

Endbericht zum Projekt

„Entwicklung einer Container- Kreislaufanlage zum Aufbau der Vertragsproduktion von Süßwasserfisch“

LF3-FÖ-1320/002-2016 Innovation in der Aquakultur

LF3-FÖ-1469/002-2016 Produktive Investitionen in der Aquakultur



Autoren:

Ing. Gottfried Pichler gottfried.pichler@waldland.at

Eva Maria Obermüller projekte@waldland.at

Bundesamt für Wasserwirtschaft - Ökologische Station Waldviertel oeko@baw.at

MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LAND UND EUROPÄISCHER UNION



EUROPÄISCHE UNION

Europäischer Meeres-
und Fischereifonds:
Hier investiert Europa in
eine nachhaltige Fischerei.



1. Einleitung

Innovative Konzepte und Visionen für die Landwirtschaft im Waldviertel zu entwickeln und zu realisieren ist oberste Prämisse des Waldviertler Sonderkulturenvereins. Im Verein sind mittlerweile über 820 Betriebe aus dem Waldviertel Mitglied.

Während die Karpfenzucht in Teichwirtschaft im Waldviertel schon lange Tradition hat, stellt die Produktion von Süßwasserfisch in Kreislaufanlagen eine völlig neue Einkommensalternative für die Landwirte dar. Mit dem Aufbau einer bäuerlichen Vertragsproduktion soll langfristig der Versorgungsgrad an Süßwasserfisch gesteigert werden, die beim Start des Projekts bei nur 34% lag.

Im Rahmen dieses Projektes sollte nun ein Container mit integrierter Kreislaufanlage entwickelt werden. Für maximal ein Jahr wird interessierten Landwirten so die Möglichkeit geboten, mit intensiver Betreuung seitens Waldland die Fischzucht am eigenen Betrieb zu erlernen. Nach Ablauf des Jahres kann der Container problemlos abgebaut, zum nächsten Interessenten transportiert und in Betrieb genommen werden.

Für die Landwirte kann so eine umfassende Einschulung und sichere Entscheidungshilfe für die Investition in eine eigene Kreislaufanlage für die Vertragsproduktion mit Waldland angeboten werden. Zusätzlich kann so die steigende Nachfrage nach „Waldlands Edelwels“ erfüllt werden.

2. Förderung durch den Europäischen Meeres- und Fischereifonds

Die Erhöhung des Selbstversorgungsgrads an Süßwasserfisch ist nicht nur hier Projektziel, sondern auch als wesentlicher Bestandteil in der österreichischen Strategie zur Förderung der nationalen Fischproduktion „Aquakultur 2020“ verankert. So soll bis 2020 eine Produktionssteigerung von Süßwasserfisch aus Kreislaufanlagen von 150t auf 500t erreicht werden. Die Zuschüsse aus dem Europäischen Meeres- und Fischereifonds sind für das Erreichen dieser Ziele ein essentieller Bestandteil. Projekte wie unser Container werden hier nicht nur gefördert, sondern oft dadurch erst ermöglicht.

Unser Projekt „Entwicklung einer Container- Kreislaufanlage zum Aufbau der Vertragsproduktion von Süßwasserfisch“ gliedert sich in zwei Teilprojekte. Das erste Teilprojekt deckt Innovationen in der Aquakultur ab. Für sämtliche Planungs-, Beratungs- und Personalkosten konnte uns ein Fördersatz von 50% bewilligt werden. Das zweite Teilprojekt bezieht sich auf den Fördergegenstand „Produktive Investitionen in der Aquakultur“. Hier konnten bei einem bewilligten Fördersatz von 40% die Kosten für den Container und die Kreislaufanlage selbst abgerechnet werden.

Wie auf der Erinnerungstafel am Container ersichtlich, kommen die Fördermittel selbst zu unterschiedlichen Sätzen von der EU, Bund und Land.

Unser Container bzw. der Aufbau einer langfristigen, nachhaltigen Vertragsproduktion leistet einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Ziele des Europäischen Meeres- und Fischereifonds 2014 – 2020:

1. Steigerung der inländischen Produktion,
2. Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der betrieblichen Strukturen,
3. Verbesserung der Rentabilität der Unternehmen und der Produktionsbedingungen der Unternehmer,
4. Sicherung und Ausbau eines ausreichend hohen Beschäftigungsniveaus,
5. Steigerung der Qualität der Erzeugnisse der Fischerei und der Aquakultur,
6. Verbesserung der Versorgungslage mit Erzeugnissen der Fischerei und der Aquakultur,
7. Verbesserung der Haltungs- und Hygienebedingungen,
8. Verringerung der Umweltbelastung und Verbesserung der Wasserqualität,
9. Anpassung der Kapazitäten an den Markt durch eine höhere Diversität von Produkten,
10. Vernetzung der Akteure und Aktivitäten im Bildungs- und Vermarktungsbereich,
11. Erhebung von Daten im Fischereisektor,
12. Vermehrte Information der Verbraucher über die Vorteile einer biologischen oder regionalen Erzeugung.

Wichtig für das Erreichen dieser Ziele sind aber auch die in der Sonderrichtlinie festgelegten Bedingungen für eine Förderzusage. So musste unter anderem neben einer detaillierten Kostenplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung im Vorfeld auch die berufliche Qualifikation der Förderwerber nachgewiesen werden. Dieser gemeinsame Endbericht mit dem Bundesamt für Wasserwirtschaft, das die wissenschaftliche Begleitung übernahm, war wie der Versicherungsnachweis und ausführlichen Personalaufzeichnungen mit der Endabrechnung vorzulegen. Die Bewilligung von Fördermitteln erfordert somit eine gründliche Projektplanung und transparente Durchführung. Gleichzeitig wird somit aber auch der sorgsame Umgang mit diesen Geldern sichergestellt.

3. Fischzucht-Container Kreislaufanlage

3.1. Anlagenbeschreibung

In einen 45' Lastencontainer wurde nach dem Vorbild der Lehr- und Versuchskreislaufanlage am Waldlandhof eine komplette Kreislaufanlage integriert. Die Kreislaufanlage besteht im Wesentlichen aus den Fischbecken, der mechanischen und biologischen Wasserreinigung, der Fütterungsanlage sowie der Anlagensteuerung.

Die optimale Anordnung und Dimensionierung der Anlagenteile stellte aufgrund des geringen Platzangebots im Container eine besondere Herausforderung dar.

Die Inbetriebnahme erfolgt nach dem Plug- and Play- Prinzip, nach Anschluss an Strom, Heizung, Frischwasser und Abwasser ist die Anlage in kürzester Zeit betriebsbereit.

Das Produktionsvolumen umfasst jährlich etwa 8 – 10 t Wels (4 t Edelwels Filet).



Abbildung 1: Transport des Containers



Abbildung 2: Erstaufbau der Kreislaufanlage

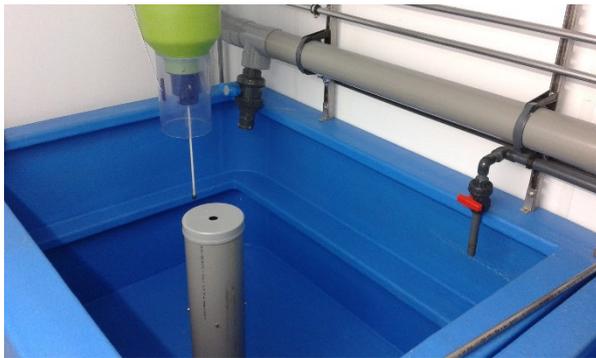


Abbildung 3: Detailansicht Fischbecken



Abbildung 4: Entgasungsturm (rechts) und MovingBed- Biofilter (links)

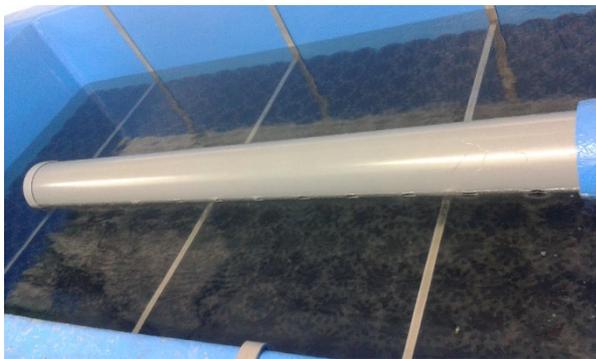


Abbildung 5: mechanische Sedimentation



Abbildung 6: Anlagensteuerung und Anschlüsse

3.2. Container Entwicklung

Planung und Erstaufbau der Container - Kreislaufanlage erfolgten in intensiver Zusammenarbeit mit der Firma PAL Anlagentechnik GmbH und der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft. Nach Anlieferung des Containers Anfang September 2016 konnten Mitte September die ersten Fische eingesetzt werden. Erst nach umfassender Erprobung und Anlagenoptimierung am Waldlandhof wurde der Container am 23. Mai 2016 erstmals zu einem Landwirt überstellt und in Betrieb genommen.

4. Aufbau der Vertragsproduktion von Süßwasserfisch

Mit der Fischzucht-Container-Kreislaufanlage kann der Waldviertler Sonderkulturenverein interessierten Landwirten einen optimalen Einstieg in die Vertragsproduktion von Süßwasserfisch anbieten. Der Aufbau einer Kreislaufanlage ist mit immensen Investitionskosten verbunden, mit der Bewirtschaftung des Containers erhalten die Landwirte eine fundierte Entscheidungsgrundlage ohne finanzielles Risiko.

Während das notwendige Fachwissen unter anderem im Grundkurs zur Aquakultur (Bundesamt für Wasserwirtschaft) vermittelt wird, können Interessenten mit dem Fischzucht-Container am eigenen Hof praktische Erfahrungen sammeln. Ein besonderer Aspekt ist dabei die hohe Betreuungsintensität bei der Bewirtschaftung einer Kreislaufanlage im Gegensatz zur traditionellen Teichwirtschaft. Die notwendige tägliche Betreuung ist nicht nur von anlagentechnischer Seite gefordert, sondern kommt vor allem auch der Fischgesundheit und schlussendlich dem Bewirtschaftungserfolg zugute. Diese Bereitschaft zur intensiven Betreuung und Weiterentwicklung der Anlage seitens der Landwirte ist Grundvoraussetzung für den Verleih des Containers.

Der Container wird vom Waldviertler Sonderkulturenverein über einen Zeitraum von bis zu einem Jahr kostenlos, ohne Verrechnung von Mietkosten, zur Verfügung gestellt. Die während dieser Zeit produzierten Lebendfische werden am Waldlandhof angeliefert, wo sie zu Fischfilets verarbeitet werden.

Die Inbetriebnahme erfolgt in Zusammenarbeit mit Waldland, dank Plug-and-Play Konzept ist ein rascher Betriebsstart möglich. Auch während des laufenden Betriebes stehen unsere Experten bei Fragen oder Problemen jederzeit zur Verfügung.

Aus diesem Konzept ergibt sich für interessierte Landwirte eine ganze Reihe von Vorteilen:

- Umfassende, praktische Einschulung für das Bewirtschaften von Kreislaufanlagen
- Aufstellung am eigenen Hof
- Intensive Betreuung seitens Waldland
- Kein finanzielles Risiko
- Erlös aus dem Fischverkauf an Waldland

Auf diese Weise soll interessierten Landwirten die Investition in eine eigene Kreislaufanlage schmackhaft gemacht werden, um langfristig die regionale, nachhaltige, bäuerliche Produktion von Süßwasserfisch zu etablieren und den Selbstversorgungsgrad zu erhöhen.

5. Wissenschaftliche Begleitung

Für sämtliche innovative Projekte ist eine partnerschaftliche Zusammenarbeit des Förderungswerbers mit einer unabhängigen, öffentlichen oder privaten, wissenschaftlichen Einrichtung, Grundvoraussetzung für eine Förderzusage. Hier erfolgte die wissenschaftliche Begleitung durch die Bundesanstalt für Wasserwirtschaft. Ein besonderes Augenmerk wurde bei diesem Projekt auf die Optimierung der Filtertechnik gelegt.

6. Resümee und Ausblick

Mit dem Bau des Prototypen einer Container-Kreislaufanlage setzte der Waldviertler Sonderkulturenverein den nächsten wichtigen Schritt zum Aufbau der Vertragsproduktion von Süßwasserfisch. Genau dieses Ziel verfolgt auch der Europäische Meeres- und Fischereifonds 2014 – 2020.

Nicht nur das einmalige Angebot zum Einstieg in die Aquakultur am eigenen Hof, sondern vor allem die innovative Idee zum Aufbau einer Kreislaufanlage in einem mobilen Container sorgten auch für ein unglaubliches Echo weit über das Waldviertel hinaus.

Darüber hinaus zeigt das Projekt, dass Kreislaufanlagen ungemein flexibel aufgebaut werden können- sei es im großen Stil oder wie hier im Projekt bei sehr eingeschränktem Platzangebot.

Die Anlage steht noch bis Frühjahr 2017 bei unserem ersten Interessenten in Nöhagen (Bezirk Krems), dann wird sie umgestellt zu einem Betrieb nach Mühldorf in der Wachau. Uns erreichen aber laufend neue Anfragen von Landwirten, die mit unserem Prototyp nur über Jahre zufrieden gestellt werden könnten. Aus diesem Grund ist derzeit bereits ein zweiter Fischzucht-Container in Planung.

Die Grundidee des Projekts hat sich somit im Laufe des Projekts nicht nur bewährt, sondern konnte auch mit großem Erfolg umgesetzt werden.

7. Anhang

Bericht zur Funktion der Kreislaufanlage im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung (Bundesamt für Wasserwirtschaft- Ökologische Station Waldviertel)

Entwicklung einer Container-Kreislaufanlage zum Aufbau der Vertragsproduktion von Süßwasserfisch

LF3-FÖ-1320/002-2016 Innovation in der Aquakultur
LF3-FÖ-1469/002-2016 Produktive Investitionen in der Aquakultur

Bericht zur Funktion der Kreislaufanlage im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung

Anita Hutmann, Christian Bauer & Martin Fichtenbauer

GZ: 3-0/2017

Bundesamt für Wasserwirtschaft
Ökologische Station Waldviertel
Gebharts 33
3943 Schrems
oeko@baw.at

Gebharts, 31. Jänner 2017

1 Einleitung

Der jährliche Fischverbrauch pro Person in Österreich liegt bei etwa 7 bis 8 kg. Allein der Bedarf an Süßwasserfischen kann jedoch nur zu 34 % durch heimische Produktion gedeckt werden (Versorgungsbilanz Fisch 2010, Statistik Austria). Um diesen Anteil zu erhöhen wurde das Programm „Aquakultur 2020“ entwickelt. Dieses enthält ein Maßnahmenpaket, das vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, den Fischereiverbänden und dem Bundesamt für Wasserwirtschaft erarbeitet wurde und das die Förderung der nationalen Fischproduktion und damit die Erhöhung des Selbstversorgungsgrades bei Süßwasserfischen auf 60 % bis 2020 zum Ziel hat. Einer dieser Maßnahmenpunkte sieht die Ausweitung der Produktion durch Innovationen vor, wie sie die Kreislauftechnik mit einer sparsamen, effizienten Nutzung von Ressourcen bieten kann (Blaas 2012).

Geschlossene Kreislaufanlagen zeichnen sich dadurch aus, dass das Produktionswasser größtenteils wiederverwendet wird, der tägliche Wasserbedarf beträgt maximal 10 bis 15 % des Anlagenvolumens, kann aber auch, je nach Technik, weit darunter liegen. Durch den geringen Wasserverbrauch entfällt daher die Abhängigkeit von Oberflächengewässern als limitierender Faktor für die Fischproduktion (Schmidt-Puckhaber 2004). Um aber die Wasserqualität auf einem Niveau zu erhalten, das die Fischgesundheit und den Produktionserfolg gewährleistet, müssen Stoffwechselprodukte und Futterreste aus dem Produktionswasser entfernt werden. Dies wird mit dem Einsatz entsprechender biologischer und mechanischer Verfahren bewerkstelligt (Lawson 1995, Timmons & Ebeling 2010). Die Optimierung dieser Technologie sowie die Vermeidung instabiler Systemverhältnisse und damit die Senkung des Produktionsrisikos sind im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit von großer Bedeutung. Hierfür sind neben einem umfassenden theoretischen Verständnis der Abläufe in solchen Anlagen vor allem auch Erfahrungswerte aus der Praxis maßgeblich. Von diesen können nicht nur Neueinsteiger profitieren, sondern sie können auch Wegbereiter für zukünftige innovative Projekte sein.

In diesem Sinne wurde, gefördert vom Land Niederösterreich, in einer mit Waldland, der Landwirtschaftlichen Fachschule Edelfhof, dem Verein Land-Impulse und dem Bundesamt für Wasserwirtschaft ein Pilotprojekt ins Leben gerufen, in dessen Rahmen die 1. Lehr- und Versuchskreislaufanlage Österreichs auf einer Grundfläche von 150 m² bestehend aus zwölf Mast-, zwei Setzlingsbecken, zwei Sedimentationsbecken und einem Stationärtropfkörper errichtet wurde. Das Produktions-Wasservolumen beträgt 20 m³ und ermöglicht eine Jahresproduktion von ca. 20 t Afrikanischen Raubwels (*Clarias gariepinus*). Der Erstbesatz erfolgte im April 2013.

Nach der Etablierung der ersten Anlage wurde im September 2015 eine weitere in Betrieb genommen, dabei handelt es sich um einen von Waldland entwickelten Spezial-Fischcontainer, der von der PAL Anlagenbau GmbH ausgeführt wurde. Dieser Anlagentyp ist bereits mit allen erforderlichen Komponenten ausgestattet, dazu gehört neben einem Tropfkörper ein Fließbettfilter. Das Produktionsvolumen beträgt etwa 8,5 m³, die erzielbare Jahresproduktion wird mit etwa 8 t (Wels) angegeben. Ziel ist es, einerseits Erfahrung mit einer alternativen Filtertechnik zu sammeln und andererseits die Produktion von

Afrikanischen Raubwelsen über Mitglieder von Waldland zu erweitern. Gerade für Neueinsteiger bietet der Container mit seiner überschaubaren Größe und der Vermeidbarkeit umfangreicher Baumaßnahmen Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Anlagenbau.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotprojektes durch das Bundesamt für Wasserwirtschaft wurde die Entwicklung der physikalischen und hydrochemischen Parameter entlang des Durchflusses durch die Containeranlage sowie Veränderungen über den Untersuchungszeitraum analysiert und mit den Messergebnissen von Waldland sowie mit den Produktionskennwerten in Zusammenhang gebracht.

2 Material und Methoden

Die Fischbecken der Containeranlage umfassen drei Mast- und zwei Setzlingsbecken. Das Produktionswasser, das aus diesen abgeführt wird, gelangt zur mechanischen Reinigung in ein Sedimentationsbecken. Nach dem Absetzverfahren wird das Wasser über die erste Kammer eines zweikammerigen Pumpensumpfes in einen Tropfkörper geleitet. Dieser hat aufgrund der Platzverhältnisse nur eine geringe Höhe und dient vordergründig der Entgasung und Belüftung, aber auch bereits dem Abbau organischer Substanzen. Aus der Auffangwanne des Tropfkörpers fließt das Wasser in die zweite Pumpensumpfkammer ab, von wo aus es in den Fließbettfilter gepumpt wird. Dieser Anlageteil ist für den Hauptteil der biologischen Reinigung und dabei in erster Linie für die Nitrifikation vorgesehen (Abb. 1). Teil der täglichen Routine im Betrieb der Anlage ist die Messung der Wassertemperatur in der Auffangwanne des Tropfkörpers und des pH-Wertes im Zulaufwasser der Fischbecken. An letztgenannter Messstelle wird in der Regel außerdem einmal pro Woche, gegebenenfalls auch in kürzeren Abständen, die Konzentration der Stickstoffverbindungen Ammonium, Nitrit und Nitrat bestimmt. Die Analyse der chemischen Parameter wird mit visicolor[®] ECO-Testbestecken unter Anwendung kolorimetrischer Messverfahren durchgeführt.

Die Probennahme für die Messung physikalischer und hydrochemischer Parameter durch das Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW) fand über einen Zeitraum von vier Wochen mit Beginn am 25. April 2016 an jeweils drei Tagen pro Woche statt. In den ersten beiden Wochen wurden zwei Probennahmedurchgänge pro Tag vorgenommen, der erste vor der täglichen Fütterung und Reinigung um 7:00 Uhr und der zweite eine Stunde nach Abschluss dieser Arbeiten etwa um 9:30 Uhr. Entlang des Durchflusses durch die Anlage wurden vier Messstellen beprobt. Die erste Stelle befand sich am Einlauf in die Fischbecken, die zweite am Einlauf in das Sedimentationsbecken. Die erste Kammer des Pumpensumpfes, von wo aus das Wasser in den Tropfkörper geführt wurde, war die dritte Messstelle, die vierte war die zweite Kammer, von wo aus das Wasser in den Fließbettfilter gepumpt wurde (Abb. 1). An Ort und Stelle wurden die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt sowie die –sättigung, der pH-Wert und die Leitfähigkeit mit entsprechenden Elektroden gemessen. Die ersten drei Parameter wurden an allen Messstellen erhoben, die beiden letztgenannten nur am Einlauf in den Fischbecken. Die Analyse aller weiteren Parameter erfolgte im Labor und wurde mit Ausnahme des biologischen und des chemischen Sauerstoffbedarfs für alle Proben durchgeführt. Zur Erfassung von Feststoffen wurden die Trübung mittels nephelometrischem Messverfahren und der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen durch Wiegen des Filterkuchens der

filtrierten Probe erhoben. Die Konzentrationen von Ammonium-, Nitrit-, und Nitratstickstoff wurden photometrisch bestimmt. Einmal pro Woche wurde für alle Messstellen der biologische Sauerstoffbedarf als Differenz zwischen der anfänglichen Sauerstoffkonzentration und der, die nach 48 h bei 20 °C gemessen werden konnte, ermittelt. Einmalig erfolgte am 2. Mai ebenfalls für alle Messstellen die photometrische Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs. Mittels Varianzanalysen mit Messwiederholung wurde überprüft, ob die gemessenen Parameter entlang des Durchflusses durch die Kreislaufanlagen statistisch signifikanten Veränderungen unterlagen. Der paarweise Mittelwertvergleich wurde unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur durchgeführt.

Für die Untersuchungsstelle 1 konnte ausgehend von der Gesamtammoniumstickstoffkonzentration (NH_4Ges [$mg\ L^{-1}$]), der Wassertemperatur (t [$^{\circ}C$]) und dem pH-Wert (pH) die Konzentration der undissoziierten Form dieser Stickstoffverbindung (NH_3 [$mg\ L^{-1}$]) nach folgender Formel berechnet werden (Hobiger 1996):

$$NH_3 = \frac{0,94412\ NH_4Ges}{1 + 10^{pK_A - pH}}$$

$$pK_A = 0,0925 + \frac{2728,795}{t + 273,15}$$

Die Aufzeichnungen von Waldland über den Produktionsverlauf lieferten die Grundlage für die Berechnung des Futterquotienten, der Mortalität (Verluste) und der spezifischen Wachstumsrate. Die beiden letztgenannten Kennwerte konnten dabei für den gesamten Produktionszeitraum einer Charge lediglich auf Basis von Schätzwerten für Stückgewicht und Stückzahl, die beim Besatz aus der Zählung und Wiegung einer Stichprobe und dem Gesamtgewicht abgeleitet wurden, ermittelt werden. Genau gezählt wurden die Fische erstmals am Ende der Vormast beim Umsetzen von den Setzlingsbecken in die Mastbecken und schließlich bei der Ernte. Für den Zeitraum in den Mastbecken war daher eine Berechnung der Verlustrate ausgehend von wahren Werten möglich.

Der Futterquotient (FQ) wurde mit folgender Formel errechnet (Steffens 1981):

$$FQ = \text{Futter}/\text{Zuwachs}$$

Die spezifische Wachstumsrate (SGR [%]) ergab sich aus dem mittleren Stückgewicht beim Besatz (W_0) und bei der Ernte (W_t) sowie der Mastdauer [d] nach folgender Formel (Ajiboye & Aremu 2015):

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} 100$$

Während der Untersuchungszeit wurde aufgrund eines geplanten Standortwechsels mit der Einstellung des Betriebes in der Containeranlage durch Waldland begonnen. Am 2. Mai und am 17. Mai wurde jeweils ein Becken vom Kreislauf genommen, tags darauf abgefischt und anschließend nicht wieder befüllt.

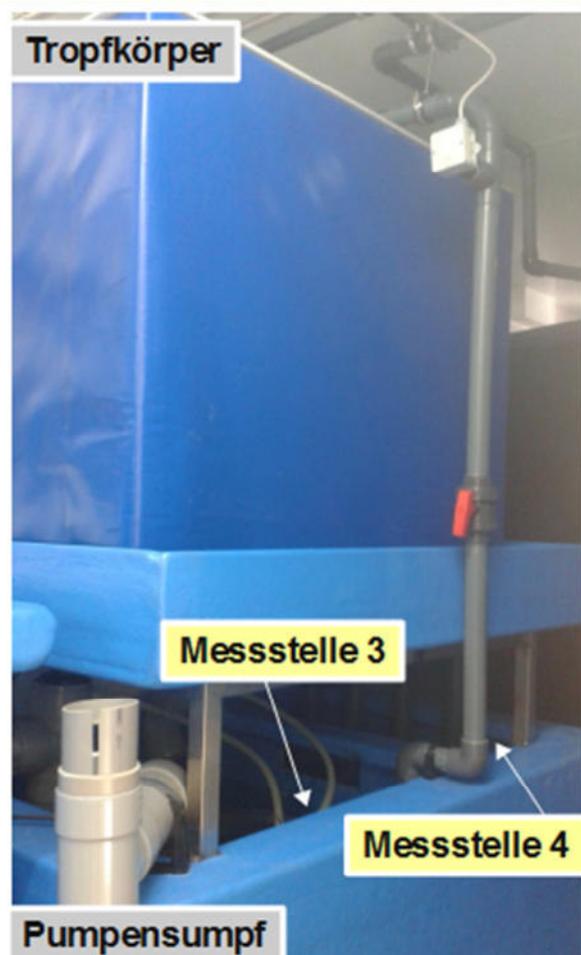
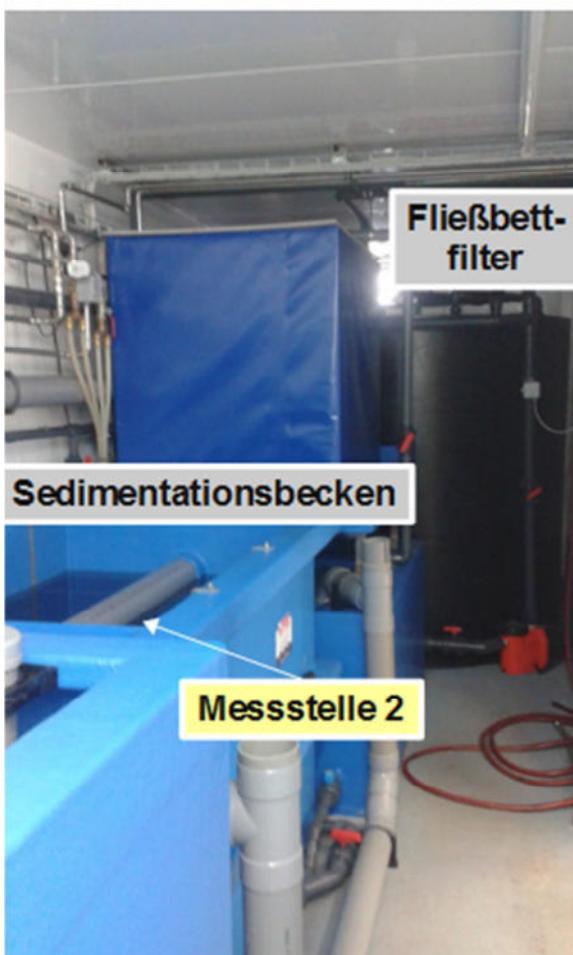


Abb. 1: Kreislaufanlage im Container. Fotos: Waldland.

3 Ergebnisse

3.1 Mittelwerte aus den Messergebnissen um 7:00 Uhr

Für die Berechnung der Mittelwerte aller physikalischen und chemischen Parameter mit Ausnahme des biologischen und des chemischen Sauerstoffbedarfs wurden die Werte, die vor der täglichen Fütterung und Reinigung erhoben worden waren, herangezogen. Die mittlere Wassertemperatur war beim Einlauf in die Fischbecken mit 26,4 °C am niedrigsten während sie an den anderen Messstellen mit 26,9 bzw. 26,8 °C annähernd gleich war. Der Sauerstoffgehalt sowie die –sättigung nahmen auf dem Weg durch die Anlage in den Fischbecken deutlich ab, im Tropfkörper wiederum kam es zu einem deutlichen Anstieg bei beiden Parametern. Die höchsten Werte waren an der 4. Messstelle mit im Mittel 6,6 mg L⁻¹ zu beobachten, nach dem Durchfluss der Fischbecken wurden im Durchschnitt nur noch 3,9 mg L⁻¹ erreicht. Sowohl an der Trübung als auch am Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen war abzulesen, dass am Einlauf in das Sedimentationsbecken der Anteil an organischen Partikeln in der Kreislaufanlage am höchsten war. Die Trübung erreichte an dieser Stelle im Mittel 4,4 NTU, der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen lag bei 31 mg L⁻¹. Die Ammoniumstickstoffkonzentration war an allen Messstellen mit Mittelwerten von 74 bis 77 mg L⁻¹ ähnlich hoch, die Differenz von 3 mg L⁻¹ zwischen dem Ein- und Auslauf des Fließbettfilters war im Verhältnis dazu marginal. Auch die Nitratstickstoffkonzentration blieb entlang des Durchflusses durch die Anlage annähernd konstant. Einen leichten Anstieg ließen die Mittelwerte für die Nitritstickstoffkonzentration von 0,27 mg L⁻¹ am Einlauf in die Fischbecken auf 0,34 mg L⁻¹ an den letzten beiden Messstellen erkennen. Der pH-Wert lag mit im Mittel 5,2 deutlich im sauren Bereich.

Tab. 1: Mittelwerte der physikalischen und hydrochemischen Parameter aus den Messergebnissen um 7:00 Uhr.

	C1	C2	C3	C4
Temperatur [°C]	26,4 ± 0,3	26,9 ± 0,3	26,9 ± 0,3	26,8 ± 0,4
O ₂ [mg L ⁻¹]	6,3 ± 0,3	3,9 ± 0,3	4,6 ± 0,4	6,6 ± 0,3
O ₂ -Sättigung [%]	85 ± 3	53 ± 4	63 ± 5	89 ± 4
Trübung [NTU]	2,6 ± 0,5	4,4 ± 1,2	3,2 ± 1,0	3,4 ± 0,5
Abfiltrierbare Stoffe [mg L ⁻¹]	14 ± 12	31 ± 19	18 ± 6	18 ± 6
NH ₄ -N [mg L ⁻¹]	74 ± 23	74 ± 23	75 ± 24	77 ± 24
NO ₃ -N [mg L ⁻¹]	105 ± 24	106 ± 25	105 ± 26	104 ± 25
NO ₂ -N [mg L ⁻¹]	0,27 ± 0,07	0,30 ± 0,04	0,34 ± 0,05	0,34 ± 0,07
Leitfähigkeit [µS cm ⁻¹]	1742 ± 356			
pH	5,2 ± 0,2			

3.1 Verteilung der Messwerte und Vergleich der Mittelwerte aus allen Messergebnissen

Die Wassertemperatur in der Kreislaufanlage bewegte sich im Bereich von 25,8 bis 27,4 °C, dabei waren die Werte an der Messstelle 1 im Allgemeinen niedriger als an den anderen. Am Einlauf in die Fischbecken lag der Median nur bei 26,2 °C und die 27 °C-Marke wurde nur bei einer Messung erreicht. Die Lagemaße an den übrigen Messstellen waren zum Großteil deutlich höher angesiedelt und beschrieben an allen dreien eine recht ähnliche Verteilung. Ein Vergleich der Mittelwerte lässt außerdem erkennen, dass der Temperaturanstieg in den Fischbecken signifikant war ($p < 0,001$), nicht aber die Unterschiede zwischen den anderen Messstellen. Das Produktionswasser erwärmte sich zunächst von 26,4 °C auf 26,9 °C. Im zweiten Pumpensumpf sank die Temperatur dann wieder geringfügig auf 26,8 °C (Abb. 2).

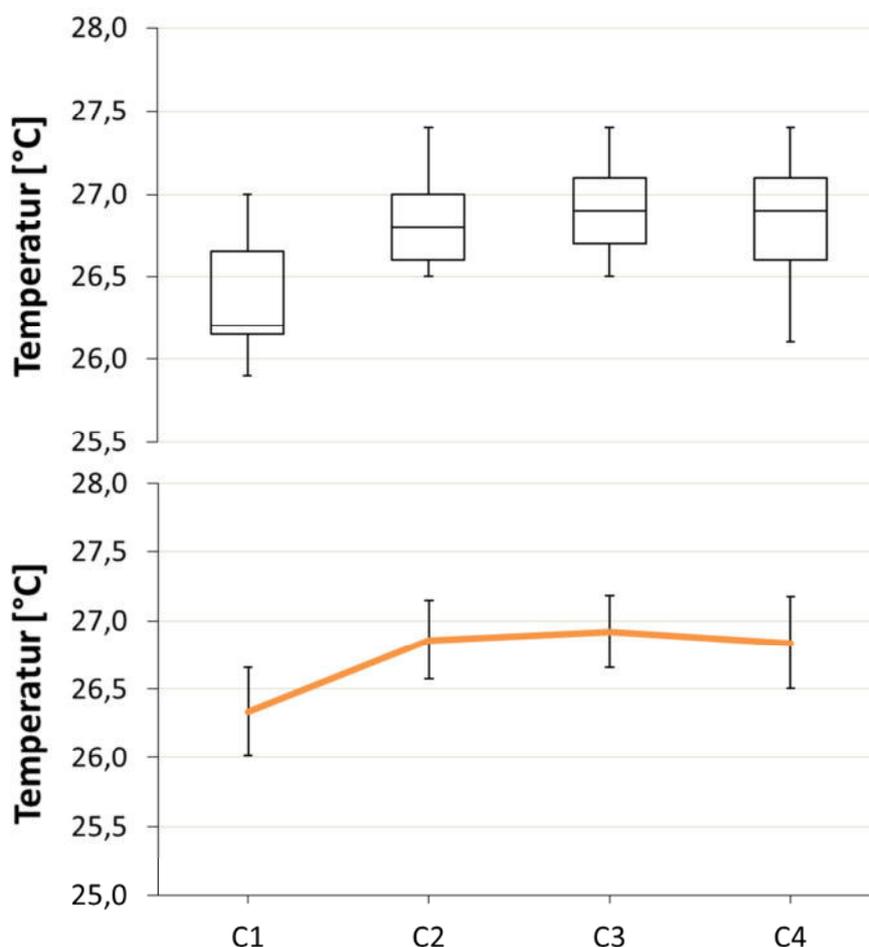


Abb. 2: Wassertemperatur an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Die Sauerstoffkonzentrationen an den einzelnen Messstellen unterschieden sich zum Teil sehr stark voneinander. Während des Durchflusses durch die Anlage kam es in den Fischbecken und in geringem Ausmaß auch im Fließbettfilter zu einer Sauerstoffreduktion. Ein leichter Anstieg war dagegen im Sedimentationsbecken zu beobachten. Eine wesentliche Erhöhung der Sauerstoffkonzentration fand im Tropfkörper statt. Das Produktionswasser erreichte die Fischbecken mit einem Gehalt von 5,7 bis 6,9 mg L⁻¹. Die Sauerstoffsättigung betrug

maximal 90 %. An deren Auslauf lag die Konzentration nur noch im Bereich von 3,3 bis 4,4 mg L⁻¹. Nach der zweiten Messstelle stiegen die Werte wieder an und nach dem Durchlauf durch den Tropfkörper an der letzten Messstelle konnten Werte gemessen werden, die in den meisten Fällen sogar höher waren als die an der Messstelle 1. Der Median lag am Einlauf in den Pumpensumpf bei 6,7 mg L⁻¹ und am Einlauf in die Fischbecken nur bei 6,15 mg L⁻¹. Die Werte für die Sauerstoffsättigung waren an der letzten Messstelle meist im Bereich von 90 % angesiedelt.

Der mittlere Sauerstoffgehalt in den Fischbecken fiel von 6,2 auf 3,8 mg L⁻¹ ab. Danach stieg er wieder an und lag im ersten Pumpensumpf bei 4,5 mg L⁻¹ und im zweiten bei 6,6 mg L⁻¹. Die Unterschiede in der Sauerstoffsättigung zwischen allen Messstellen waren signifikant ($p < 0,001$). Dies traf auch auf die Konzentrationen zu, lediglich die Signifikanz des Konzentrationsunterschiedes zwischen der zweiten Pumpensumpfkammer und dem Einlauf in die Fischbecken war mit $p = 0,003$ etwas geringer (Abb. 3 und 4).

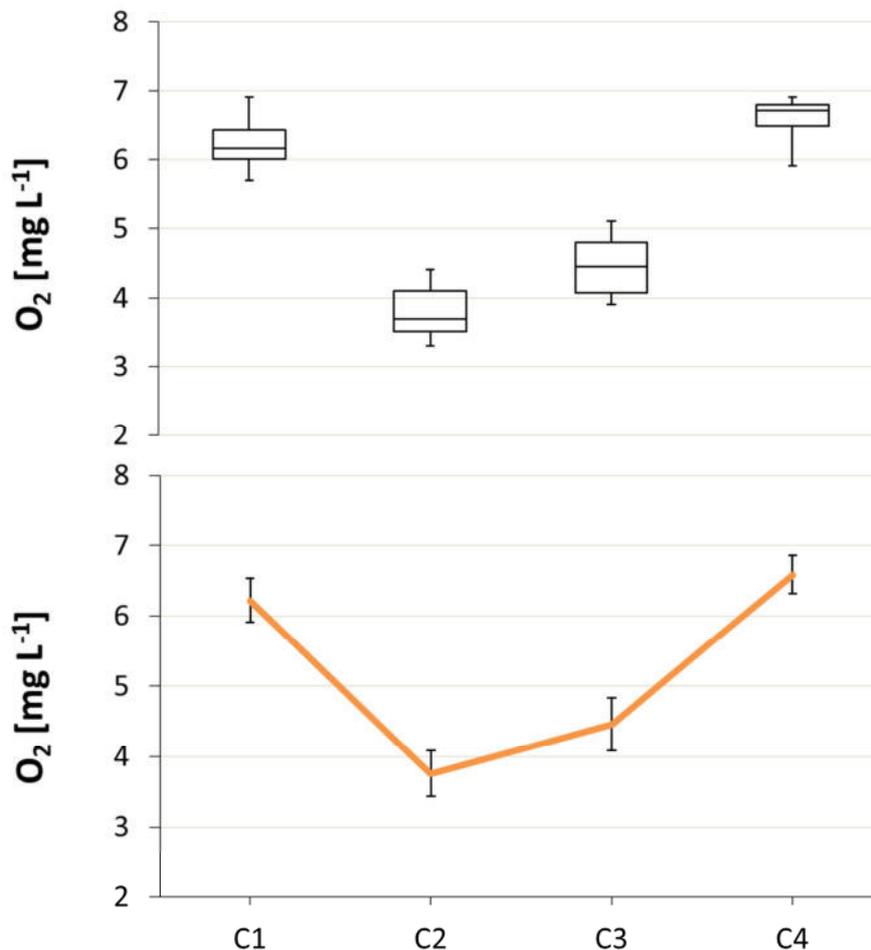


Abb. 3: Sauerstoffkonzentration an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

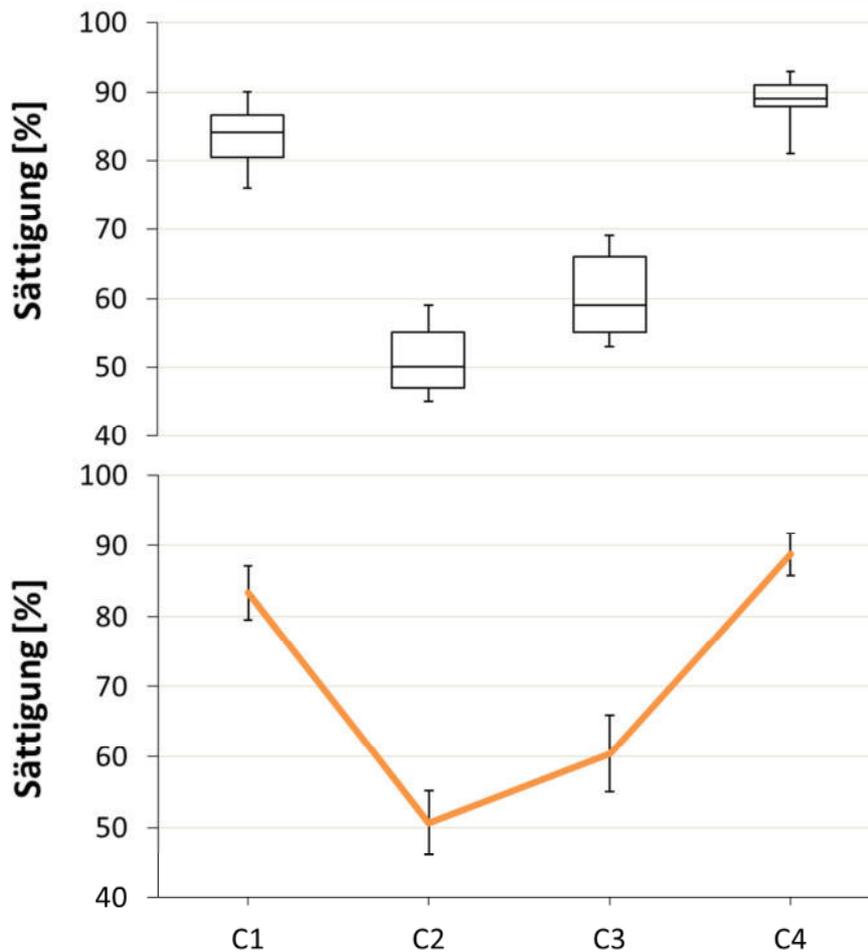


Abb. 4: Sauerstoffsättigung an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Der höchste Messwert für den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen in der gesamten Anlage wurde mit 67 mg L^{-1} am Einlauf in das Sedimentationsbecken gemessen. Der Großteil der Werte war aber deutlich niedriger, selbst an der zweiten Messstelle, an der die Spannweite besonders groß war, lagen drei Viertel der Werte unterhalb von 36 mg L^{-1} . In den Fischbecken war ein deutlicher Anstieg festzustellen. Drei Viertel der Messwerte an der ersten Messstelle befanden sich in demselben Bereich in dem das untere Viertel der Werte am Einlauf in das Sedimentationsbecken lag. Der mittlere Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen erhöhte sich in den Fischbecken signifikant von 16 auf 29 mg L^{-1} ($p = 0,002$). Und sank dann wieder ab auf 19 mg L^{-1} an den letzten beiden Messstellen. Unterhalb eines Signifikanzniveaus von 5% lag dabei auch der Unterschied zwischen der zweiten und der vierten Messstelle ($p = 0,04$, Abb. 5).

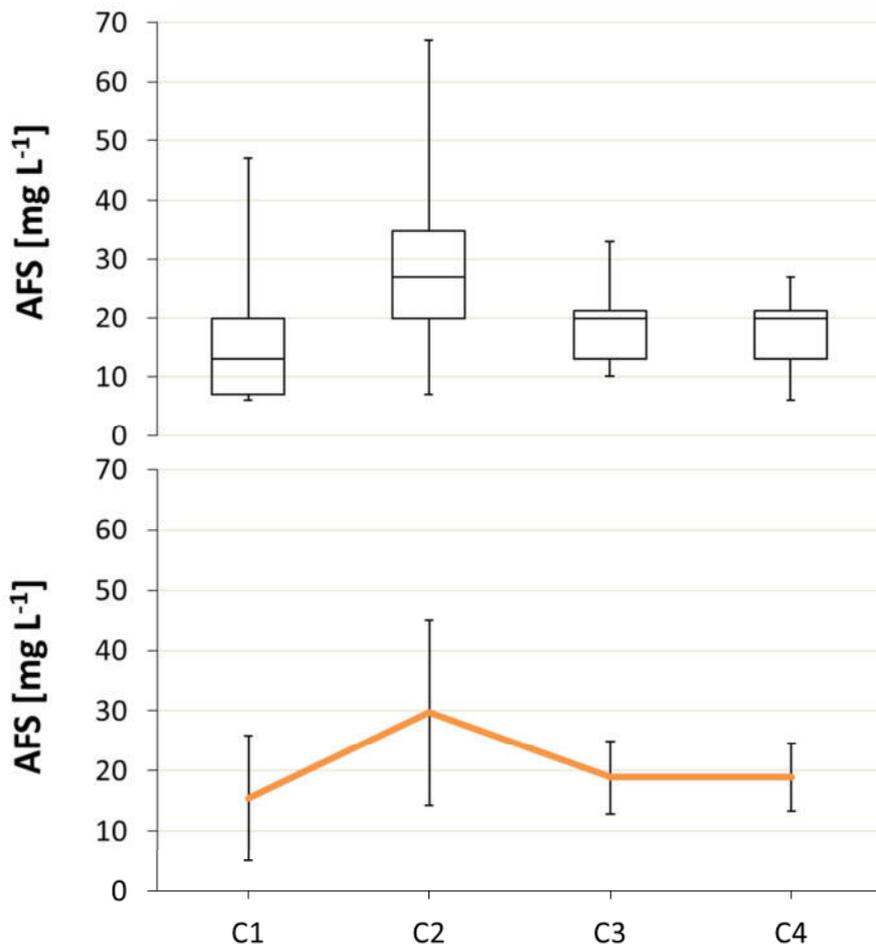


Abb. 5: Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Für die Trübung konnten Messwerte von 2 bis 7,1 NTU ermittelt werden. Sämtliche Lagemaße waren an der zweiten Messstelle am höchsten. Damit wurden ein deutlicher Anstieg der Trübe in den Fischbecken sowie eine Reduktion im Sedimentationsbecken sichtbar. Der Mittelwert zwischen den Messstellen 1 und 2 nahm zunächst von 2,9 auf 4,3 NTU zu, sank am Einlauf in die erste Pumpensumpfkammer wieder auf 3,3 NTU ab und stieg dann wieder an um an der letzten Stelle 3,6 NTU zu erreichen. Hochsignifikant unterschiedlich war der Mittelwert am Einlauf in die Fischbecken im Vergleich zu den Mittelwerten an den Stellen 2 und 4. Trotz der vergleichsweise großen Differenz von 1 NTU zwischen den Mittelwerten am Einlauf in das Sedimentationsbecken und in die erste Pumpensumpfkammer blieb diese mit $p = 0,059$ knapp insignifikant. Mit $p = 0,036$ unter dem Signifikanzniveau lag dagegen auch der Unterschied zwischen der ersten und der dritten Messstelle. (Abb. 6).

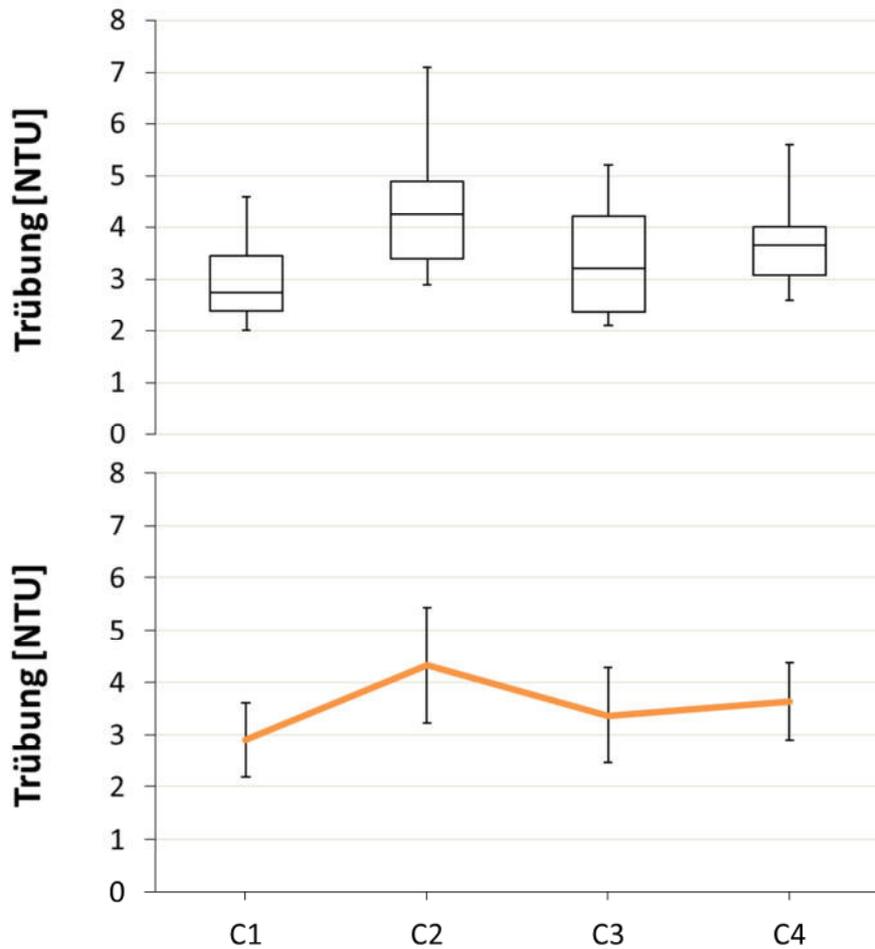


Abb. 6: Trübung an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

In der Ammoniumstickstoffkonzentration, die im Bereich von 40 bis 110 mg L⁻¹ angesiedelt war, waren während des Durchflusses durch die Anlage kaum Veränderungen festzustellen. Die Interquartilsabstände zeigten an allen Messstellen eine sehr ähnliche Variation der Werte. Die Mittelwerte waren mit 76 mg L⁻¹ an den Messstellen 1 und 3 und mit 77 und 78 mg L⁻¹ an den Stellen 2 und 4 fast identisch und auch nicht signifikant unterschiedlich (Abb. 7).

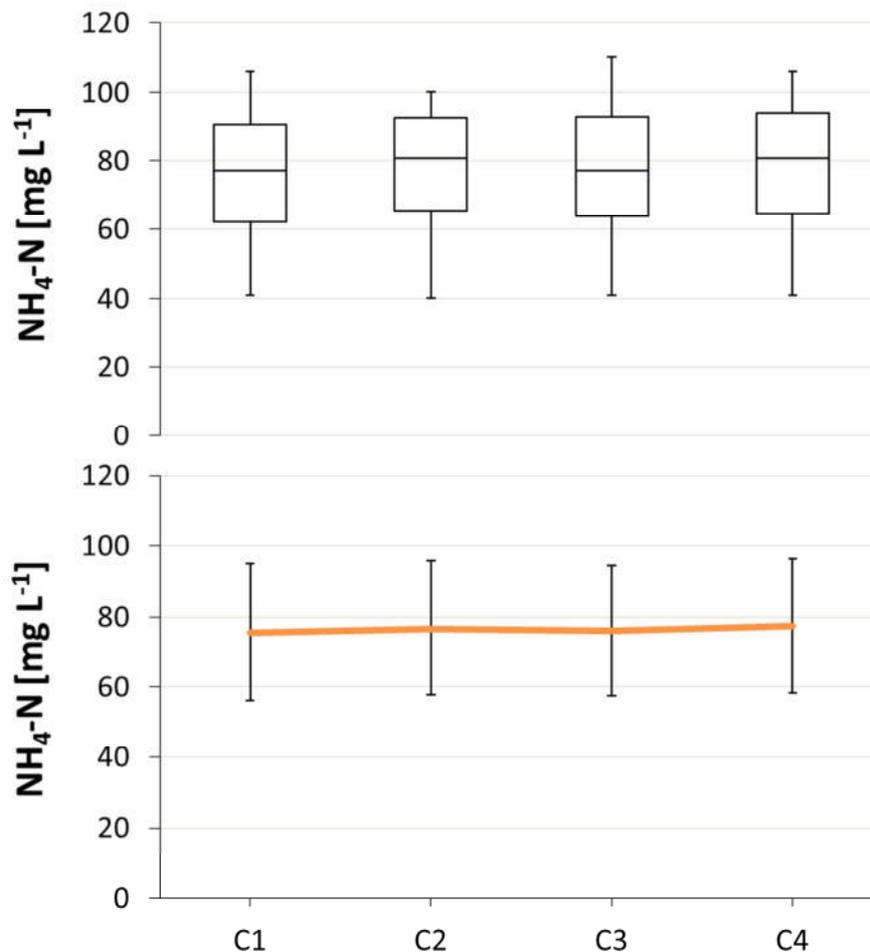


Abb. 7: Ammoniumstickstoffkonzentration an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Die Nitritkonzentration bewegt sich an den ersten beiden Messstellen in einem Bereich von 0,2 bis 0,5 mg L⁻¹. Im ersten Pumpensumpf erreichte das Maximum 0,6 mg L⁻¹. Die Mediane betragen am Einlauf in die Fischbecken und in das Sedimentationsbecken jeweils 0,3 mg L⁻¹, an den übrigen Messstellen bei 0,4 mg L⁻¹. Die Mittelwerte stiegen entlang der Messstellen kontinuierlich an, von 0,31 mg L⁻¹ am Einlauf in die Fischbecken auf 0,39 mg L⁻¹ in der zweiten Kammer des Pumpensumpfs. Signifikant unterschieden sich nur die Mittelwerte zwischen der ersten und den beiden letzten Probenstellen ($p < 0,001$, Abb. 8).

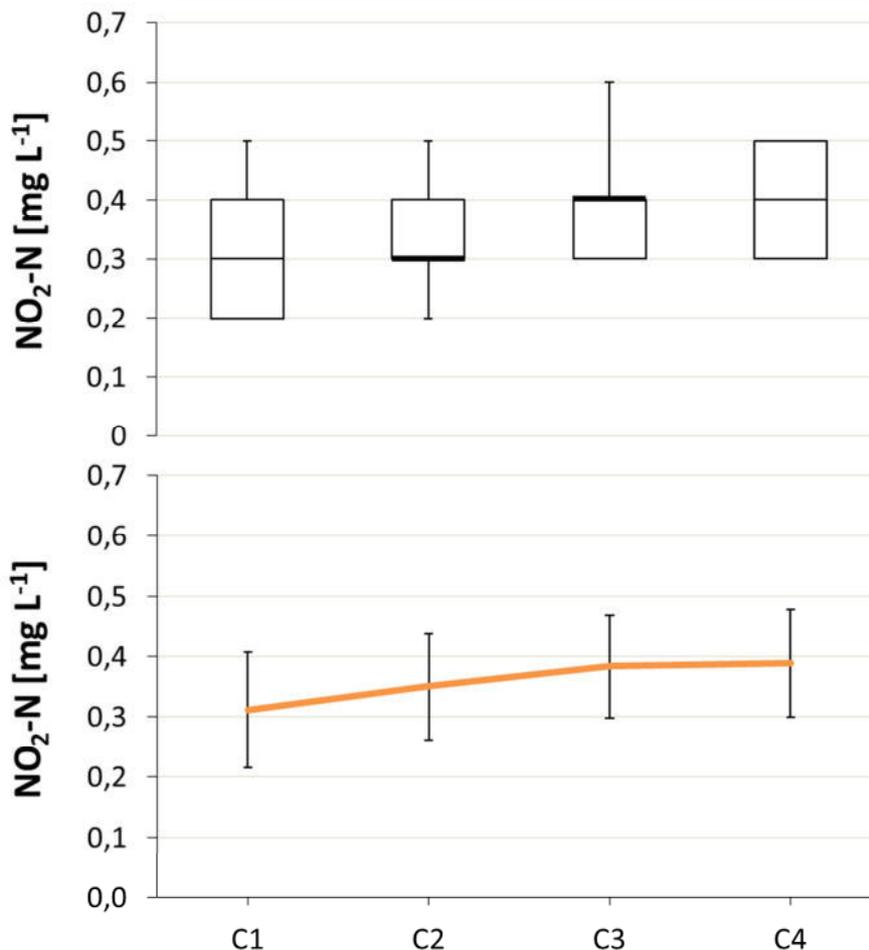


Abb. 8: Nitritstickstoffkonzentration an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Die Werte für die Nitratstickstoffkonzentration streuten in einem Bereich von 66 bis 146 mg L⁻¹. Wie bei der Ammoniumstickstoffkonzentration konnte auch bei diesem Parameter kaum eine Veränderung entlang der Messstellen ausgemacht werden. Geringe Unterschiede gab es nur in der Verteilung der Werte. Der Interquartilsabstand war am Einlauf in die Fischbecken am kleinsten, am Einlauf in den Pumpensumpf vor dem Tropfkörper am größten. Die Mittelwerte mit 108 mg L⁻¹ an den ersten beiden Stellen und 107 mg L⁻¹ an den beiden letzten waren ebenso wie die Mediane nahezu identisch. Signifikante Unterschiede zwischen den Messstellen gab es nicht (Abb. 9).

Der Biologische Sauerstoffbedarf nach zwei Tagen war am Einlauf in die Fischbecken mit 2,7 mg L⁻¹ am niedrigsten. Am Einlauf in das Sedimentationsbecken betrug der Mittelwert 3,9 mg L⁻¹. An den Messstellen 2 und 3 lag der biologische Sauerstoffbedarf mit im Mittel 3,5 und 3,6 mg L⁻¹ zwischen den Werten der ersten beiden Stellen. (Abb. 10).

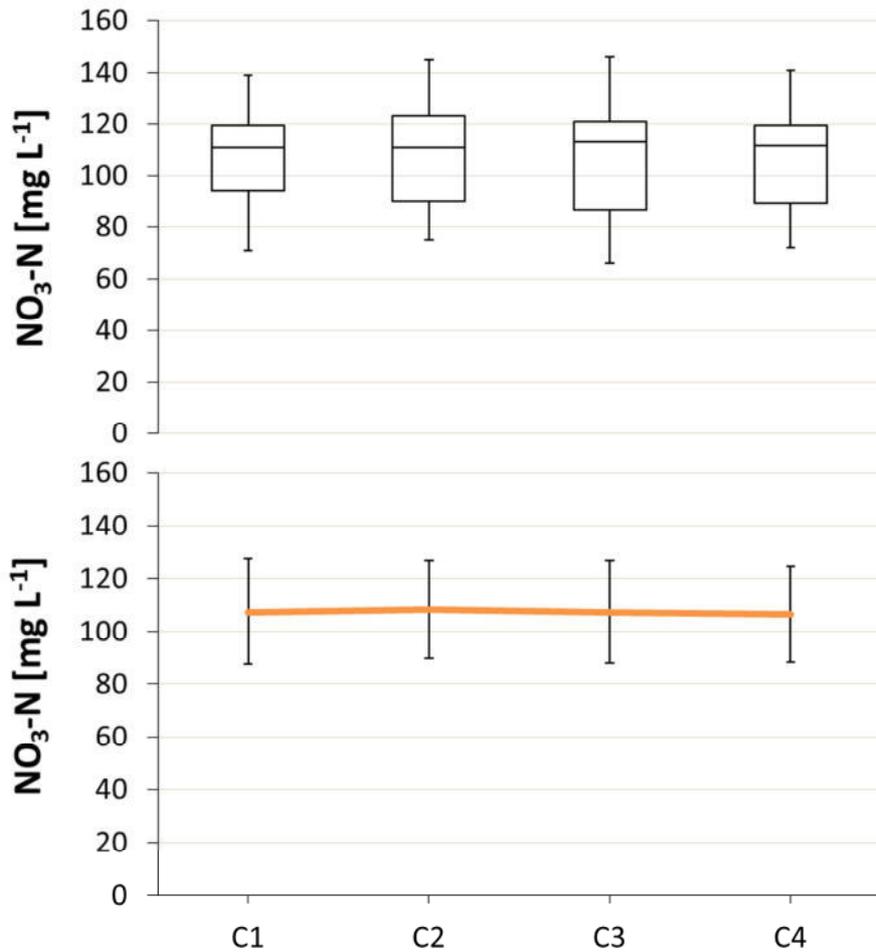


Abb. 9: Nitratstickstoffkonzentration an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

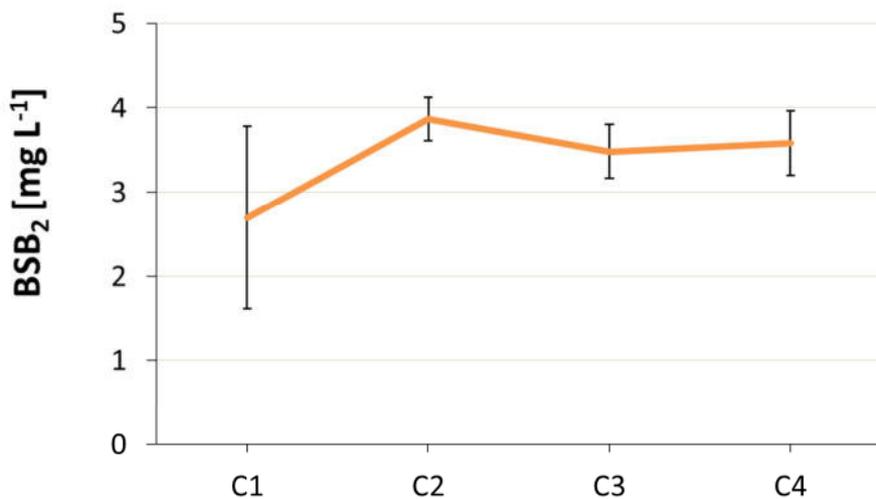


Abb. 10: Biologischer Sauerstoffbedarf nach 2 Tagen an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

Für den chemischen Sauerstoffbedarf konnte der niedrigste Wert mit 86 mg L⁻¹ am Einlauf in die Fischbecken, der höchste mit 96 mg L⁻¹ in der zweiten Pumpensumpfkammer nachgewiesen werden. Das Verhältnis von Biologischem Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen

($BSB_5 = BSB_2 / 0,54$) an dem Tag, an dem beide Parameter erhoben wurden lag bei 0,08 an den ersten beiden und bei 0,09 an den beiden letzten Messstellen. (Abb. 11).

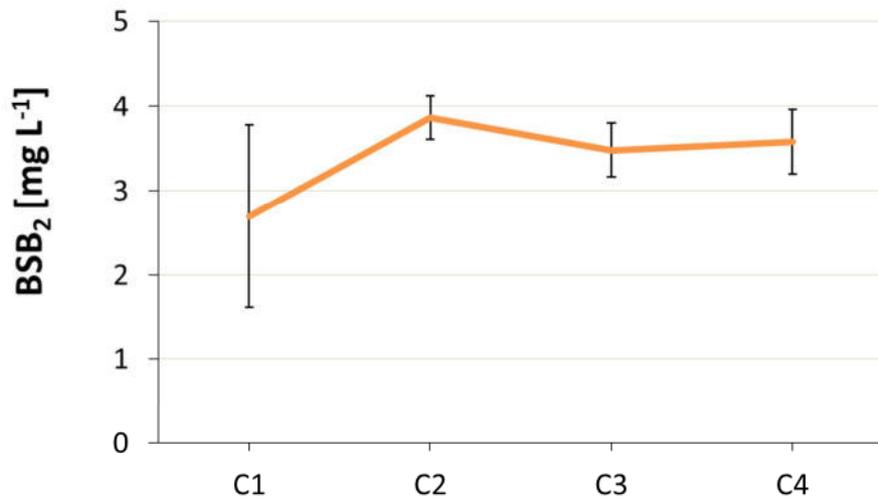


Abb. 11: Chemischer Sauerstoffbedarf an den Messstellen in der Kreislaufanlage (C1 bis C4): Verteilung der Werte (oben) und Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

3.2 Entwicklung der Werte über den Untersuchungszeitraum

Für die Betrachtung, wie sich die Messwerte über den Untersuchungszeitraum entwickelten, wurden nur die 7:00 Uhr-Ergebnisse berücksichtigt.

Im Fischcontainer war über den Untersuchungszeitraum zunächst ein Anstieg der Wassertemperatur an allen vier Messstellen zu beobachten, der in den höchsten Werten am 13. Mai mit 27 °C am Einlauf in die Fischbecken und 27,4 °C an den anderen drei Stellen endete. In der letzten Untersuchungswoche lagen die Werte wieder auf dem Niveau der ersten beiden Wochen (Abb. 12).

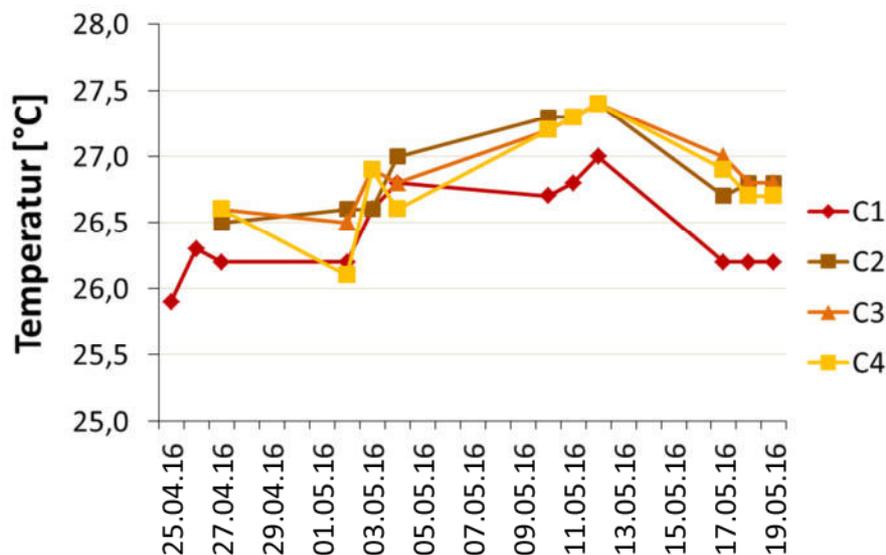


Abb. 12: Entwicklung der Wassertemperatur über den Untersuchungszeitraum.

In der Sauerstoffkonzentration bzw. der –sättigung gab es über den Untersuchungszeitraum keinen deutlichen Trend. Die größte Veränderung von einem Tag zum nächsten gab es am Einlauf in die erste Kammer des Pumpensumpfs, wo der Wert vom 10. Zum 11. Mai um $0,9 \text{ mg L}^{-1}$ und die Sauerstoffsättigung von 54 auf 66 % anstiegen (Abb. 13 und 14).

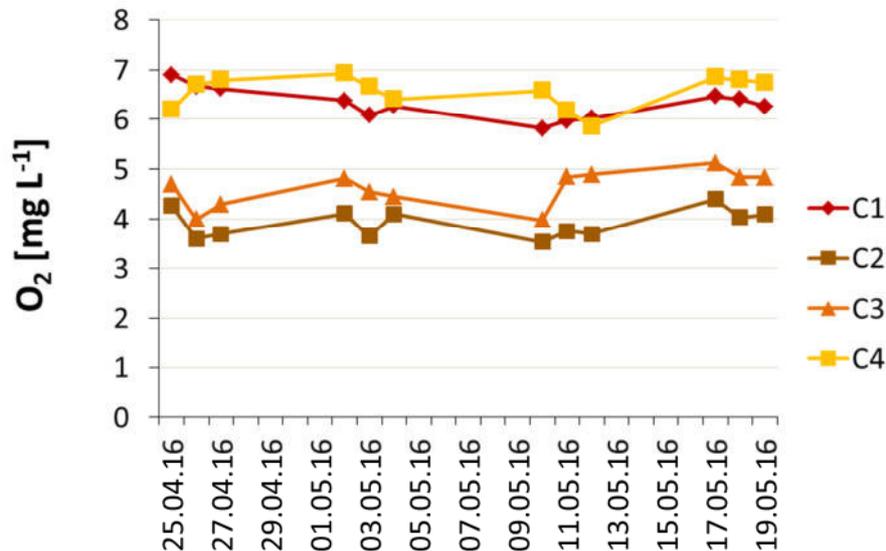


Abb. 13: Entwicklung der Sauerstoffkonzentration über den Untersuchungszeitraum.

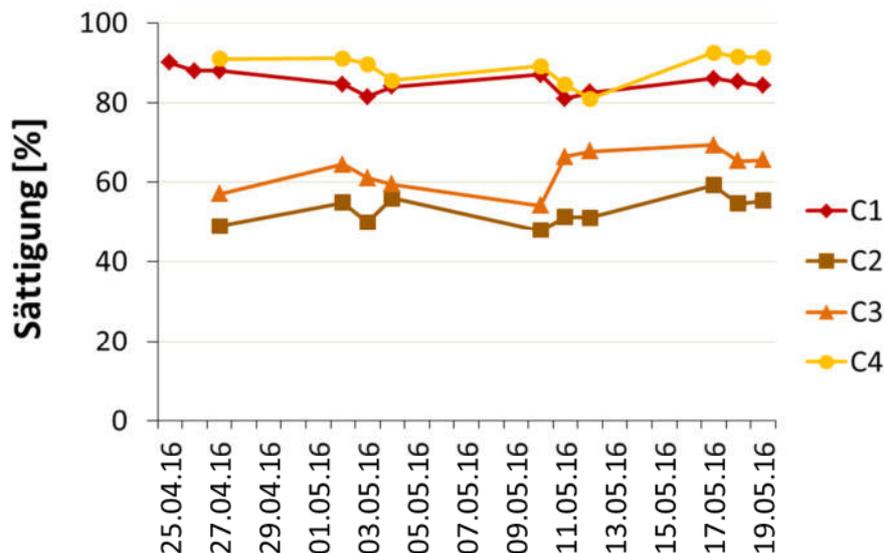


Abb. 14: Entwicklung der Sauerstoffsättigung über den Untersuchungszeitraum.

Ebenfalls keinem klaren Trend folgte die Entwicklung der Werte für die abfiltrierbaren Stoffe. Große Schwankungen von einem Tag zum nächsten waren immer wieder zu beobachten. Die Spitzenwerte von 60 und 67 mg L^{-1} wurden an den letzten beiden Untersuchungstagen am Einlauf in das Sedimentationsbecken gemessen. Auch am Einlauf in die Fischbecken wurde der höchste Wert an dieser Probenstelle mit 47 mg L^{-1} während der gesamten Zeit am vorletzten Tag festgestellt (Abb. 15).

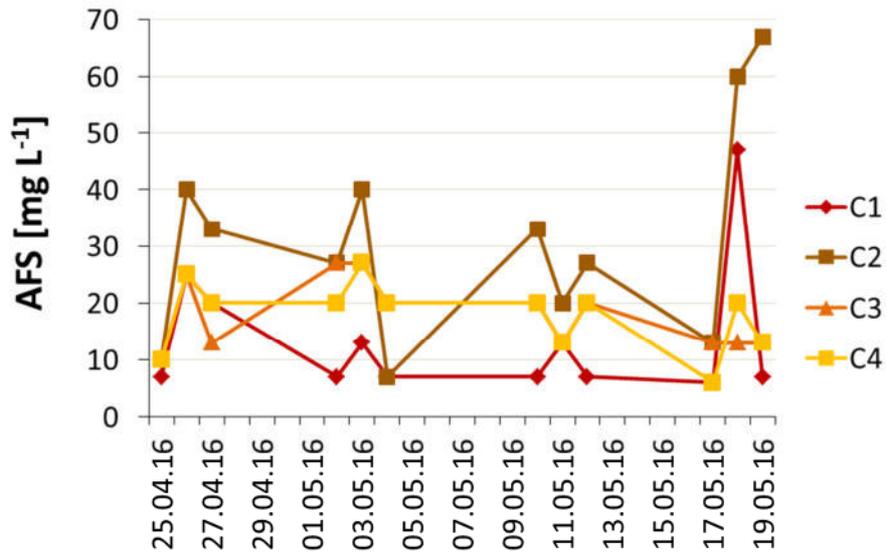


Abb. 15: Entwicklung des Gehaltes an abfiltrierbaren Stoffen über den Untersuchungszeitraum.

Die Messwerte für die Trübung lagen am Einlauf in das Sedimentationsbecken in den ersten beiden Wochen auf einem ähnlichen Niveau, wie an den Messstellen 3 und 4, nach diesem Zeitraum übertrafen die Werte an dieser Messstelle die an den anderen meist bei weitem. Am 10. Mai wurde hier der Maximalwert mit 7,1 NTU gemessen (Abb. 16).

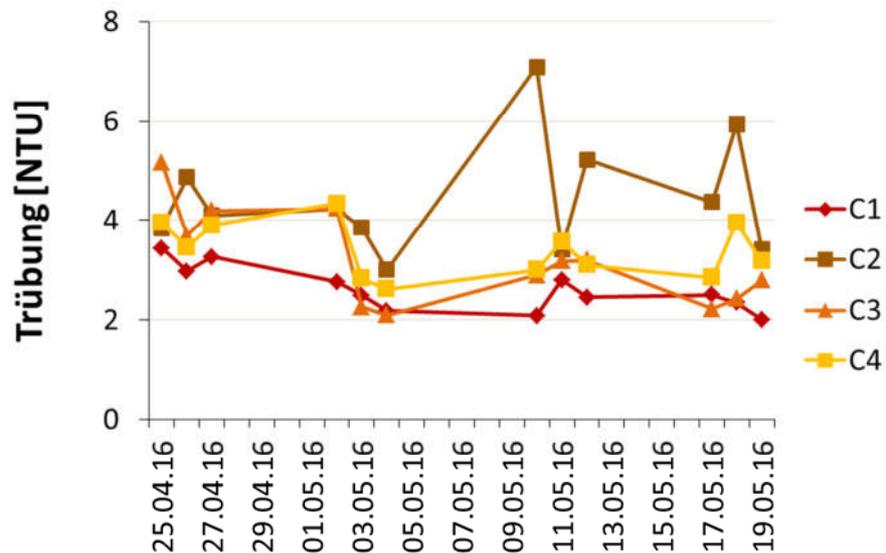


Abb. 16: Entwicklung der Trübung über den Untersuchungszeitraum.

In der Ammoniumstickstoffkonzentration war ein deutlicher Trend über den Untersuchungszeitraum zu sehen. Während die Werte in der ersten Woche an allen vier Messstellen im Bereich von 100 mg L^{-1} lagen, wurden in der letzten Woche überall nur noch Konzentrationen unterhalb von 50 mg L^{-1} nachgewiesen. Die Veränderung von einem Probenahmetag zum nächsten war im Allgemeinen gering, lediglich an der vierten Messstelle gab es etwas größere Unregelmäßigkeiten (Abb. 17).

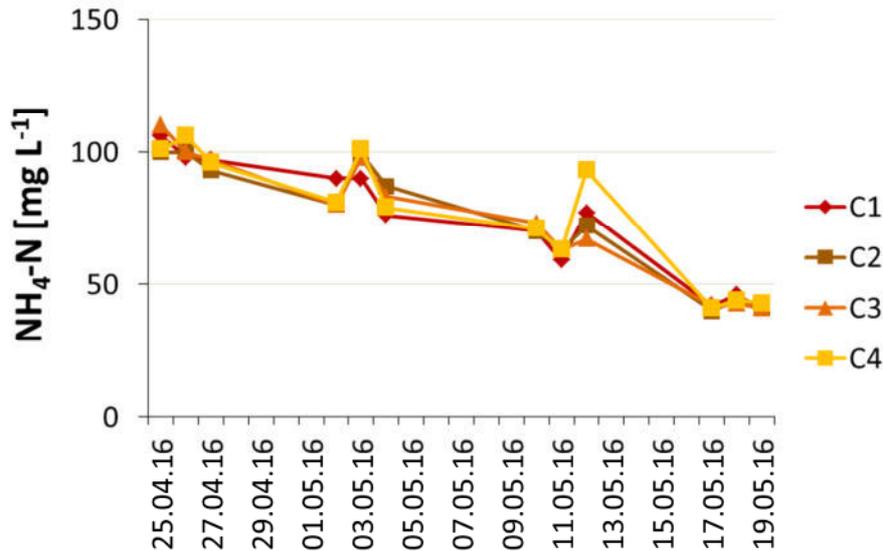


Abb. 17: Entwicklung der Ammoniumstickstoffkonzentration über den Untersuchungszeitraum.

Die Ammoniakstickstoffwerte am frühen Morgen blieben meist unter $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, an den drei Tagen der zweiten Untersuchungswoche wurde dieses Niveau jedoch überschritten. Der Maximalwert mit $0,014 \text{ mg L}^{-1}$ wurde am 3. Mai erreicht. Für diesen Parameter gab es jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten um 7:00 und 9:30 Uhr. Nach der Fütterung und der täglichen Wartungsarbeiten lagen die Ammoniakstickstoffwerte in einem Bereich von $0,031$ und $0,107 \text{ mg L}^{-1}$ (Abb. 18).

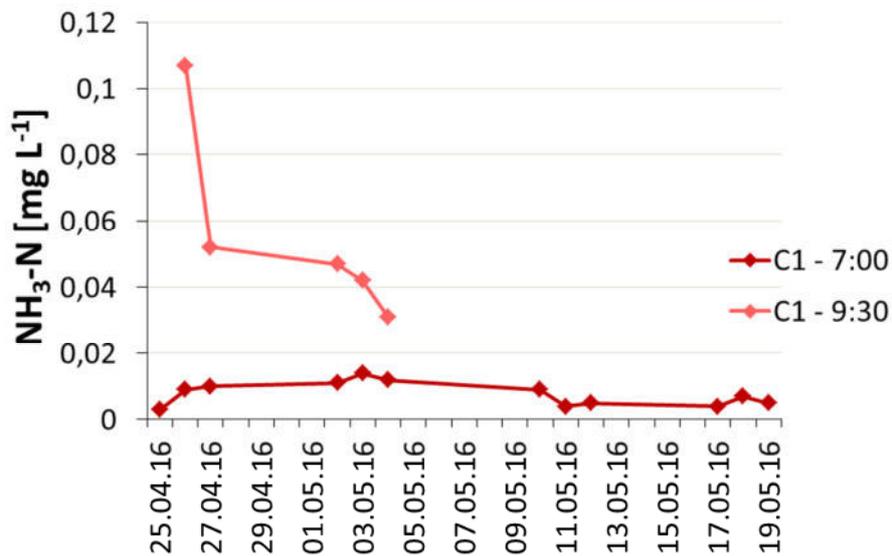


Abb. 18: Entwicklung der Ammoniakstickstoffkonzentration über den Untersuchungszeitraum.

Die Nitritstickstoffwerte lagen mit einer Ausnahme im Bereich von $0,2$ und $0,4 \text{ mg L}^{-1}$. Anders als bei der Ammonium- und der Nitratstickstoffkonzentration war kein eindeutiger Trend über den Untersuchungszeitraum zu sehen, auch wenn in den ersten beiden Wochen Werte von $0,3$ und $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ überwogen und gegen Ende der Messreihe häufiger Konzentrationen von $0,2$ und $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ nachgewiesen werden konnten (Abb. 19).

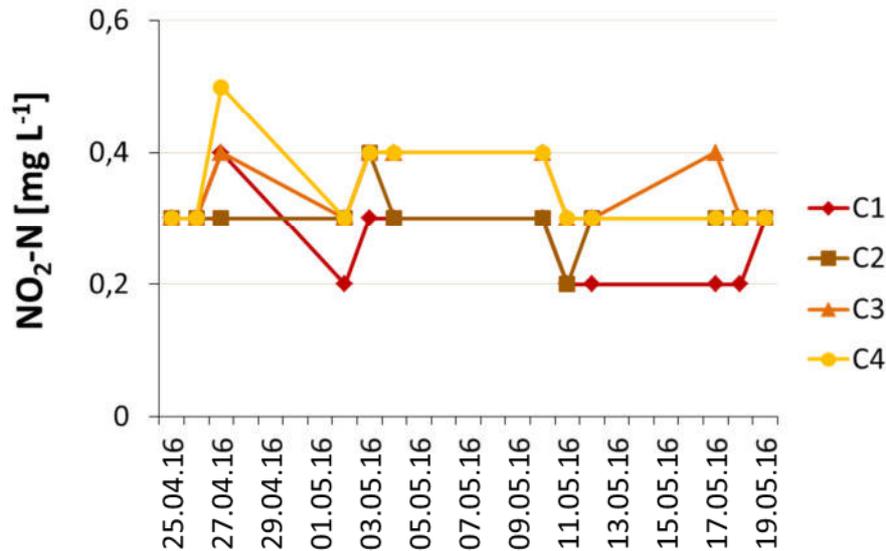


Abb. 19: Entwicklung der Nitritstickstoffkonzentration über den Untersuchungszeitraum.

Noch deutlicher als die Ammoniumstickstoffkonzentration reduzierten sich in der Containeranlage die Nitratstickstoffwerte im Laufe der Untersuchungsreihe. Die drei Messwerte innerhalb einer Woche waren stets niedriger als die in der vorhergehenden. In der ersten Woche lagen die Werte zwischen 130 und 147 mg L⁻¹, in der letzten nur noch im Bereich von 71 bis 83 mg L⁻¹. (Abb. 20).

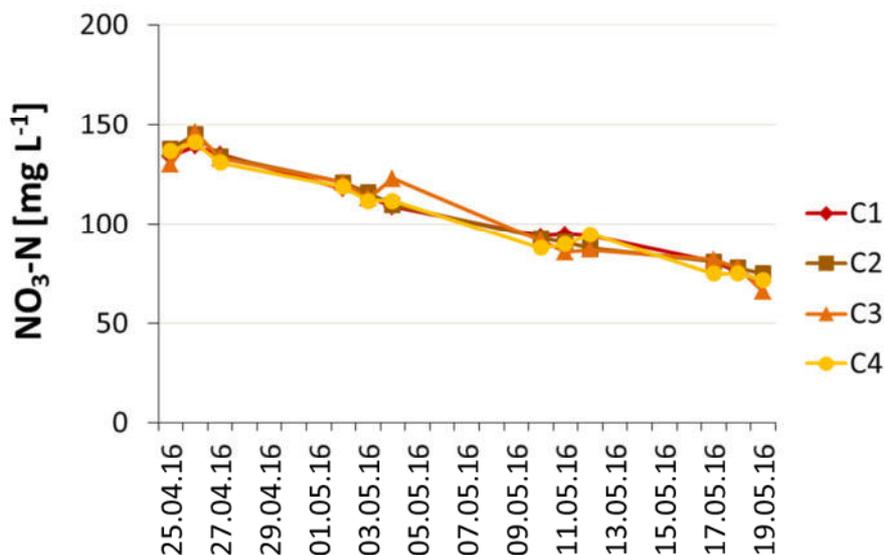


Abb. 20: Entwicklung der Nitratstickstoffkonzentration über den Untersuchungszeitraum.

Im Laufe der Untersuchungsreihe war ein beinahe linearer Abfall der Leitfähigkeitsmesswerte von 2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ am ersten Probenahmetag auf 1377 $\mu\text{S cm}^{-1}$ am letzten zu beobachten. Nur an einem einzigen Tag, dem 18. Mai, war der gemessene Wert nicht niedriger, sondern höher als am Tag davor (Abb. 21).

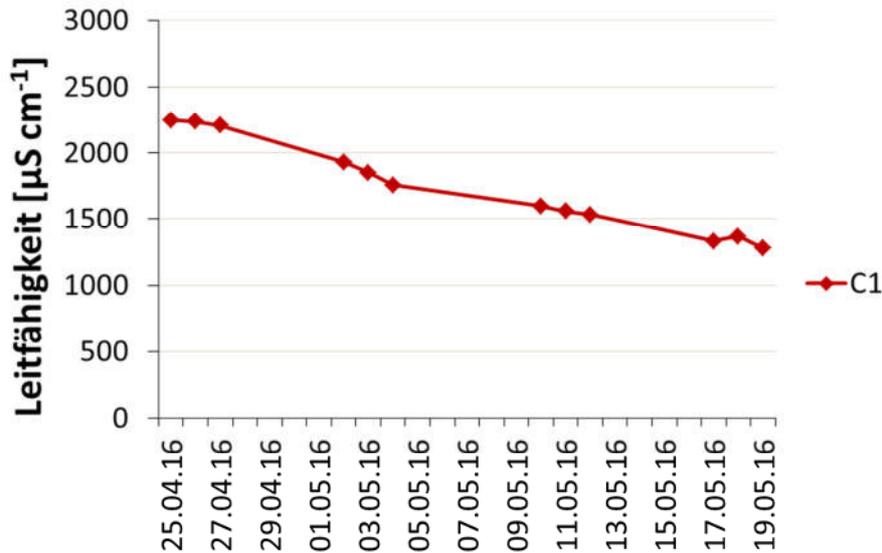


Abb.21: Entwicklung der Leitfähigkeit über den Untersuchungszeitraum.

Der pH-Wert lag stets deutlich im sauren Bereich. Der niedrigste Wert von 4,7 wurde am ersten Untersuchungstag gemessen werden. Mit Ausnahme eines weiteren Ergebnisses lag der pH-Wert ansonsten oberhalb von 5. Die Werte kamen jedoch nie über ein Maximum von 5,4 hinaus. Abb. 22).

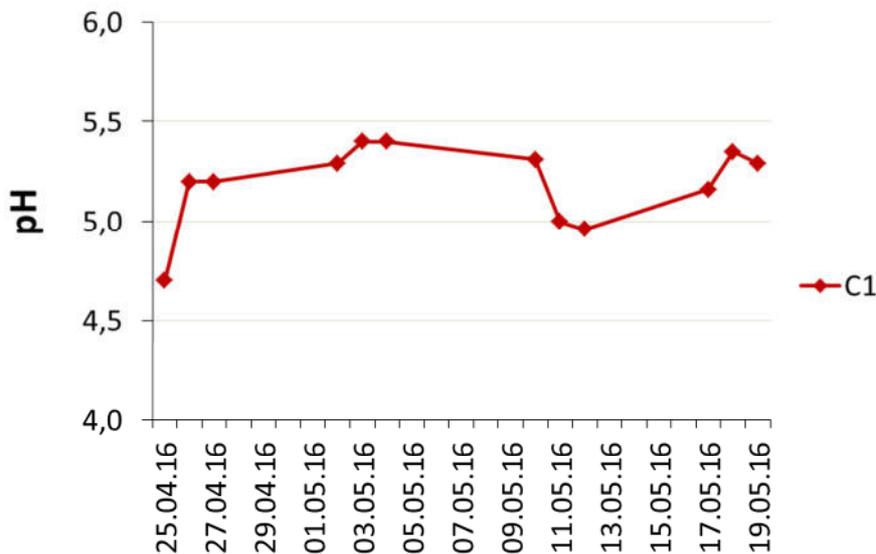


Abb. 22: Entwicklung des pH-Wertes über den Untersuchungszeitraum.

An allen Messstellen waren die Messergebnisse für den biologischen Sauerstoffbedarf innerhalb von zwei Tagen in der dritten Woche wesentlich höher als in der ersten, am größten war die Differenz am Einlauf in das Sedimentationsbecken, wo der Sauerstoffbedarf am 8. Mai um fast 3 mg L^{-1} höher war als am 25. April. In der vierten Woche war an allen vier Messstellen wieder eine Reduktion des biologischen Sauerstoffbedarfs zu verzeichnen, die Werte lagen aber immer noch deutlich über dem Niveau der Ergebnisse der ersten Woche (Abb. 23).

In der zweiten Woche der Messreihe wurde der biologische Sauerstoffbedarf aus der Probe, die nach der täglichen Wartung und Fütterung genommen wurde, ermittelt. Mit Werten von 4,0 bis 4,4 mg.L⁻¹ lagen die Werte mit Ausnahme des Ergebnisses an der Messstelle 1 auf einem ähnlichen Niveau wie in der dritten Woche.

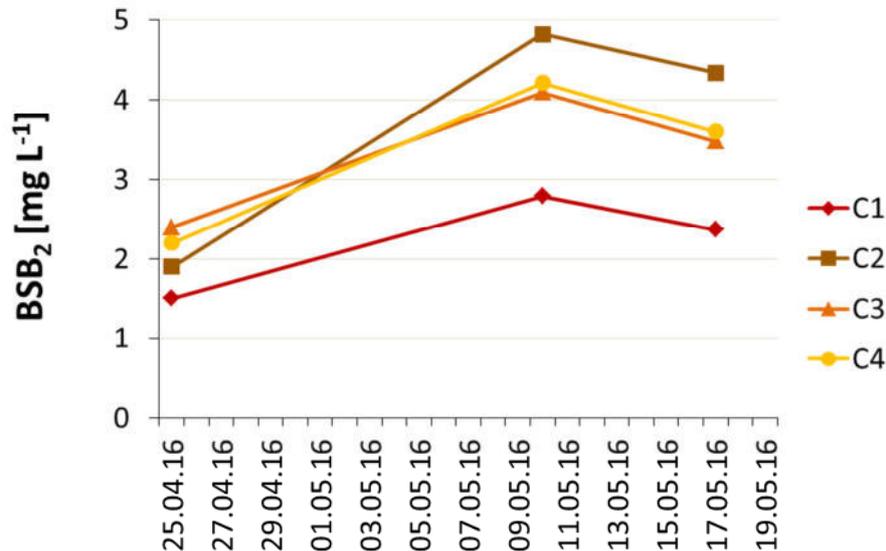


Abb. 23: Entwicklung des biologischen Sauerstoffbedarfs innerhalb von zwei Tagen über den Untersuchungszeitraum.

3.3 Vergleich der Werte vor und eine Stunde nach der Reinigung und Fütterung

Der Vergleich der beiden Probennahmendurchgänge jeweils vor und eine Stunde nach der Wartung und Fütterung zeigte, dass die gemessenen Parameter sich im Lauf dieser Arbeiten in unterschiedlichem Maße veränderten.

Die Sauerstoffwerte, die Ammoniumstickstoff- und die Nitratstickstoffkonzentration nahmen an allen vier Messstellen ab. Die Nitritstickstoffkonzentration stieg dagegen an, besonders stark war dies am Einlauf in das Sedimentationsbecken der Fall, wo die Konzentration um 9:30 Uhr 142 % des Niveaus der Morgenwerte erreichten. Die Trübung und der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen waren an allen Messstellen eine Stunde nach der Reinigung und Fütterung höher als davor, die Abweichung war aber jeweils recht unterschiedlich hoch. Während am Ein- und Auslauf des Sedimentationsbeckens nur geringfügige Differenzen ausfindig gemacht werden konnten, war der Anstieg für beide Parameter an der ersten Messstelle recht ausgeprägt. Die Trübung erhöhte sich um fast 22 %, der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen sogar um 43 %. Der einzige Parameter, der an allen Messstellen nahezu konstant blieb, war die Wassertemperatur (Abb. 24).

Obwohl die gesamte Ammoniumstickstoffkonzentration um 9:30 Uhr niedriger war als am frühen Morgen war ein eklatanter Anstieg des Ammoniakstickstoffanteiles zu verzeichnen, dessen Ursache in der Erhöhung des pH-Wertes in diesem Zeitraum zu finden war. Die

mittlere Ammoniakstickstoffkonzentration am Vormittag betrug fast das Fünffache des Ausgangswertes.

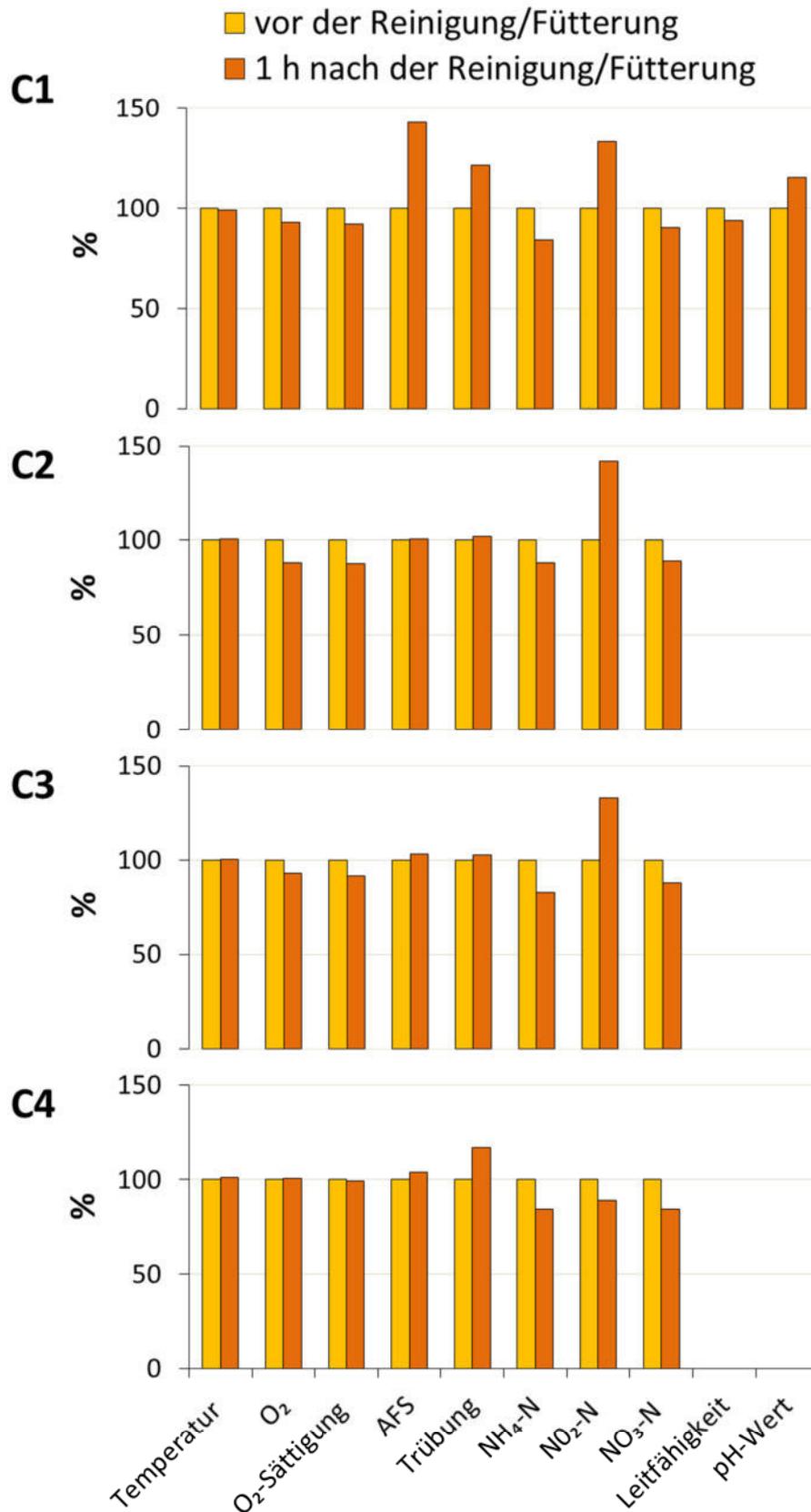


Abb. 24: Prozentueller Unterschied zwischen den um 7:00 Uhr und 9:30 Uhr gemessenen Werten der erhobenen physikalischen und hydrochemischen Parameter.

3.4 Ergebnisse der betriebsinternen Analysen über den Produktionszeitraum

Die während des Betriebes täglich gemessene Wassertemperatur betrug in der Auffangwanne des Tropfkörpers im Mittel 28,1 °C. In der ersten Hälfte des Produktionszeitraumes bis etwa Jänner gab es immer wieder größere Schwankungen. Danach blieb die Temperatur über zweieinhalb Monate relativ konstant bei etwas über 28 °C. Gegen Ende des Anlagenbetriebes am Standort schwankten die Messwerte wieder etwas stärker. Von der Auffangwanne des Tropfkörpers gelangt das Wasser in die zweite Pumpensumpfkammer, wo im Zuge der vierwöchigen Untersuchungsreihe ebenfalls die Wassertemperatur erhoben wurde. Diese Ergebnisse lagen deutlich unter denen der betriebsinternen Aufzeichnungen. Zwischen den Werten der beiden Messungen gab es an den Tagen, an denen beide durchgeführt wurden, Unterschiede von 0,7 bis 1,6 °C (Abb. 25).

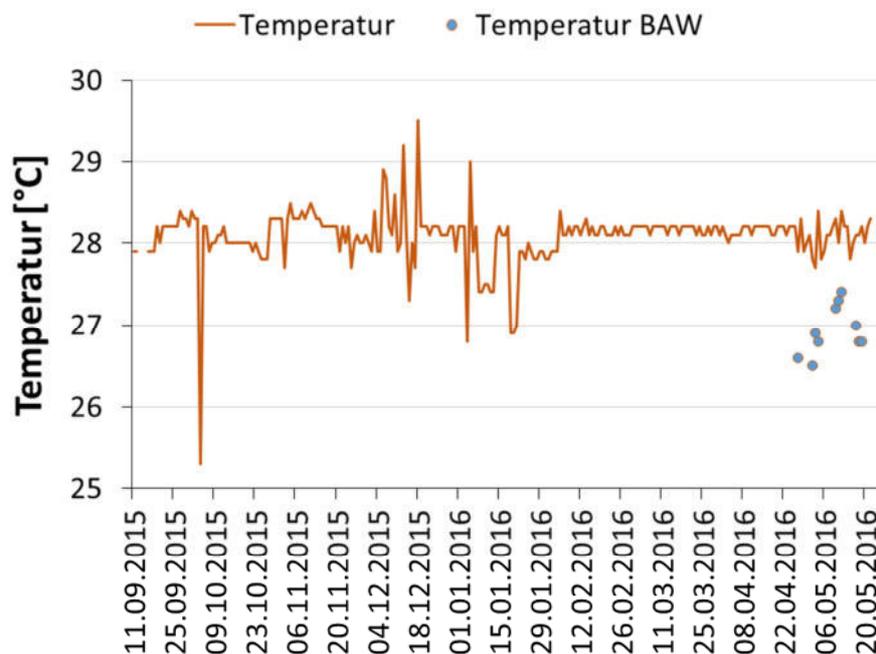


Abb. 25: Wassertemperatur im Laufe des Betriebes sowie während des vierwöchigen Untersuchungszeitraumes.

In den ersten Tagen nach Inbetriebnahme der Kreislaufanlage lag der pH-Wert am Einlauf in die Fischbecken im leicht basischen Bereich. Die Werte reichten von 7,5 bis 8. In den folgenden Wochen umfasste der pH-Wert einen relativ großen Schwankungsbereich mit Werten im Bereich von 6 bis 7,5. Nach etwa fünf Wochen pendelte er sich auf einem Niveau ein, das über die restliche Zeit der Produktion gehalten wurde. Mit Ausnahme der höheren Werte beim Auslaufen des Betriebes lag der pH-Wert ab dieser Zeit stets im Bereich von 5 bis 5,8. Die Messwerte, die im Rahmen der vierwöchigen Untersuchung erhoben wurden, stimmten gut mit den Werten, die im Zuge der Produktion gemessen wurden überein. Die größte Abweichung in Einzelmessungen gab es am 11. Mai 2016. An diesem Tag wurde bei der Messung mittels pH-Indikatoren ein Wert von 5,5 ermittelt, nach der Elektrodenmessung betrug der pH-Wert nur 5 (Abb. 26).

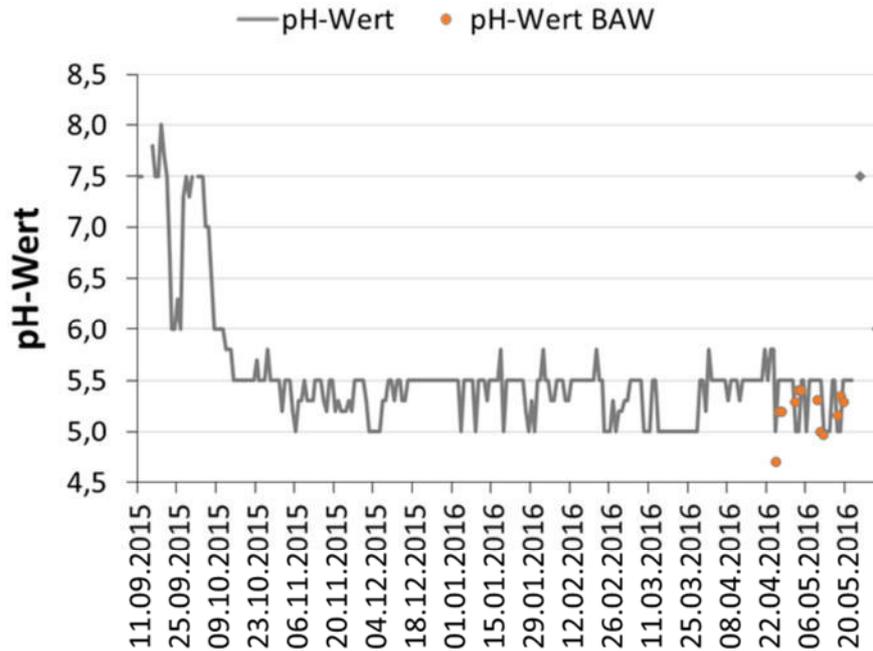


Abb. 26: pH-Messwerte im Laufe des Betriebs sowie während des vierwöchigen Untersuchungszeitraumes.

Bereits wenige Tage nach dem Besatz mit der ersten Fischcharge am 15. September 2015 konnten am Einlauf in die Fischbecken hohe Gehalte an Stickstoffverbindungen im Produktionswasser nachgewiesen werden. In den folgenden Wochen stiegen die Werte weiter an, schwankten aber auch relativ stark. Besonders hervorzuheben ist die Nitritstickstoffkonzentration mit Werten, die häufig im Bereich von 15 bis 20 mg L⁻¹ angesiedelt waren und einmal sogar einen Spitzenwert von fast 46 mg L⁻¹ erreichten. Damit lag sie in diesen ersten Wochen etwa bei dem 40- bis 50fachen der Konzentration von im Mittel 0,4 mg L⁻¹, die über den Großteil des Produktionszeitraumes nachgewiesen werden konnte. Kurz vor der Betriebseinstellung am Standort waren wieder höhere Nitritstickstoffwerte messbar. Bei der Ammonium- und der Nitratstickstoffkonzentration kam es nach den ersten Wochen insgesamt über den Produktionszeitraum betrachtet zu einem Anstieg, wobei sich dieser im Wesentlichen auf zwei Phasen im November 2015 und April 2016 beschränkte. Die höchsten Werte einschließlich von Ausreißern wurden Ende April bzw. Anfang Mai festgestellt. Zwischen diesen Phasen des Anstiegs blieben die Konzentrationen über zum Teil lange Zeiträume konstant. Ab Ende April konnte bei beiden Stickstoffverbindungen ein Rückgang beobachtet werden. Ein Vergleich der Messergebnisse aus der betrieblichen Probennahme und der aus der vierwöchigen Untersuchungsreihe mit unterschiedlichen Verfahren zeigte im betreffenden Zeitraum nur eine mäßige Übereinstimmung, wobei tatsächlich nur an einem Tag alle drei Stickstoffverbindungen und an zwei Tagen die Nitratstickstoffkonzentration durch beide Erhebungen erfasst wurde. Nur für letztere erbrachte der Nachweis mittels kolorimetrischem und photometrischem Verfahren annähernd gleiche Ergebnisse, und das auch nur an einem der beiden Tage (Abb. 27).

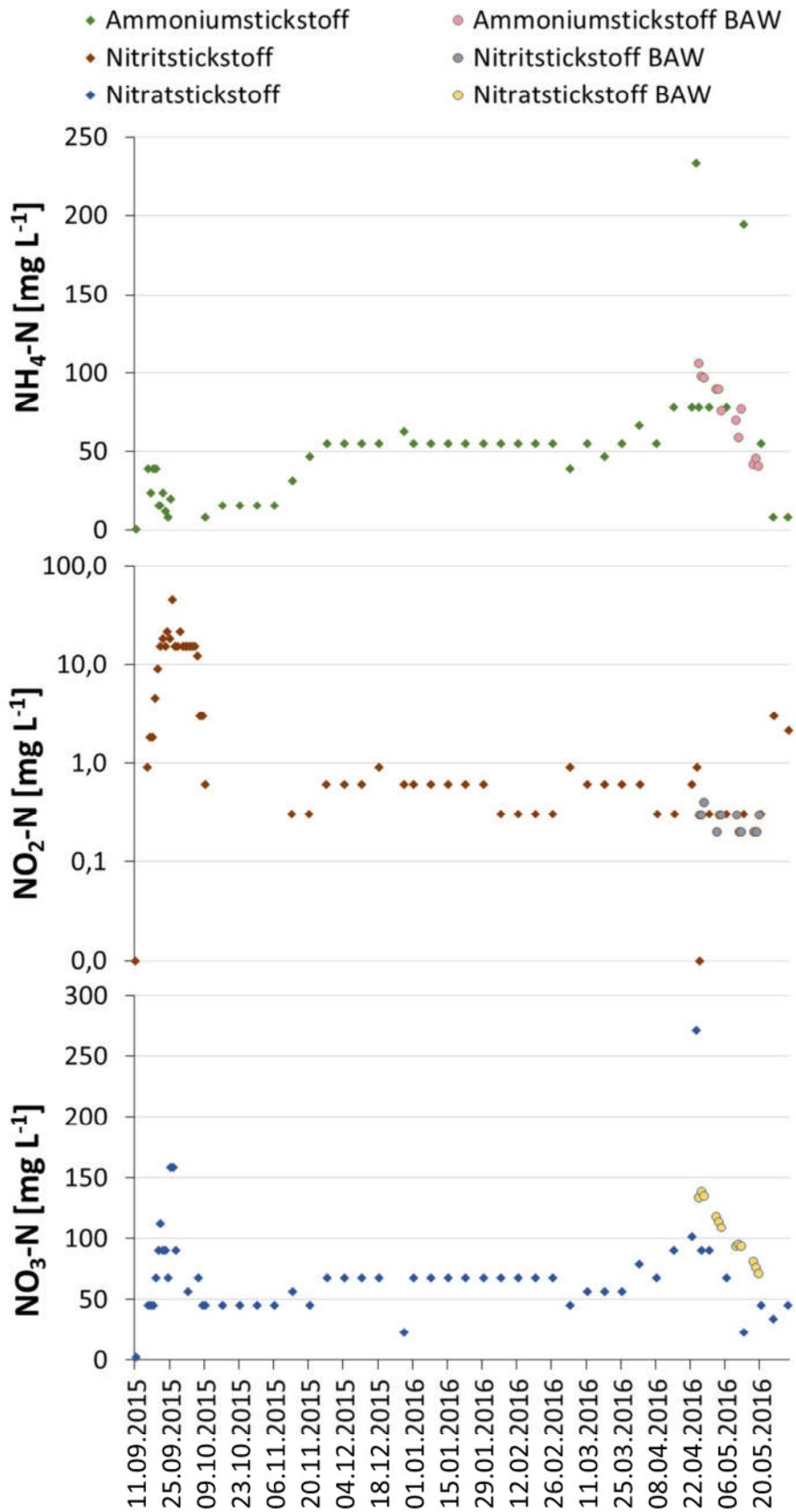


Abb. 27: Messwerte für die Stickstoffverbindungen im Laufe des Betriebs sowie während des vierwöchigen Untersuchungszeitraumes.

3.5 Produktionsdaten

Während des Betriebes der Containeranlage durch Waldland erreichten in dieser fünf Chargen Afrikanischer Raubwelse das Schlachtgewicht. Die Charge 2 wurde von einer in der Halle besetzten Gesamtcharge entnommen und nach 16 Tagen in die Containeranlage umgesetzt, der Besatz der übrigen Chargen fand direkt im Container statt. Einen Überblick über die Produktionsdaten gibt die Tabelle 2. Die Mastdauer vom Besatz der Fische bis zur Einstellung der Fütterung betrug im Mittel 133 Tag. In diesem Zeitraum erreichten die Fische von ihrem Satzgewicht ausgehend ein Schlachtgewicht von im Mittel 1,36 kg. Pro Charge konnte eine durchschnittliche Produktion von 610 kg erzielt werden. Insgesamt wurden ohne den Zuwachs der Charge 2 in der Hallenanlage 3035 kg Rohfisch produziert. Das beste Produktionsergebnis lieferte mit dem höchsten mittleren Stückgewicht von 1,44 kg bei gleichzeitig der höchsten Überlebensrate von 97,8 % die Charge 4. Ihr Zuwachs war mit 755 kg um 100 kg höher als jener der Charge 5 mit dem zweitbesten Resultat. Allerdings war auch die Mastdauer im Vergleich die längste und in der Wachstumsperformance wurde die Fische der Charge 4 von denen der Chargen 2 und 3 übertroffen. Der niedrigste Zuwachs mit nur 467 kg war für die Charge 2 zu verzeichnen, wobei in ihrem Fall auch die Besatzzahl mit nur 400 Fischen wesentlich niedriger war als bei den übrigen Chargen mit 520 bis 540 Individuen. Die höchste spezifische Wachstumsrate mit einer täglichen Gewichtssteigerung von durchschnittlich 3,76 % wies die Charge 3 auf. Sie erreicht außerdem den niedrigsten Futterquotienten von 0,8. Bei allen Kennwerten die schlechteste Bilanz kennzeichnete die Charge 1. Mit einer Wachstumsrate von nur 3,38 % erreichten die Welse trotz überdurchschnittlich langer Mastdauer nur ein Stückgewicht von im Mittel 1,24 kg. Zusammen mit der hohen Verlustrate von 17,3 % ergab sich somit ein vergleichsweise geringer Zuwachs. Deutlich schlechter als die anderen schnitt die Charge 1 auch beim Futterquotienten mit einem Wert von 0,97 ab. Im Mittel wurde pro Charge eine Futtermenge von 518 kg aufgewendet und ein Futterquotient von 0,85 erzielt.

Tab. 2: Produktionsdaten der Containeranlage.

	Mastdauer [d]	Abfischung [kg]	Produktion [kg]	Verluste [%]	Stückgewicht [kg]	Futter [kg]	FQ	SGR [%]
Charge 1	141	535	529	17,3	1,24	513	0,97	3,38
Charge 2	132	471	467	12,5 *	1,35	408	0,87	3,67
Charge 3	124	651	644	11,5	1,42	514	0,80	3,76
Charge 4	147	760	755	2,2	1,44	619	0,82	3,46
Charge 5	123	665	655	7,4	1,35	534	0,82	3,46
Mittelwert	133	616	610	10,2	1,36	518	0,85	3,55
Standard- abweichung	11	114	113	5,7	0,08	75	0,07	0,16
* ab dem Umsatz in die Containeranlage								

Ein Vergleich der tatsächlichen Produktion mit dem aufgrund von Wachstumsraten, der verbrauchten Futtermenge und der geschätzten Stückzahl erwarteten Zuwachs zeigte bei drei Chargen sehr gute Übereinstimmungen. Größere Differenzen gab es bei den Chargen 1 und 2, deren Produktion um 7,7 und 17,3 % deutlich hinter den erwarteten Werten zurückblieben (Abb. 28).

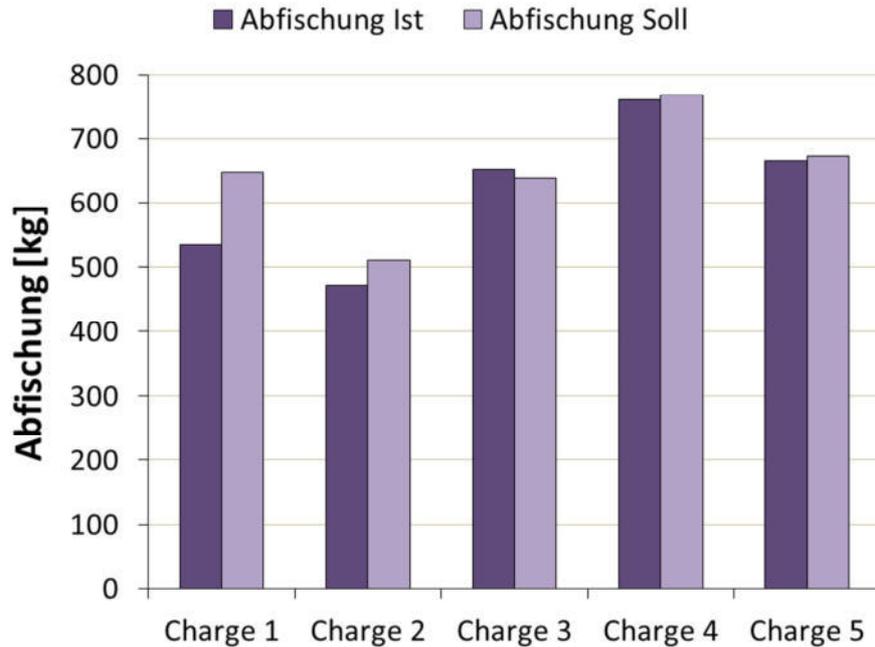


Abb. 28: Erwartete und tatsächliche Abfischung von fünf Chargen Afrikanischer Raubwelse in der Containeranlage.

Mit Ausnahme der Charge 2, die als Teil der in der Hallenanlage gehaltenen Gesamtcharge entnommen wurde, wurden die Verluste für den Zeitraum in den Setzlingsbecken und in den Mastbecken getrennt berechnet. Allgemein war die Mortalität in den Setzlingsbecken sehr gering, am höchsten war sie mit 2,1 % in der Charge 3. In den Chargen 4 und 5 lagen die Verluste sogar nur im Kommabereich. Nach dem Umsetzen in Mastbecken waren weit höhere Verlustraten zu verbuchen. Am schlechtesten schnitt dabei die Charge 1 ab, die in diesem Zeitabschnitt 15,7 % der Fische einbüßte und eine Mortalität von insgesamt 17,3 % über den gesamten Produktionszeitraum aufwies. Die höchste Überlebensrate mit 97,8 % wurde in der Charge 4 ermittelt (Abb. 29).

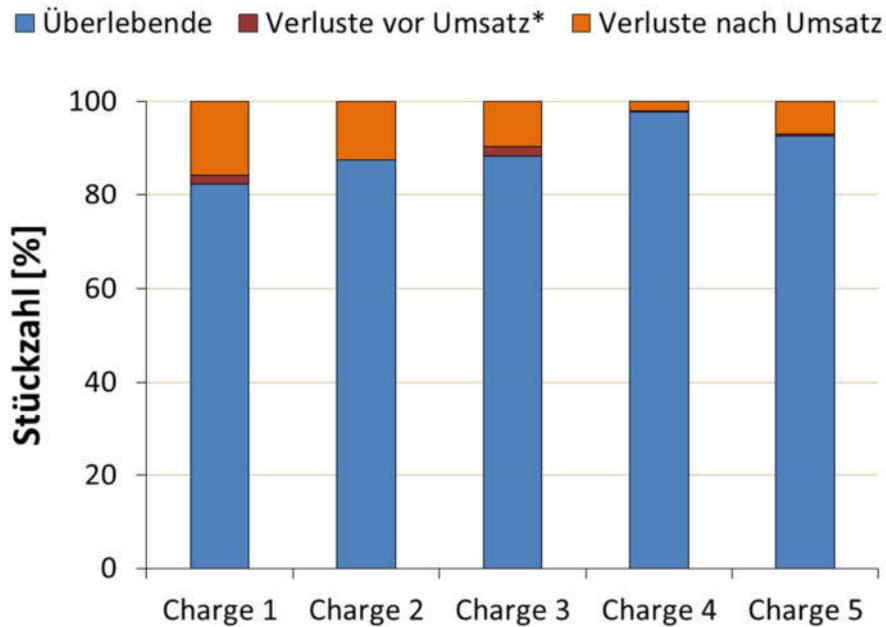


Abb. 29: Verlust- und Überlebensraten der Afrikanischen Raubwelse in der Containeranlage.

Das tatsächliche Stückgewicht war in der Charge 4 annähernd gleich, in der Charge 1 geringer und in den übrigen Chargen höher als das aufgrund der Wachstumsrate, der Futtermenge und der geschätzten Stückzahl erwartete Gewicht. Am größten war der Unterschied in der Charge 3 mit Fischen die im Mittel um fast 120 g bzw. um 9,2 % schwerer waren als erwartet (Abb. 30).

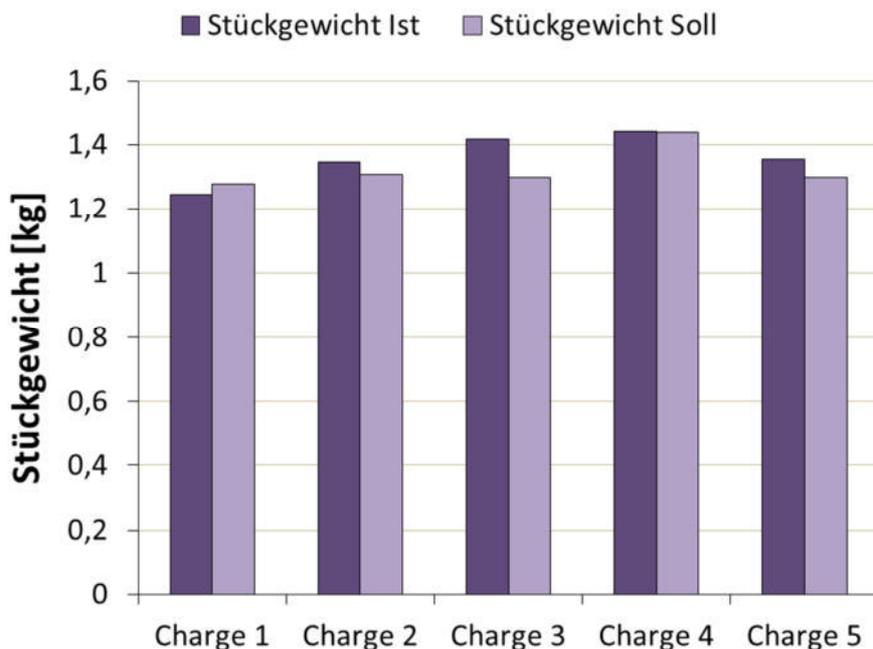


Abb. 30: Erwartetes und tatsächliches Stückgewicht der Afrikanischen Raubwelse in der Containeranlage bei der Ernte.

Der berechnete Futtermengenbedarf, der auf die geschätzte Stückzahl und das zu erzielende Wachstum der Fische ausgerichtet war, wurde in allen fünf Chargen unterschritten. Ausschlaggebend dafür, wieviel tatsächlich gefüttert wurde, war die Fressaktivität der Welse. Die mit fast 100 kg größte Differenz zwischen der tatsächlichen und der errechneten Futtermenge ergab sich in der Charge 1, dies entsprach einer Reduktion um etwa 16,2 %. Die geringsten Abweichungen gab es in der Charge 3. Diese erhielt 93,5 % der geplanten Futtermenge (Abb. 31).

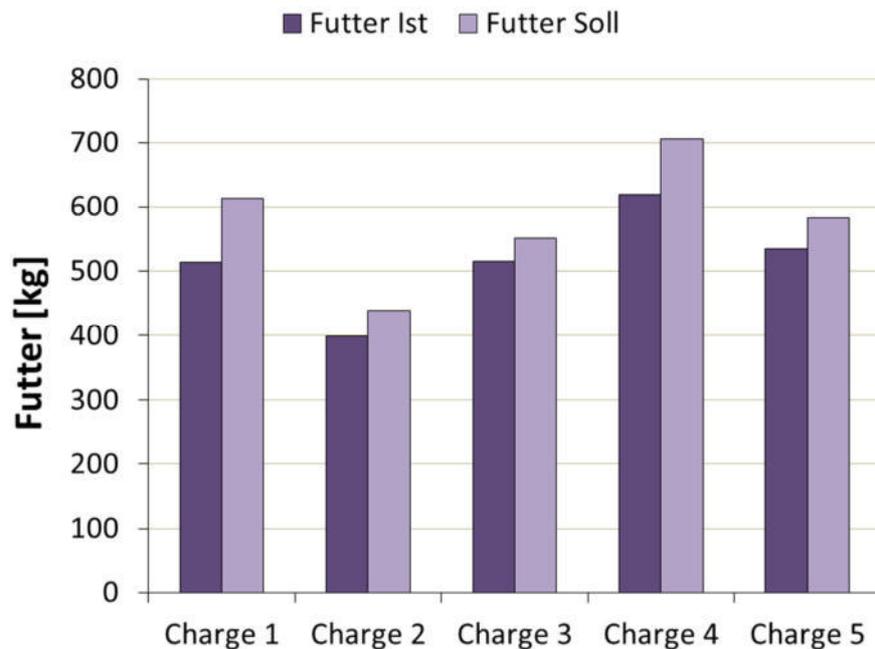


Abb. 31: Geplante und tatsächlich verabreichte Futtermenge pro Charge.

Der Futtermiteinsatz stimmte im Großen und Ganzen sehr gut mit den Schätzwerten für die Tonnage in der Kreislaufanlage überein, unterlag aber starken täglichen Schwankungen, die vor allem gegen Betriebsende sehr ausgeprägt waren. Nach der Inbetriebnahme kam es zu einem langsamen, kontinuierlichen Anstieg der Tonnage, der am 2. Februar in einem ersten Maximum von 1872 kg gipfelte. Die Ernte der ersten drei Chargen im Februar reduzierte die Tonnage auf 561 kg am Monatsletzten. Danach folgte ein neuerlicher Anstieg bis zu einem zweiten, etwas kleinerem Maximum von 1706 kg am 2. Mai und die Entnahme eines Großteils der Fische in den Wochen darauf aufgrund der geplanten Betriebsverlagerung. Der Mittelwert für die Tonnage lag bei 832 kg. Das entsprach bei dem gegebenen Produktionsvolumen von 6,3 m³ einer mittleren Dichte von 132 kg m⁻³, die maximale Dichte lag bei 297 kg m⁻³. Die beiden Maxima in der Futtermenge waren einige Tage vor den entsprechenden Spitzenwerten der Tonnage zu verzeichnen. Am 23. Jänner wurden insgesamt 25,6 kg Futter verabreicht, am 25. April waren es 23,9 kg (Abb. 32).

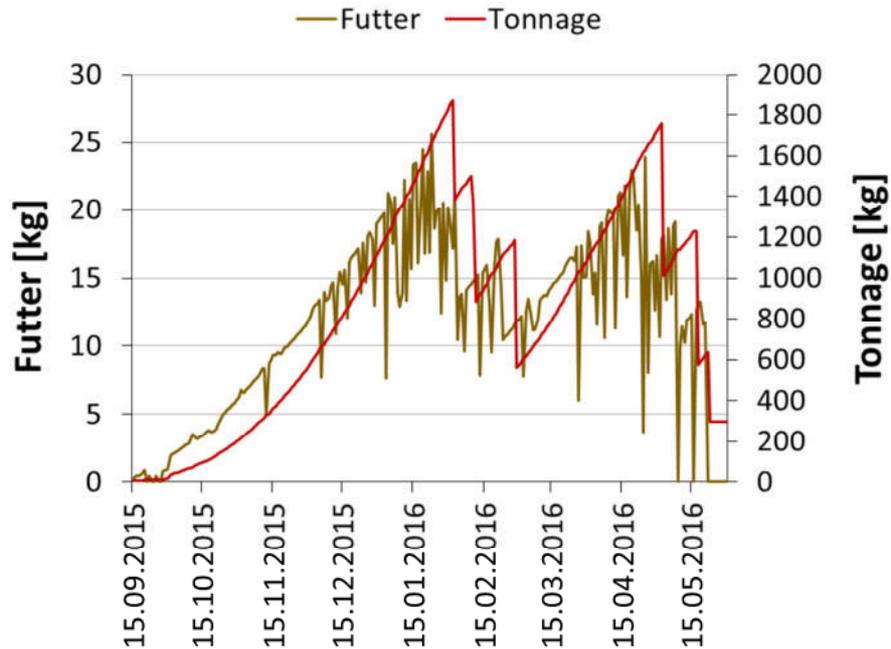


Abb. 32: Täglich verabreichte Futtermenge sowie die geschätzte Tonnage in der Containeranlage.

3.6 Zusammenhang zwischen Futtermenge und Ammonium- sowie Nitratstickstoff

Wie bereits weiter oben aufgeführt sanken die Ammonium- und Nitratstickstoffwerte im Laufe des Untersuchungszeitraumes und zwar gleichzeitig mit der Reduktion der Futtermenge im Zuge der Betriebseinstellung. Am ersten Untersuchungstag, dem 25. April, wurde die in diesem Zeitraum höchste Menge an Futter verabreicht und tags darauf konnte der höchste Ammoniumstickstoffwert der Messreihe nachgewiesen werden. Auch in der Woche vor Beginn der Probenahme war die Futtermenge mit zum Teil über 20 kg pro Tag sehr hoch, nur am 24. April wurde aufgrund hoher intern gemessener Konzentrationen an Ammonium und Nitrat auf eine Fütterung weitgehend verzichtet. Ab dem 26. April blieb die Futtermenge an jedem Tag zum Teil deutlich unter der 20-kg-Marke. Am 10. Mai wurde erstmalig nicht gefüttert und auch über den restlichen Untersuchungszeitraum wurden maximal 13 kg an Futter verabreicht (Abb. 33).

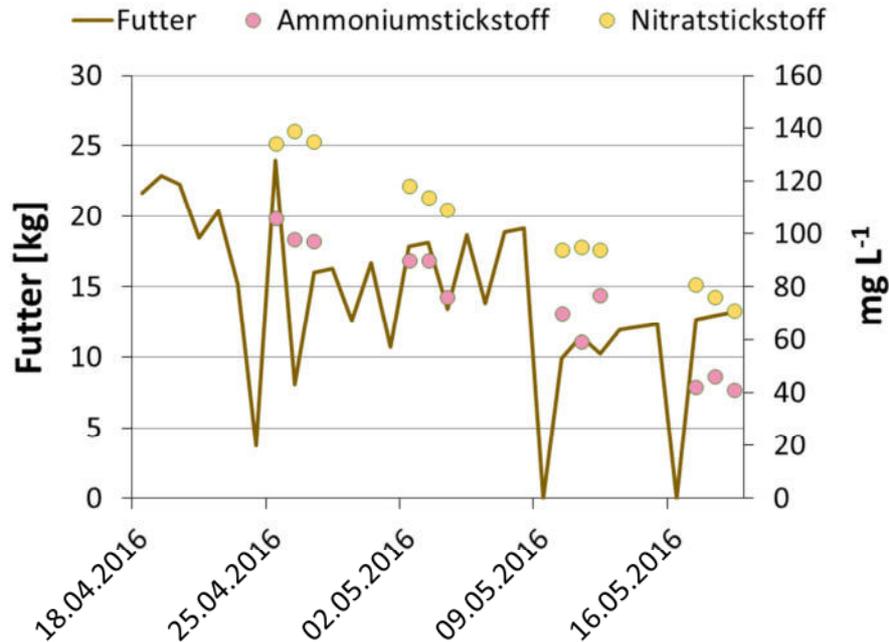


Abb. 33: Entwicklung der Ammonium- und Nitratstickstoffwerte im Zusammenhang mit der Futtermenge.

4 Diskussion

Die Anforderung an das Produktionswasser in geschlossenen Kreislaufanlagen ist die, dass sowohl den Fischen als auch den für die Wasseraufbereitung bedeutenden Mikroorganismen möglichst günstige Lebens- und Wachstumsbedingungen geboten werden. Damit diese aufrechterhalten werden ist die Kontrolle relevanter Parameter erforderlich, die durch die Wiederverwendung des Wassers an ein hohes technisches Niveau geknüpft ist. Der Afrikanische Raubwels als eine euryöke Fischart mit breiten Toleranzbereichen für physikalische und hydrochemische Parameter, die auch mit geringer Wasserqualität und Sauerstoffmangel zurechtkommt stellt in dieser Hinsicht eine vergleichsweise geringe Herausforderung dar und eignet sich daher sehr gut für die Mast in geschlossenen Kreislaufanlagen (Schoorl 1999).

Für hohe Wachstumsleistungen ist die Wassertemperatur ein wesentlicher Faktor. Optimale Werte für *Clarias gariepinus* werden von Schmidt-Puckhaber et al. (2016) mit 25 bis 28 °C angegeben. In diesem Bereich lagen auch die in der Anlage gemessenen Werte. In den Fischbecken war ein signifikanter Temperaturanstieg von im Mittel 0,5 °C festzustellen, der auf die die Aktivität und Metabolismus der Fische zurückgeführt werden kann.

Die Sauerstoffkonzentration sank in den Fischbecken deutlich ab und erreichte an deren Auslauf nur noch 3,8 mg L⁻¹. Für die Haltung von *Clarias gariepinus* ist dieser Wert mehr als ausreichend. Eding & van Weerd (1999) und Schmidt-Puckhaber et al. (2016) empfehlen einen Mindestgehalt von 3 mg Sauerstoff pro Liter. Dank des akzessorischen Atemorgans, das der Afrikanische Raubwels als Vertreter der Kiemensackwelse besitzt, kommt diese Fischart

mit sehr niedrigen Sauerstoffgehalten im Wasser zurecht und kann sogar Luftsauerstoff nutzen (Schoorl 1999, Schmidt-Puckhaber et al. 2016).

Die Sauerstoffanreicherung im System fand überwiegend im Tropfkörper statt. Annähernd sauerstoffgesättigtes Ablaufwasser kann man an und für sich erst bei Tropfkörpern mit einer Höhe von einigen Metern erwarten (Rümmler 2010). An der Messstelle 4 konnten aber immerhin Sättigungswerte von annähernd 90 % gemessen werden. Die Sauerstoffanreicherung funktionierte demnach überraschend gut. Im Fließbettfilter war dagegen trotz aktiver Belüftung in geringem Maße sogar ein Sauerstoffabfall zu beobachten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei bereits hohen Sättigungswerten im Einströmwasser die Tendenz des Wassers, noch mehr Sauerstoff aufzunehmen, naturgemäß gering ist, gleichzeitig aber ein Verbrauch durch die Mikroorganismen, die den Filter besiedeln, stattfindet. Ein weiterer Anstieg war daher auch nicht zu erwarten.

Durch den Zerfall von Kot, Futterresten und dem Abrieb von Biofilmen entstehen unterschiedlich große Partikel, die als abfiltrierbare Stoffe erfasst werden können (Rümmler 2010, Timmons und Ebeling 2010). Ihr Gehalt sollte nach Rümmler (2010) unter 25 mg L^{-1} liegen, damit die Funktionsfähigkeit des Biofilters nicht durch einen zu hohen partikelgebundenen BSB_5 beeinträchtigt wird. Timmons und Ebeling (2010) zitieren verschiedene Autoren und geben für den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen den Bereich von 15 bis 40 mg L^{-1} an, wobei Fischart und gegebenenfalls andere Stressoren eine Rolle spielen. Daneben kann ein zu hoher Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen auch die Atemfunktion der Kiemen beeinträchtigen (Schmidt-Puckhaber et al. 2016). Die mechanische Reinigung zur Entfernung der Partikel ist damit ein elementarer Bestandteil einer Kreislaufanlage. Der Grenzwert von 25 mg L^{-1} wurde bereits beim Einlauf in die Fischbecken an einem Tag erreicht, ein weiteres Mal lag der Gehalt sogar annähernd beim Doppelten. Infolge des Anstiegs in den Fischbecken wurde an deren Auslauf der Grenzwert in zwei Drittel der Messungen überschritten. Die Partikelentfernung aus dem Kreislauf fand im Wesentlichen in dem dafür vorgesehenen Sedimentationsbecken statt, wenn die Reduktion des Gehaltes an abfiltrierbaren Stoffen auch knapp das Signifikanzniveau verfehlte. Vor dem Erreichen des Fließbettfilters befanden sich die Werte meistens wieder in einem angemessenen Bereich. Die Trübe, die ebenfalls vom Feststoffgehalt bestimmt wird, entwickelte sich entlang des Durchflusses durch die Anlage sehr ähnlich.

Mit dem Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen und der Trübe in den Fischbecken erhöhte sich erwartungsgemäß auch der biologische Sauerstoffbedarf. Eine leichte Reduktion erfolgte mit der Absetzung von Feststoffen im Sedimentationsbecken, eine größere schließlich durch den Abbau organischer Substanzen im Fließbettfilter. Entgegen der Annahme, dass dieser Abbau zu einem großen Teil bereits im Tropfkörper stattfinden würde, war in diesem Anlageteil jedoch keine Verringerung des biologischen Sauerstoffbedarfs zu registrieren.

Ammonium bzw. Ammoniak ist das Hauptendprodukt im Proteinstoffwechsel. (Rümmler 2010). Beide Verbindungen stehen miteinander im Dissoziationsgleichgewicht, das im Wesentlichen vom pH-Wert und von der Wassertemperatur abhängig ist. Mit zunehmend alkalischem pH-Wert und steigender Temperatur nimmt der Ammoniakanteil stark zu (Hobiger 1996). Während aber Ammonium selbst für Fische weitgehend ungiftig ist, sind

schon geringe Konzentrationen seines Umwandlungsproduktes toxisch (Lawson 1995, Müller-Belecke 2010). Die Umwandlung des Gesamtammoniumstickstoffes in die unproblematischere Verbindung Nitrat durch bakterielle Nitrifikation ist daher eine der zentralen Leistungen die im Zuge der Wasseraufbereitung in der Kreislauftechnik geleistet werden muss (Rümmler 2010, Timmons & Ebeling 2010). Generell wird empfohlen, die Ammoniumstickstoffkonzentration in Warmwasserkreislaufanlagen bei unter 3 mg L^{-1} zu halten. Auf jeden Fall aber muss gewährleistet sein, dass sie dauerhaft auf einem Niveau liegt, bei dem die Grenzwerte für Ammoniak nicht überschritten werden (Timmons & Ebeling 2010). Gleichzeitig muss der pH-Wert, wie weiter unten angeführt, in einem für die Nitrifikation und die Fischgesundheit günstigen Bereich liegen.

Die Ammoniumstickstoffkonzentration lag weit über dem von den genannten Autoren empfohlenen Wert – der höchste gemessene Wert erreichte sogar etwa das 35fache – und war innerhalb des Kreislaufes keinen wesentlichen Änderungen unterworfen. Zwar war die mittlere Konzentration nach Passage des Fließbettfilters niedriger als vorher, der Unterschied war aber gemessen an den absoluten Werten gering und nicht signifikant. Die Höhe der Konzentration sowie das Fehlen eines deutlichen Gradienten im Produktionswasser beim Durchfluss durch das System offenbaren, dass die Funktionsfähigkeit der biologischen Reinigungsstufe stark herabgesetzt war. Der Grund dafür dürfte hauptsächlich im sauren Charakter des Produktionswassers liegen. Die im Zuge der vierwöchigen Erhebung gemessenen Werte kamen über 5,4 nie hinaus und auch die betriebsinternen Messungen zeigten über einen langen Zeitraum nur Werte von 5 bis 5,8 an. Für eine optimale Nitrifikationsrate sollte der pH-Wert jedoch im leicht alkalischen Bereich liegen. Im sauren Milieu sinkt die Nitrifikationskapazität rasant ab, bei pH 6,5 beträgt sie nur noch etwa die Hälfte derjenigen, die bei pH 7 erreicht wird, bei pH 6 fällt sie auf unter 10 %. Bei pH-Werten unter 5,5 kommt die Nitrifikation fast völlig zum Erliegen (Holzer 2013). In gewissem Rahmen sind die Nitrifikanten allerdings in der Lage, sich an suboptimale pH-Werte bis etwa 6,0 anzupassen. (Rümmler 2010). Hinweise auf andere Ursachen für die Probleme im Zusammenhang mit der Nitrifikation fanden sich in den Untersuchungsergebnisse kaum. Der Sauerstoffgehalt lag sowohl vor als auch nach dem Fließbettfilter in einem für die obligat aeroben Nitrifikanten günstigen Bereich (Timmons und Ebeling 2010). Für Probleme durch heterotrophen Bewuchs auf den autotrophen Nitrifikanten durch eine zu hohe organische Belastung gab es allenfalls schwache Anhaltspunkte. Vereinzelt war zwar, wie weiter unten noch erläutert, der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen etwas zu hoch, der biologische Sauerstoffbedarf war im Verhältnis zur Ammoniumstickstoffkonzentration aber sehr gering. Nach verschiedenen Autoren (Edling et al. 2006 sowie Chen et al. 2006), die von Rümmler (2010) zitiert werden, kann das $\text{BSB}_5/\text{NH}_4\text{-N}$ -Verhältnis als Maß für die organische Belastung herangezogen werden. Es sollte im Bereich von 1,8 bis 4 liegen, in der Containeranlage lag es aufgrund der hohen Ammoniumstickstoffwerte sogar unterhalb dieses Bereiches.

Im Zuge der Nitrifikation werden H^+ -Ionen freigesetzt und damit der pH-Wert gesenkt (Müller-Belecke 2010). Daher sind die niedrigen pH-Werte selbst, gemeinsam mit der Nitratkonzentration, ein deutliches Indiz dafür, dass zumindest in gewissem Rahmen eine Oxidation von Ammonium stattfand. Die Nitrifikationsrate war aber deutlich zu gering, um die Ammoniumstickstoffkonzentration auf einem angemessenen Niveau zu halten. Die im

Laufe der Untersuchung festgestellten Rückgänge bei Ammonium und Nitrat sind nicht als Hinweise auf Verbesserung dieser Umstände zu sehen sondern gingen Hand in Hand mit der Betriebseinstellung, die vor der Entnahme der Fische mit einer Reduktion der Futtermenge eingeleitet wurde.

Nach Schmidt-Puckhaber et al. (2016) ist für die Haltung des Afrikanischen Raubwelses eine Ammoniakkonzentration von unter $0,06 \text{ mg L}^{-1}$ anzustreben, das entspricht etwa $0,05 \text{ mg NH}_3\text{-N L}^{-1}$. Die Ergebnisse zeigen, dass zwar vor den täglichen Reinigungs- und Fütterungsarbeiten dieser Wert immer deutlich unterschritten wurde, es aber am Vormittag zu einem starken Anstieg der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Konzentration kam und der empfohlene Grenzwert an zwei Tagen überschritten wurde. Die Ursache für diesen Anstieg lag in der Erhöhung des pH-Wertes durch den Wasserwechsel und das obwohl die Gesamtkonzentration des Ammoniumstickstoffs niedriger war als in der Früh. Sehr hohe Ammoniumstickstoffkonzentrationen, wie sie in der Anlage nachgewiesen werden konnten, sind daher hinsichtlich des pH-Wertabhängigen Dissoziationsgleichgewichtes von Ammonium und Ammoniak bereits im schwach sauren Milieu problematisch. Schon geringfügige pH-Werterhöhungen lassen die Ammoniakkonzentration in die Höhe schnellen, wie an den hohen Werten am Vormittag abgelesen werden kann. Zur weiteren Veranschaulichung sind in der Abbildung 34 die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Werte dargestellt, die ausgehend von den tatsächlich gemessenen Ammoniumstickstoffkonzentrationen bei einer Erhöhung auf pH-Werte auf 6, 6,5 und 7 zu erwarten wären. Bei von vornherein höheren pH-Werten wäre allerdings aufgrund der höheren Nitrifikationsleistung von deutlich niedrigeren Ammoniumstickstoffwerten auszugehen.

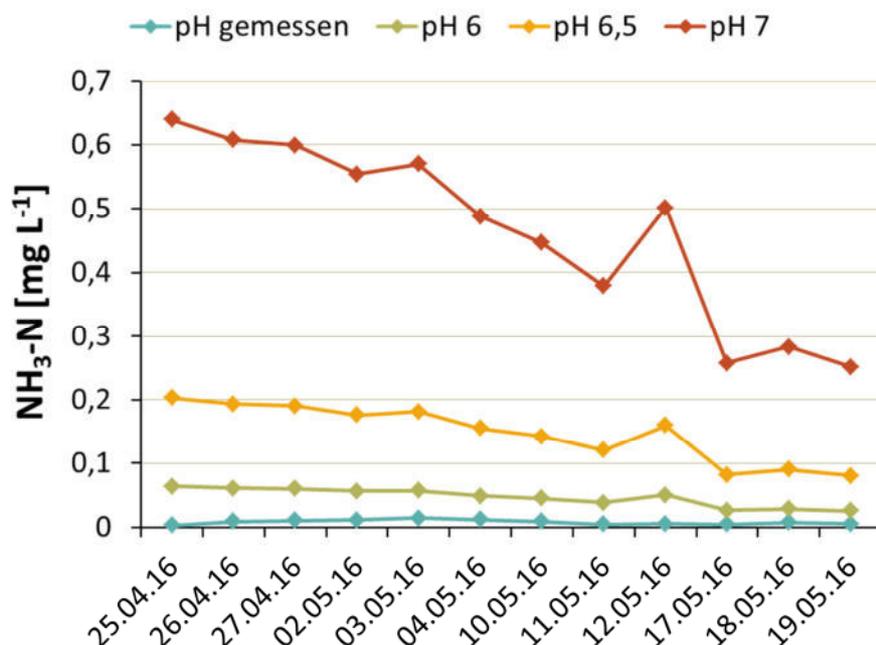


Abb. 34: Vergleich der Ammoniakstickstoffkonzentration bei den tatsächlich gemessenen pH-Werten mit den Konzentrationen bei Erhöhung des pH-Wertes auf 6, 6,5 und 7.

Einen deutlich höheren Grenzwert für die Haltung von *Clarias gariepinus* als Schmidt-Puckhaber et al. (2016) schlagen Schram et al. (2010) auf Basis einer eigenen Untersuchung

vor. Nach ihren Empfehlungen sollte eine Konzentration von $0,34 \text{ mg NH}_3\text{-N L}^{-1}$ nicht überschritten werden um das Risiko von Fressunlust und Wachstumsretardationen zu minimieren. Zur Erklärung, warum der Afrikanische Raubwels vergleichsweise wenig empfindlich auf Ammoniak reagiert, verweisen die Autoren auf eine Arbeit von Ip et al. (2004), in der angeführt wird, dass diese Fischart die Ammoniakexkretion aktiv auch gegen einen steilen osmotischen Gradienten bewerkstelligen kann und diese Fähigkeit als Hauptmechanismus zum Schutz gegen Ammoniumtoxizität einsetzt. Die in der Anlage gemessenen Konzentrationen lagen weit unter den empfohlenen $0,34 \text{ mg L}^{-1}$. Zu einer kritischen Belastung wäre es aber selbst bei diesem Grenzwert bereits im schwach sauren Bereich gekommen, wie in der Abbildung 34 ersichtlich.

Nitrit ist das Zwischenprodukt der Nitrifikation und wie Ammoniak für Fische bereits in geringen Konzentrationen toxisch. In Kreislaufanlagen kann bei unvollständigem Ablauf der Nitrifikation, aber auch bei diffuser Denitrifikation im System der Gehalt an Nitrit gefährlich ansteigen (EIFAC 1984). Für die Konzentration von Nitrit, dem Zwischenprodukt der Nitrifikation liegen ebenfalls Empfehlungen für die Aquakultur des Afrikanischen Raubwelses vor. Schmidt-Puckhaber et al. (2016) geben an, dass die Nitritkonzentration unterhalb von $0,4 \text{ mg NO}_2\text{- L}^{-1}$, das entspricht etwa $0,12 \text{ mg NO}_2\text{-N L}^{-1}$, liegen sollte. Die Werte in der Containeranlage lagen stets deutlich oberhalb dieser Marke. Eine Untersuchung von Roques et al. (2015) weist allerdings darauf hin, dass *Clarias gariepinus* auch hinsichtlich dieser Stickstoffverbindung ausgesprochen tolerant ist und in der Lage sein dürfte, bei erhöhten Konzentrationen im Plasma Nitrit in Nitrat umzuwandeln. Der von den Autoren aufgrund ihrer Ergebnisse vorgeschlagene Sicherheitsgrenzwert von $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ liegt damit weit über der Empfehlung von Schmidt-Puckhaber et al. (2016) und auch über den in der Anlage gemessenen Werten.

Das Endprodukt der Nitrifikation, das sich im Produktionswasser anreichert, ist Nitrat. Diese Stickstoffverbindung hat eine sehr geringe Toxizität die erst bei extrem hohen Werten Auswirkungen auf die Fischgesundheit hat (Lawson 1995, Timmons & Ebeling 2010). Die Kontrolle der Nitratkonzentration geschieht einerseits über den täglichen Wasserwechsel – dies war auch an den niedrigeren Nitratwerten am Vormittag im Vergleich zu den Frühwerten zu sehen – andererseits über diffuse Denitrifikation, die im Kreislaufsystem fast immer stattfindet (Rümmler 2010). Auch für diesen Parameter findet man in der Literatur unterschiedliche Angaben, welche Sicherheitsgrenzwerte in der Haltung von Afrikanischen Raubwelsen eingehalten werden sollten. Von Schmidt-Puckhaber (2016) wird empfohlen, eine Konzentration von $500 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$, das entspricht ca. $113 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$, nicht zu überschreiten. Schram et. al. untersuchten auch die Auswirkungen dieser Stickstoffverbindung auf *Clarias gariepinus*. Ihrer Empfehlung nach, die sich aus ihren Untersuchungsergebnissen ableitet, sollte die Nitratstickstoffkonzentration unterhalb von 140 mg L^{-1} gehalten werden. Höhere Werte können zu Fressunlust führen und in weiterer Folge das Wachstum beeinträchtigen. Nach Erfahrungswerten pendeln sich die Nitratwerte in Kreislaufanlagen oft auf einem Niveau von 300 bis $800 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ein, das entspricht ca. 68 bis $181 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ (Müller Belecke 2010), und liegen damit zum Teil über den angeführten Sicherheitsgrenzwerten. Das traf auch auf die Werte in der Containeranlage zu, die ebenfalls in diesem Bereich lagen. Im Zuge der Betriebseinstellung sanken die Nitratwerte

zwar kontinuierlich, in der ersten Untersuchungswoche jedoch, als die Anlage noch im Vollbetrieb lief, übertrafen die Nitratstickstoffwerte den von Schmidt-Puckhaber et al. empfohlenen Grenzwert deutlich und lagen im Bereich der von Schram et al. angegebenen Marke von 140 mg L^{-1} . In Anbetracht des Umstandes, dass diese Werte gleichzeitig mit hohen Ammoniumstickstoffkonzentrationen auftraten, wären Maßnahmen zur Verbesserung der Nitrifikationsleistung wohl auch mit einer Erhöhung der Wasserwechselrate zu kombinieren gewesen, da ansonsten mit einem Anstieg der Nitratstickstoffkonzentration auf unzuträgliche Werte zu rechnen gewesen wäre.

Die Anreicherung von Nitrat und anderen Substanzen wie Chloriden, Natriumionen und schwer oder nicht abbaubaren Stoffen ist eine Konsequenz des geringen Frischwassereinsatzes in Kreislaufanlagen (Rümler 2010). Damit verbunden ist auch ein Anstieg des Gehaltes an gelösten Feststoffen, was in Folge an hohen Leitfähigkeitswerten abzulesen ist (Lawson 1995). In der Containeranlage betrug der Maximalwert, der in der ersten Woche gemessen wurde, $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$. Mit abnehmenden Ammonium- und Nitratstickstoffkonzentrationen verringerte sich auch die Leitfähigkeit in den folgenden Wochen. Ein hoher Gehalt an schwer oder nicht abbaubaren Substanzen äußert sich in einem unausgewogenen Verhältnis zwischen biologischem und chemischem Sauerstoffbedarf mit hohen CSB- und vergleichsweise niedrigen BSB₅-Werten. Während leicht abbaubare Substanzen laufend aus dem Produktionswasser entfernt werden, kommt es bei schwer abbaubaren Stoffen zu einer Akkumulation. In der Containeranlage war dieser Prozess auch deutlich zu sehen. Der CSB betrug mehr als das 10fache des BSB₅.

Die Rolle des pH-Wertes wurde bereits angeschnitten. Seine Bedeutung für die Nitrifikation und seine Relevanz im Zusammenhang mit dem Ammonium-Ammoniak-Gleichgewicht machen ihn zu einem Schlüsselparameter in der Aquakultur in geschlossenen Kreislaufanlagen. Der anzustrebende pH-Wert muss daher einen Kompromiss, der sich aus diesen Anforderungen ableitet, darstellen. Da die Nitrifikation den pH-Wert absenkt, ist eine Regulation praktisch immer notwendig. Einen gewissen Beitrag dazu leistet die Zufuhr von Frischwasser, wie auch am Vergleich der Früh- und Vormittagsmesswerte abgelesen werden kann. Nach dem täglichen Wasserwechsel war der pH-Wert im Mittel etwas höher als davor. In der Regel ist es jedoch erforderlich, alkalische Chemikalien zur Stabilisierung des pH-Wertes einzusetzen (Rümler 2010). Timmons & Ebeling (2010) empfehlen einen pH-Wert von 6,5 bis 8,5, wobei im Hinblick auf die Ammoniakbelastung Werte am unteren Ende dieses Spektrums angestrebt werden sollten. In diesem Sinne rät Rümler (2010) auch zu einem pH-Wert von 6,5 bis 7. Der pH-Wert beeinflusst aber nicht nur über das Zusammenspiel mit anderen Parametern die Fischgesundheit, sondern wirkt auch direkt auf die Enzymfunktion, den Elektolyt- und Wasserhaushalt (Schreckenbach 2010). In Kreislaufanlagen sind zu hohe pH-Werte hinsichtlich solcher Auswirkungen auf die Fische kaum zu befürchten, zu niedrige Werte können allerdings auftreten (ibid.). In zu saurer Umgebung kommt es zur Azidose oder Säurekrankheit. Bereits lange bevor die kritischen Grenzwerte erreicht sind, reagiert der Fisch auf unzulängliche pH-Werte unter Energieaufwand mit aktiven Regulationsmechanismen, damit der pH-Wert des Blutes innerhalb der physiologischen Grenzen bleibt, jedoch auf Kosten der Gesundheit und des Wachstums (Baur und Rapp 2003). Für *Clarias gariepinus* wird ein pH-Wert von 5,5 bis 8

empfohlen (Schmidt-Puckhaber 2016). Damit sind Werte, wie sie im Zuge der Untersuchung nachgewiesen werden konnten nicht nur im Hinblick auf die Nitrifikation problematisch, sondern können sich direkt ertragsmindernd auswirken.

Trotz der genannten Defizite in der Wasserqualität waren keine negativen Effekte auf das Wachstum der Welse zu bemerken und das erzielte mittlere Stückgewicht stimmte sehr gut mit Angaben aus der Literatur überein. Ausgehend von einem Satzgewicht von 10 g ist beim Afrikanischen Raubwels innerhalb von vier bis fünf Monaten eine Zunahme auf ein Stückgewicht von 1,2 bis 1,3 kg bei der Ernte realistisch (Gebr. Pommerehne GbR et al. 2010) Jansen et al. (2010) geben als Durchschnittsgewicht 1,4 kg an, das in ca. 135 Tagen erreicht wird. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch die Fische aus der Containeranlage. Darüber hinaus stimmten die Produktion und das Stückgewicht im Großen und Ganzen recht gut mit den Zielwerten überein. Gewisse Diskrepanzen ergaben sich vor allem als Folge der Verluste, deren Ausmaß erst bei der Ernte ausgemacht werden konnte. Eine geringere Individuenzahl wurde aber zumindest teilweise von einem höheren Stückzuwachs kompensiert. Gut die Hälfte der nach PAL für die Containeranlage prognostizierten Jahresproduktion von 6 t konnte bereits bis Ende Mai erreicht werden. Auch der mittlere Futterquotient zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit Erfahrungswerten aus anderen Kreislaufanlagen, die mit 0,8 bis 0,9 beziffert werden (Gebr. Pommerehne GbR et al. 2010). Beim Blick auf die einzelnen Chargen war es allein die Charge 1, die etwas aus dem Rahmen fiel und die an die Kennwerte aus der Literatur nicht immer herankam.

Für die Verlustrate fehlen leider aktuelle Vergleichswerte aus der Mast Afrikanischer Raubwelse in anderen Kreislaufanlagen. Veröffentlichungen aus dem Jahr 1999 beziffern die Überlebensrate mit 76 % (Eding & van Weerd) sowie mit 78 % bei gezielter Entfernung der langsamwüchsigen Fische (Schoorl) und liegen damit deutlich unter den Ergebnissen in der Containeranlage. Wie der letztgenannte Autor aber selbst vermerkt, spiegeln Produktionskennwerte stets den jeweiligen Entwicklungsstand wider. Laufende Verbesserungen in der Fütterung, dem Betrieb und der Technik lassen davon ausgehen, dass die Überlebensraten heute höher sind. Aktuelle Daten zu dieser Thematik wären daher dringend erforderlich, da eine erhöhte Sterblichkeit sich nicht nur in einer verringerten Produktion niederschlägt sondern auch im Hinblick auf das Tierwohl bedenklich ist. Fest steht, dass auch innerhalb des Containers zwischen den Chargen teilweise nennenswerte Unterschiede in den Verlusten auftraten, die anhand der verfügbaren Daten nicht zureichend zu erklären sind. Für die Annahme, dass die Wasserqualität der ausschlaggebende Faktor war, überwiegen für die Chargen 2 bis 4 die Gegenanzeigen. Zur der Zeit, als die Belastung durch hohe Konzentrationen an Ammonium- und Nitratstickstoff am höchsten war befanden sich nur noch die Chargen 4 und 5 mit den höchsten Überlebensraten in den Becken. Die gute Futtermittelverwertung und die zum Teil höheren Stückgewichte der überlebenden Welse sprechen ebenfalls dagegen. Nur die leicht reduzierte Fressaktivität der Fische, die aber zum Teil auf die Verluste selbst zurückzuführen ist, kann als Reaktion auf unzulängliche Werte relevanter Parameter interpretiert werden. Für die vergleichsweise hohen Verluste und die allgemein schlechtere Performance der Charge 1 könnten aber möglicherweise die Extremwerte kurz nach der Inbetriebnahme der Anlage eine Rolle gespielt haben. Dagegen spricht wiederum, dass der Großteil der Ausfälle erst nach der Vormast und lange nach der Einfahrzeit zu

verzeichnen waren. Dieses Muster der niedrigen Verlusten in der Vormast und der höheren danach war ein Kuriosum, das in allen Chargen auftrat. An und für sich wird von höheren Verlusten bei juvenilen Fischen ausgegangen und sowie von einer mit dem Alter und der Größe sinkenden Sterblichkeit (Eding & van Weerd 1999). Da die Verluste zumindest in den vier Fällen, in denen sie für die Vormast und die Mast berechnet werden konnten, die der Vormast stets wesentlich niedriger waren erscheint auch die Möglichkeit von Fehleinschätzungen der Individuenzahl beim Besatz wenig plausibel.

5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Analyse physikalischer und chemischer Parameter in der Containeranlage legten, bezogen auf die aktuelle Literatur zum Thema, Probleme in der biologischen Reinigung offen, die sich im Wesentlichen in enorm hohen Ammoniumstickstoffkonzentrationen an allen vier Messstellen entlang der Wasserführung des Kreislaufes äußerten. Als Hauptursache konnten zu niedrige pH-Werte ausgemacht werden, die zwar die Konzentration von Ammoniak niedrig hielten, jedoch die Nitrifikationsleistung auf ein Minimum reduzierten. Die niedrigen pH-Werte sind Teil des Bewirtschaftungskonzeptes des Betreibers, der auf Maßnahmen zur Stabilisierung des pH-Wertes verzichtet. Dem gegenüber stehen die zufriedenstellenden Produktionsergebnisse des kultivierten Fisches *Clarias gariepinus*, der für seine Robustheit und weiten Toleranzbereiche bekannt und auch aus diesem Grund ein idealer Fisch für geschlossene Kreislaufanlagen ist. Die anderen Anlagenteile der Wasseraufbereitung erfüllten im Großen und Ganzen ihren Zweck. Die Elimination des größten Teiles der Feststoffe fand erwartungsgemäß im Sedimentationsbecken statt, gelegentlich war aber der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen in sensiblen Bereichen der Anlage zu hoch. Der Tropfkörper erwies sich in der Sauerstoffanreicherung als sehr effektiv, es fand in ihm jedoch entgegen der Annahme kein Abbau organischer Substanzen statt.

6 Literatur

- Ajiboye, A.O. & Aremu, A.Q. (2015): Effects of water level on growth, nutrient utilization and survival of African catfish, *Clarias gariepinus*. International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 109-112.
- Baur, W.H. & Rapp, J. (2003): Gesunde Fische. Parey Buchverlag.
- Blaas, K. (2012): Aquakultur 2020 – Österreichische Strategie zur Förderung der nationalen Fischproduktion. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Eding, E.H. & van Weerd, J.H. (1999): Spezielle Aquakulturverfahren und Aquakulturkandidaten. In: Bohl, M.: Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. VerlagsUnion Agrar.
- EIFAC (1984): Water quality criteria for European freshwater fish – Report on nitrite and freshwater fish. EIFAC Technical Paper 46.
- Gebr. Pommerehne GbR, Landesgenossenschaft Pröttlin e.G. & PAL Anlagenbau GmbH (2010): Praktische Erfahrungen bei der Welserezeugung (Afrikanischer Wels – *Clarias gariepinus*) im geschlossenen Kreislauf. In: Schmitdt-Puckhaber, B.: Fisch vom Hof?! – Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG Verlag.
- Jansen, W., Jennerich, H. Kühn, H. & Kühn, C. (2010): Zur Entwicklung der Fischzucht in Kreislaufanlagen in Mecklenburg-Vorpommern. Fischerei und Fischmarkt in MV 1/2010, 27-30.
- Hobiger, G. (1996): Ammoniak in Wasser – Ableitung einer Formel zur Berechnung von Ammoniak in wässriger Lösung. Umweltbundesamt.
- Holzer, M. (2013): pH-Wert – Nitrifikation – Pufferkapazität - 45. Tagung für das Klärwerkpersonal im Kanton Graubünden. Amt für Natur und Umwelt.
- Lawson, T.B. (1995): Fundamentals of Aquacultural Engineering. Springer Science+Business Media, B.V.
- Müller-Belecke, A. (2010): Wasser – optimale Haltungsumgebung schaffen und wahren. In: Schmidt-Puckhaber, B.: Fisch vom Hof?! – Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag.
- Roques, J.A.C., Schram, E., Spanings, T., van Schaik, T., Abbink, W., Boerrigter, J., de Vries, P., van de Vis, H. & Flik, G. (2013): The impact of elevated water nitrite concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture Research, 1-12.
- Rümmler, F. (2010): Kreislauftechnik – Aufbereitung und Wiederverwendung. In: Schmidt-Puckhaber, B.: Fisch vom Hof?! – Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag.
- Schmidt-Puckhaber (2004): Aquakultur – Ein neuer Sektor mit Zukunft? In: Burger, H.: Das neue große Europa – Perspektiven für die Agrarwirtschaft. DLG-Verlag.
- Schmidt-Puckhaber, B., Rümmler, F. & Meylahn, U. (2016): Statusbericht zur Fischerzeugung in geschlossenen Kreislaufsystemen in Deutschland. DLG-Verlag.

Schoorl, R.C. (1999): Produktion von afrikanischen Welsen in Kreislaufanlagen. In: Bohl, M.: Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. VerlagsUnion Agrar.

Schram, E., Roques, J.A.C., Abbink, W., Spanings, T., de Vries, P., Bierman, S., van de Vis, H. & Flik, G. (2010): The impact of elevated water ammonia concentration on physiology, growth and feed intake of African Catfish (*Clarias gariepinus*). Aquaculture 306, 108-115.

Schram, E., Roques, J.A.C., Abbink, W., Yokohama, Y., Spanings, T., de Vries, P., Bierman, S., van de Vis, H. & Flik, G. (2012): The impact of elevated water nitrate concentration on physiology, growth and feed intake of African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture Research, 1-13.

Schreckenbach, K. (2010): Gesundheit und Hygiene – Basis für Wachstum. In: Schmidt-Puckhaber, B.: Fisch vom Hof?! – Fischerzeugung in standortunabhängigen Kreislaufanlagen. DLG-Verlag.

Steffens, W. (1981): Moderne Fischwirtschaft – Grundlagen und Praxis. Verlag J. Neumann-Neudamm.

Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. (2010): Recirculating Aquaculture. NRAC Publication.