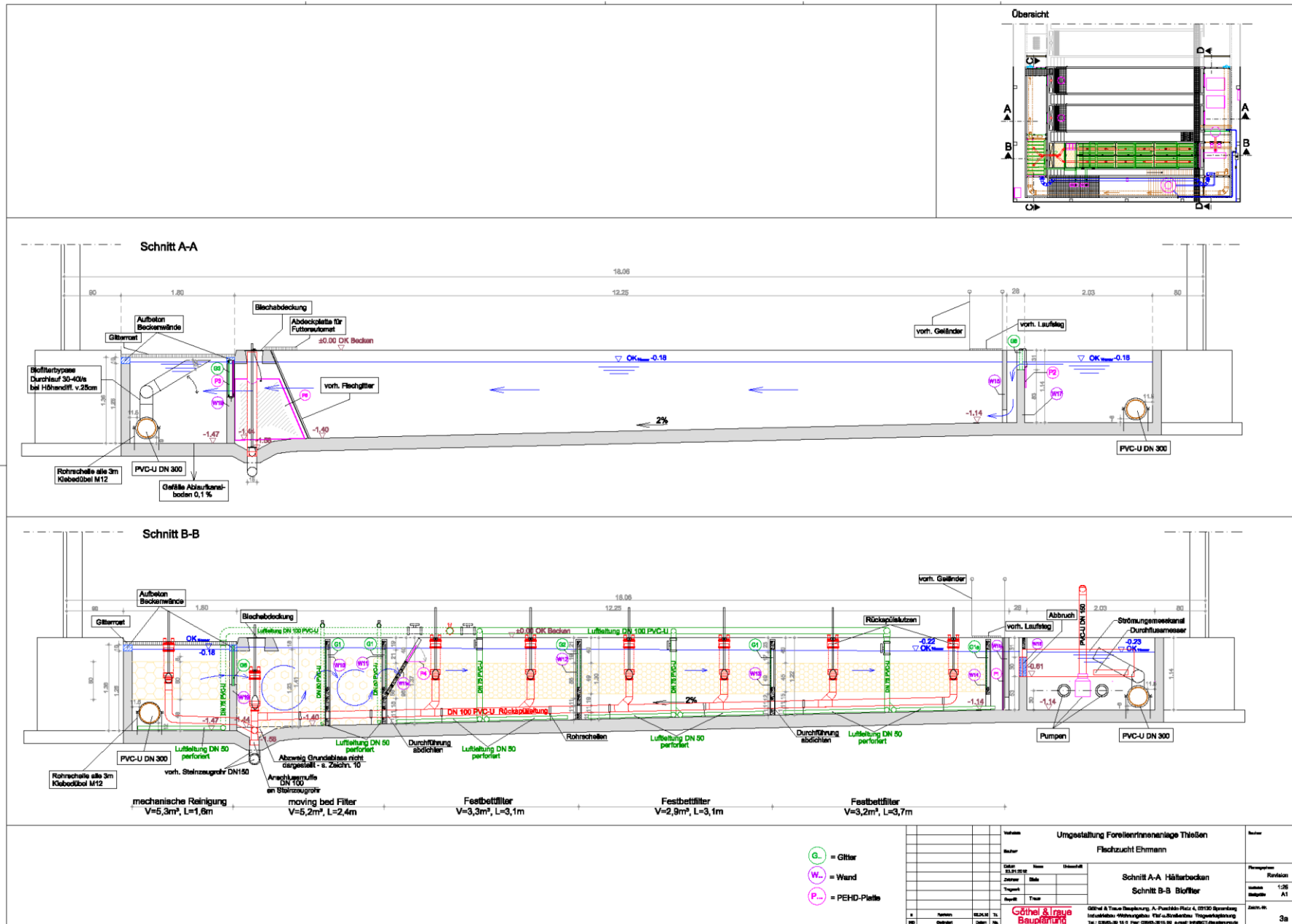
- 13 Druckentlastungen für Rückspülung und moving bed Filter
- 14 Lüftung perforiert zur Rückspülung
- 15 Grundblase zur Schlammabnahme
- 16 vorh. Fischgitter
- 17 Plattenschleber
- 18 Zugschleber DN 200 (18a DN 100)
- 19 Futtersubmer
- 20 Propellerpumpen

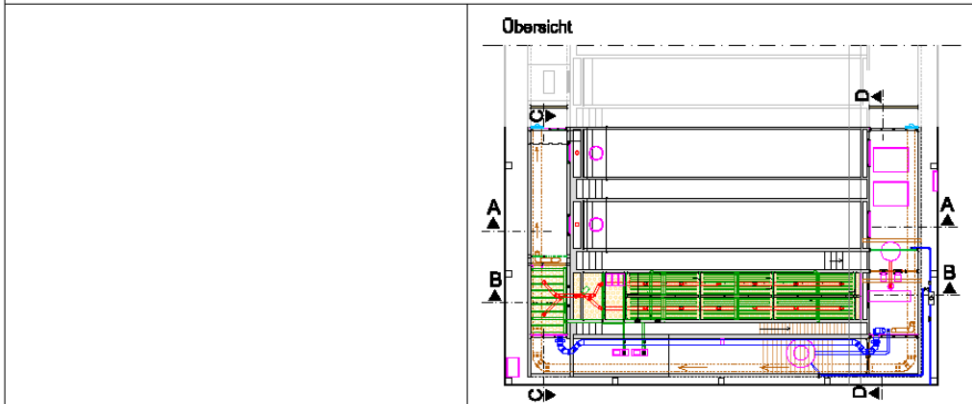
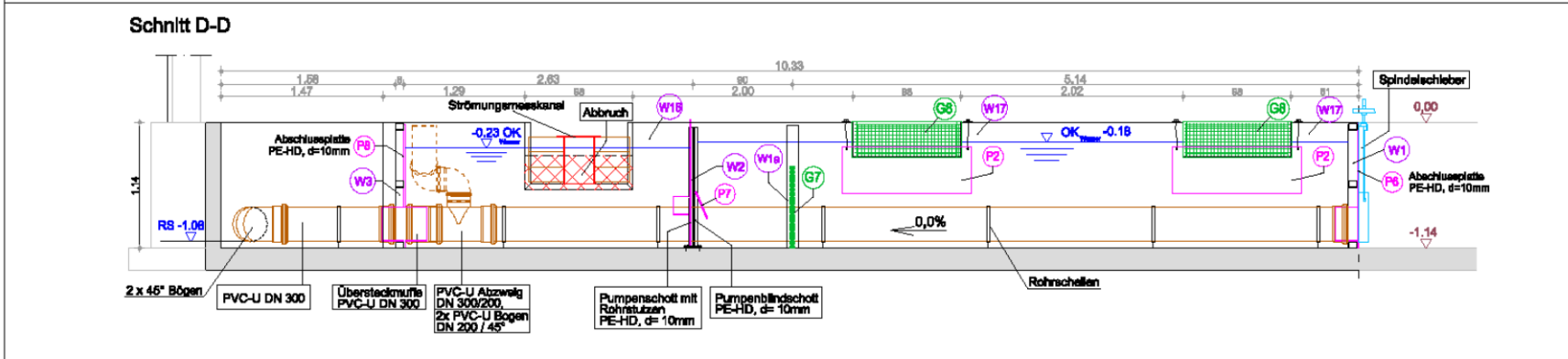
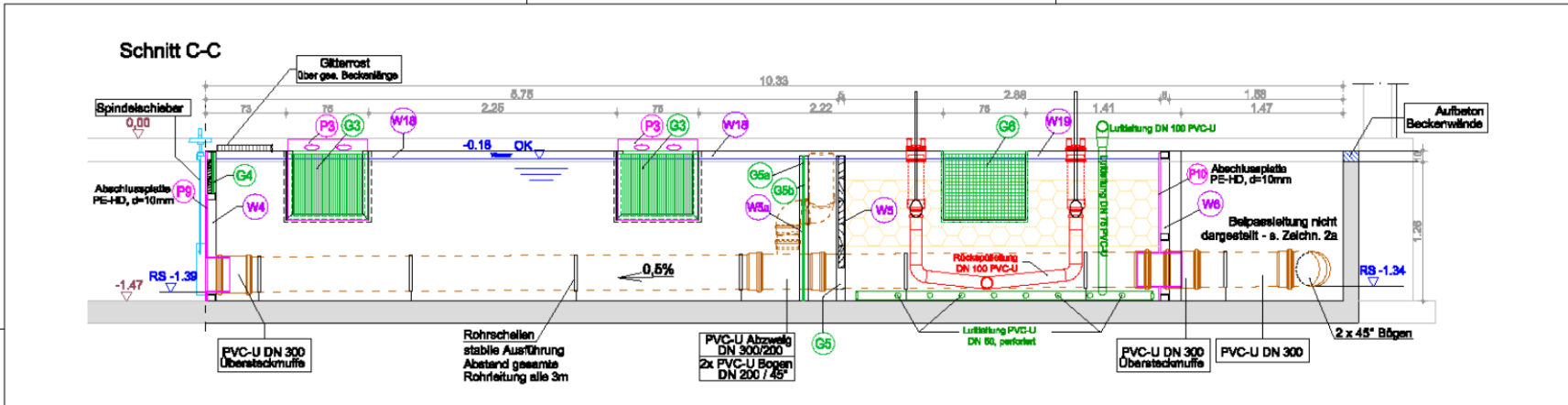
- 21 Grundwasserpumpe
- 22 Sauerstoffdosiergerät
- 23 Sauerstoff-Regler KR 94-1
- 24 Seitenkanalventilator
- 25 Notstromaggregat
- 26 Strommessstation mit Durchflussmesser BI ca. 45 x 45 x 190 x 4mm

- 27 Durchflussmesser (Sonde)
- 28 Entleerung DN600/1200
- 29 Doeliner
- 30 CO2-Entgasung DN 800
- 31 vorh. Plattenschleber (dauerhaft offen)
- 32 vorh. Bediensteg

- G = Gitter
- W = Wand
- P = PE-HD-Platte

Verfahren		Umgestaltung Forellenzuchtanlage Thießen		Revisor
Merkmal		Flachzucht Ehmman		
Objekt	Bestandteil	teilgeschlossene Kreislaufanlage mit Biofilter Grundriss / Funktionsschema		Planung
Zustand	Stand			Maßstab 1:200
Tragwerk	Tragwerk			Blattzahl 1/1
Querschnitt	Tragwerk			Blattzahl 2/1
Göbel & Traugott Bauplanung <small>Göbel & Traugott Bauplanung, A-Planstraße 4, 01109 Sparrowitz, Industriehof Wöhrenhof, 13745 Berlin, Tel. 030 63063130, Fax 030 63063131, E-Mail: info@goebel-traugott.de</small>				
Blatt		Blatt		Blatt
Blatt		Blatt		Blatt





- G.. = Gitter
- W.. = Wand
- P.. = PEHD-Platte

Vorhaben				Umgestaltung Forellenzuchtanlage Thießen		Bauteil	
Bauteil				Fließzucht Ehmenn		Planungsphase	
Datum				25.01.2012		Revision	
Zeichner				Glaschke		Methode	
Tragwerk						Skizze	
Saport				Trenn		Zustufe-Nr.	
#				Revision		4a	
Gezeichnet				Datum		Tr.	

Gotheil & Trause Bauplanung

Gotheil & Trause Bauplanung, A.-Platzhörn-Platz 4, 03130 Spremberg
 Industriestraße 14/15, 03130 Spremberg
 Tel.: 03565-38 15 0 Fax: 03565-38 15 80 e-mail: info@gtt-bauplanung.de

Anhang A2

Fotos der einzelnen Anlagenteile:



Abb. A2.1: Futterautomat und Fischhaltungsrinne (vor Installation der seitlichen Vorhänge aus PVC-Planen)



Abb. A2.2: Fischhaltungsrinne mit seitlichen Vorhängen aus PVC-Planen



Abb. A2.3: Grundablass mit Abdeckplatten zur Schlammfernung am Ende der Rinnen hinter dem Fischgitter (mit den roten Pfeilen sind die Schlitzze gekennzeichnet durch die das Wasser beim Ziehen des Verschlussstopfen mit hoher Geschwindigkeit zum reduzierten Grundablass fließt und den Schlamm unter den Platten abgesaugt)



Abb. A2.4: Grobfilter als Festbettfilter mit Füllkörpern großer Abmessungen



Abb. A2.5: „Biofilterrinne“ (vorn Schwebbetfilter, dahinter getauchter Festbetfilter bestehend aus sechs Segmenten, rechts Gebläse, rechts hinten Enteisenung, Mitte hinten CO₂-Entgasungskaskade, links hinten schwimmende Sauerstoff-Niederdruckbegaser)



Abb. A2.6: zweistufiger Schwebbetfilter mit Bandfutterautomaten zur Dosierung des zugeführten Natrium-Hydrogenkarbonates im zweiten Abteil



Abb. A2.7: getauchter Festbettfilter bestehend aus sechs Abteilen



Abb. A2.8: getauchter Festbettfilter, links: Auflagegitter für die Füllkörper mit darunter liegenden Druckluftleitungen und Reinigungswasserabflüsse für das Rückspülen des Filters, Mitte: Expansion des Betts und Lösung der Feststoffe durch Drucklufteinpeisung, rechts: Ablauf des Reinigungswassers bei angehobenen Verschlussstopfen der Reinigungswasserabflüsse



Abb. A2.9: Pumpenschottwand mit den beiden Kreislaufwasserpumpen (rechts Rinne zur Durchflussmessung)



Abb. A2.10: CO₂-Entgasungskolonne mit Lüfter



Abb. A2.11: Sauerstoffbegasungsbecken mit den zwei schwimmenden O₂-Niederdruckbegasern, rechts Rinnenzuläufe mit Sieben (rechts), Sauerstoffschalttafel (links)



Abb. A2.12: Grundwasserpumpe (links), Frequenzumrichter mit Drehzahlsteller der Grundwasserpumpe und magnetisch-induktiver Durchflussmesser (rechts)



Abb. A2.13: links: Enteisungsanlage (oben Füllkörperkolonne zur Belüftung, unten Filter),
rechts: Eisenablagerung im Filter

Anhang A3

Automatisierungssystem

Folgende Automatisierungs- und Messfunktionen wurden realisiert:

Anzeige und Registrierungsfunktionen:

- Anzeige auf dem Bildschirm und digitale Registrierung folgender Messwerte durch drei programmierbare Bildschirmschreiber:
 - Sauerstoffkonzentration am Ende der Fischhaltungsrinne 1
 - Sauerstoffkonzentration am Ende der Fischhaltungsrinne 2
 - Sauerstoffkonzentration im Zulauf zu den Fischhaltungsrinnen, d.h. im Begasungsbecken
 - Sauerstoffkonzentration im Pumpensumpf
 - pH-Wert am Ende der Fischhaltungsrinne, in der der pH-Sensor platziert ist
 - CO₂-Konzentration am Ende der Fischhaltungsrinne, in der der pH-Sensor platziert ist
 - Kreislaufwasserdurchfluss
 - Wasserdurchfluss Bypass Biofilter
 - Wassertemperatur (Messwert Kreislaufwasser-Durchflussmesser)
 - Grundwasserdurchfluss
- Anzeige des momentanen Wirkleistungsverbrauches und Summierung der Wirkleistung (Arbeit)
- Anzeige des Sauerstoffdurchflusses und Summierung zum Sauerstoffverbrauch in der O₂-Zuleitung (O₂-Massedurchflussmesser)
- Anzeige des Sauerstoffdrucks in der O₂-Ringleitung (Kontaktmanometer)

Alarmierungen und Grenzwertsignalisierungen:

- Alarmierung zu niedriger Sauerstoffkonzentrationen entsprechend der eingestellten Grenzwerte (6 mg/l) in Fischhaltungsrinne 1 und 2
- Alarmierung zu niedriger Grundwassermenge entsprechend des eingestellten Grenzwertes (Ausfall Grundwasserpumpe)
- Alarmierung des Ausfalls des in Betrieb befindlichen Begasers, des kleinen Gebläses für den Schwebbettfilter oder einer der beiden in Betrieb befindlichen Kreislaufpumpen
- Alarmierung Abfall des Sauerstoffdrucks in der Ringleitung
- Alarmierung zu geringer Wasserstand im Pumpensumpf
- Alarmierung Netzausfall
- Alarmierung Notstromaggregat läuft
- Die Übertragung der Signale erfolgt per SMS auf entsprechende Handys

Steuerungen, Regelungen und Notschaltungen:

- Anlaufmanagement:
 - gestaffelte Einschaltung nach Wiederinbetriebnahme: 10 Sekunden Gebläse Schwebbettfilter, weitere 5 Sekunden Rückspülgebläse groß, weitere 5 Sekunden Kreislaufpumpe mit Frequenzumrichter (Pumpe 1), weitere 5 Sekunden Ersatzpumpe (Pumpe 2) - sofern Pumpe 1 defekt, weitere 5 Sekunden O₂-Niederdruckbegaser 1, weitere 5 Sekunden O₂-Niederdruckbegaser 2, nach 50 s Grundwasserpumpe
 - Gebläse Schwebbettfilter läuft nach Wiederinbetriebnahme 2 Minuten lang auf maximaler Drehzahl, danach mit der Drehzahl des Frequenzumformers
- Futterautomatensteuerung: Zeitplansteuerung, Ausschaltung bei zu niedrigen O₂-Werten
- Die Regelung der Sauerstoffkonzentration an den Enden der Fischhaltungsrinnen erfolgt über eine einfache Zweipunktregelung. Es kann die Sauerstoffkonzentration in jeder Fischhaltungsrinne einzeln durch Steuerung des jeweiligen Magnetventils auf der Sauerstoffschalttafel, d. h. der Zuführung eines entsprechenden O₂-Massestromes zu den einzelnen Begasern geregelt werden.

Die einfache Zweipunktregelung wird durch die langen Zeitkonstanten des Sauerstoffeintrags möglich. Erforderlichenfalls ließe sich eine Staffelung in drei Bereiche mit verschiedenen Sollwerten vornehmen: I Aus, II 50 % Ein und 50 % Aus sowie III Aus, um die Amplitude der Schwingung der Regelabweichung um den Sollwert zu verringern.

Wenn nur ein Begaser benötigt wird, arbeitet der erste nach der Pumpenspundwand und versorgt beide Rinnen. Er wird mit dem Signal der O₂-Elektrode in der Rinne 1 geregelt. Am hinteren Begaser wird das Magnetventil auf der O₂-Schalttafel auf „Aus“ oder „Hand“ gestellt. Die Regelung der O₂-Elektrode in der Rinne 2 arbeitet ins „Leere“. Die Alarmierung bei zu geringen O₂-Konzentrationen ist davon unbeeinflusst.

Wenn eine der beiden Elektroden nicht genutzt werden kann, müssen beide Begaser über die verbleibende Elektrode geregelt werden, die in das stärker besetzte Becken gehängt werden sollte. Es wird das der Elektrode zugeordnete Magnetventil eingeschaltet und das andere auf „Aus“ oder „Hand“ gestellt. Auf der O₂-Schalttafel werden dann durch Öffnen der Verbindung zwischen beiden Ausgängen zu den Begasern und Schließen der nicht benutzten Strecke beide Begaser parallel versorgt. Der ggf. unterschiedliche Sauerstoffverbrauch wird durch Verstellung der Durchflüsse zu den beiden Rinnen am Einlauf ausgeglichen.

- Notschaltung Kreislaufpumpen:

Bei Ausfall der Kreislaufpumpe 1 wird die Kreislaufpumpe 2 automatisch eingeschaltet. Da beide Pumpen mit Frequenzumrichter betrieben werden, sollte immer die gleiche Drehzahl eingestellt sein. Die Pumpe der CO₂-Entgasung läuft weiter. Beim Ausfall beider Kreislaufpumpen wird die CO₂-Pumpe auf maximalen Durchfluss geschaltet. Bei Ausfall der CO₂-Pumpe wird die in Betrieb befindliche Kreislaufpumpe auf maximalen Durchfluss geschaltet.

- Automatischer Anlauf Notstromaggregat (Grundwasserpumpe und Gebläse für den Schwebbettfilter sind im Havariefall nicht Notstrom gespeist).

- Elektroenergieverbraucher und Notstromversorgung:

- Grundwasserpumpe - Selbstansaugende Schmutzwasserpumpe Typ A40-110B/A (Fa. Linn), 0,55 kW, Durchflusseinstellung mit Frequenzumrichter, Begleitheizung der Saugleitung der Grundwasserpumpe (Einschaltung bei Ausfall der Grundwasserpumpe)
- Reservepumpe für den Grundwasserzufluss, manuelle Inbetriebnahme
- Kreislaufwasserpumpe 1 - Rohrpumpe L3 Kennlinie 06 (Fa. Linn Gerätebau), 1,05 kW, über Stecker angeschlossen, Durchflusseinstellung mit Frequenzumrichter
- Kreislaufwasserpumpe 2 - Rohrpumpe L3 Kennlinie 06 (Fa. Linn Gerätebau), 1,05 kW, über Stecker angeschlossen
- CO₂-Pumpe - Rohrpumpe L3 Kennlinie 07 (Fa. Linn Gerätebau), 1,4 kW, über Stecker angeschlossen, Durchflusseinstellung mit Frequenzumrichter
- Lüfter CO₂-Kaskade - Einstufiger Rohrventilator MV 315 (Fa. Helios) mit Drehzahlsteller, 0,24 kW
- 2 Stück schwimmende O₂-Niederdruckbegaser 1 - Typ KR 94-L (Fa. FAS), je ca. 0,4 kW über Stecker angeschlossen
- Gebläse für Moving bed-Filter: Seitenkanalverdichter SKV-NS-145-3-926, 1,3 kW, über Stecker angeschlossen, Durchflusseinstellung mit Frequenzumrichter
- Gebläse zum Rückspülen der Filter: Seitenkanalverdichter SKV-NS-530-3-917, 4 kW, nur zum Rückspülen in Betrieb, über Stecker angeschlossen, Durchflusseinstellung mit Frequenzumrichter mit Funkfernbedienung
- Rückspülpumpe Enteisung: Schmutzwasser-Tauchpumpe Typ Unilift AP 12.40.08.3 Fa. Grundfos, 1,2 kW
- 2 Futterautomaten, Profi-Futterstreuer 60 kg Fa. Linn-Gerätebau mit interner Zeitplansteuerung, 220 V,

- Messgeräte: MID-Durchflussmesser (Optiflux 2100 C Fa. Krohne) Grundwasserdurchfluss, CO₂-Messgerät (OxyGuard CO₂ Analyser, Fa. OxyGuard), Ultraschall-Durchflussmesser (OCM F, Fa. Nivus) Kreislaufwasser, Ultraschall-Durchflussmesser (NFP Fa. Nivus) Bypassleitung Biofilter
- Automatisierungssystem einschließlich SC 1000 und drei programmierbare Bildschirmschreiber
- automatisch anlaufendes Notstromaggregat, GEKO- Stromerzeuger mit Notstartautomatik, GEKO 7401 ED AA/HEBA, Stromerzeuger mit HONDA- 4- Takt Benzinmotor u. Elektrostart, 230/5,5kW/ 400V/6,58 kW, Notstromautomatik
- Motorschutzschalter für alle Pumpen, Begaser und Gebläse, Automatikumschaltungen
- Magnetventile auf der Sauerstoffschalttafel in den beiden Stell- und Regelstrecke für den Sauerstoffdurchfluss mit Hand-Automatik-Umschaltung
- Operative Elektroanschlüsse über Steckdosen 3 * 230 V und 230 V

- Teile Mess- und Automatisierungsanlage
- Sauerstoff- und pH-Messung: Mess- und Displaymodul mit 0 - 4 mA Einheitssignalen und folgenden Elektroden bzw. Messungen: jeweils eine O₂-Messelektrode am Ablauf der beiden Fischhaltungsrinnen, eine O₂-Messelektrode im Zulauf, d.h. im Begasungsbecken und eine O₂-Messelektrode im Pumpensumpf, parallele Temperaturmessung mit Hilfe der pH-Messelektrode am Ablauf der Fischhaltungsrinnen, pH-Messelektrode am Ablauf einer der beiden Fischhaltungsrinnen (SC 1000 Fa. Hach-Lange)
- Durchflussmesser in der Grundwassersaugleitung - MID-Durchflussmesser (Optiflux 2100 C Fa. Krohne) Grundwasser-Durchflussmessung und Summierung der Messwerte durch das Messgerät und die SPS
- CO₂-Messung am Ende einer der beiden Fischhaltungsrinnen (OxyGuard CO₂ Analyser, Fa. OxyGuard)
- Durchflussmesser Kreislaufwasser - Ultraschall-Durchflussmesser (OCM F, Fa. Nivus)
- Durchflussmesser Bypassleitung Biofilter - Ultraschall-Durchflussmesser (NFP Fa. Nivus)
- Speicherprogrammierbare Steuerung SPS Siemens Logo 12/24 RC mit zwei Erweiterungsmodulen DM16 24 R zur Signalverarbeitung und Ausgabe der Steuerungs-, Regelungs- und Alarmierungssignale sowie Notschaltungen
- GSM-Modem Insys GSM4.3 zur Alarmierung über Handy
- Speicherprogrammierbare Steuerung SPS Siemens Logo zur Steuerung der Notschaltungen der Kreislaufpumpen und der CO₂-Pumpe
- Drehstromzähler
- 3 Digitale Grafik-Schreiber (2 Stück programmierbare Bildschirmschreiber Jumo Logoscreen 500 cf, 1 Stück Honeywell eZtrend QXE)
- Notstromaggregat mit Notstartautomatik (GEKO 7401 ED AA/HEBA Fa. GEKO)
- Schaltkontakte an den einzelnen Motorschutzschaltern und Fehlerstromschutzschaltern der überwachten Aggregate zur Auslösung von Alarmen oder Notschaltungen
- Magnetventile auf der Sauerstoffschalttafel in den beiden Stell- und Regelstrecke für den Sauerstoffdurchfluss mit Hand-Automatik-Umschaltung
- Kontaktmanometer (hilfsenergieelos) in der O₂-Ringleitung
- Sauerstoff-Massedurchflussmesser (Batteriebetrieben) in der O₂-Zuleitung
- Wasserstandsalarmierung im Pumpensumpf (Schwimmerschalter Champ 2 (Schaltgeräte GmbH & Co. KG Norden)