



Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V.
Potsdam - Sacrow



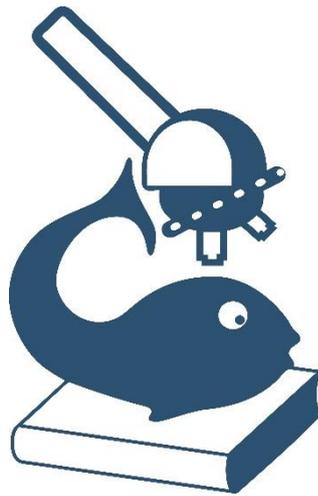
Band 60

Untersuchungen zum Einsatz von Kochsalz
(NaCl) bei der Aufzucht und Haltung von
europäischen Zandern (*Sander lucioperca*)
in geschlossenen Kreislaufanlagen

Schriften des Instituts für Binnenfischerei e. V.
Potsdam - Sacrow

Band 60

Untersuchungen zum Einsatz von Kochsalz
(NaCl) bei der Aufzucht und Haltung von
europäischen Zandern (*Sander lucioperca*) in
geschlossenen Kreislaufanlagen



Impressum

Autoren: Dr. Christopher Naas¹, Prof. Dr. Werner Kloas²,
Dr. Andreas Müller-Belecke¹
¹ Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam - Sacrow
² Leibniz-Institut für Gewässerökologie und
Binnenfischerei (Berlin)

Titelfoto: Dr. Andreas Müller-Belecke
Titeldesign: printlayout und webdesign Ivo Olias

Herausgeber: Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam - Sacrow
Im Königswald 2
14469 Potsdam

Tel. +49 33201/406-0
Mail info@ifb-potsdam.de
Web www.ifb-potsdam.de

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen 32098/01-34 gefördert.



Die Herausgabe und der Druck der Schriftenreihe werden finanziell gefördert durch die Bundesländer Brandenburg, Sachsen - Anhalt, Schleswig - Holstein und Thüringen.

Schriften des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam – Sacrow
60 (2021); ISSN 1438-4876, 2. geänderte Auflage (Layoutanpassung)

Inhalt

1.	EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG	5
2.	LITERATURÜBERSICHT	7
2.1	Der Zander	7
2.2	Der Zander in der Binnenfischerei und Aquakultur	8
2.3	Der Zander als Kandidat für die Aufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen.....	9
2.4	Zander in salinen Lebensräumen	10
2.5	Die Osmoregulation von Süßwasserfischen	11
2.6	Wachstum und Futtermittelverwertung von Süßwasserfischen unter dem Einfluss von Salz	13
2.7	Physiologische und morphologische Reaktionen von Fischen auf Salz	14
2.8	Salz als Bestandteil der Anlagenhygiene von geschlossenen Kreislaufanlagen	14
2.9	Effekte von Salz auf Schlachtparameter und Produktqualität.....	15
3.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNGEN	16
3.1	Die Wirkung von NaCl auf Zandereier.....	16
3.1.1	Materialien und Methoden.....	16
3.1.2	Ergebnisse	17
3.1.3	Diskussion.....	18
3.1.4	Fazit	19
3.2	Die Aufzucht von schwimm- und fressfähigen Zanderlarven unter Zugabe von NaCl	19
3.2.1	Materialien und Methoden.....	20
3.2.2	Ergebnisse	21
3.2.3	Diskussion.....	23
3.2.4	Fazit	24
3.3	Die Aufzucht von trockenfutteradaptierten Jungzandern unter Zugabe von NaCl	24
3.3.1	Materialien und Methoden.....	25
3.3.2	Ergebnisse	25
3.3.3	Diskussion.....	27
3.3.4	Fazit	29
3.4	Die Aufzucht von juvenilen Zandern unter Zugabe von NaCl.....	29
3.4.1	Materialien und Methoden.....	30
3.4.2	Ergebnisse	34
3.4.3	Diskussion.....	44
3.4.4	Fazit	51

3.5	Die Aufzucht von Zandersetzlingen unter Zugabe von NaCl	52
3.5.1	Materialien und Methoden	52
3.5.2	Ergebnisse	53
3.5.3	Diskussion.....	53
3.5.4	Fazit	54
3.6	Langzeitversuch unter praxisnahen Bedingungen zur Aufzucht von Zandern zu Speisefischanwärmern unter der Zugabe von NaCl	54
3.6.1	Materialien und Methoden	54
3.6.2	Ergebnisse	57
3.6.3	Diskussion.....	65
3.6.4	Fazit	70
3.7	Die Behandlung von Ektoparasiten mit NaCl bei Zandern in geschlossenen Kreislaufanlagen ..	70
3.7.1	Materialien und Methoden	71
3.7.2	Ergebnisse	72
3.7.3	Diskussion.....	75
3.7.4	Fazit	77
3.8	Eine ökonomische Betrachtung der Zanderaufzucht unter Brackwasserbedingungen in Kreislaufanlagen.....	77
3.8.1	Materialien und Methoden	77
3.8.2	Ergebnisse und Kommentare	78
4.	ABLEITUNG VON PRAXISEMPFEHLUNGEN	82
5.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	85
6.	DANKSAGUNG	86
7.	VERÖFFENTLICHUNGEN, PRÄSENTATIONEN UND BEITRÄGE IM RAHMEN DES PROJEKTES	87
8.	LITERATURVERZEICHNIS	89
9.	ANHANG: STATISTIK UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	102

1. Einleitung und Zielstellung

Die Aquakultur gehört mit einer Wachstumsrate von 4,5 % zu dem am weltweit schnellsten wachsenden Sektor der Agrarwirtschaft. Im Jahr 2018 wurden weltweit 114,5 Millionen Tonnen Aquakulturerzeugnisse produziert (FAO 2020a). Die jährlichen Erträge aus der Fangfischerei sind seit den 1980er Jahren stagnierend (FAO 2020a), sodass sich im Angesicht der zunehmenden Weltbevölkerung und einer steigenden Nachfrage nach fischereilichen Produkten eine Versorgungslücke auftut.

Im Jahr 2019 standen in Deutschland einem Import von 1 969 000 t (89 %) fischereilichen Produkten ein Aufkommen von 248 000 t (11 %) aus Fischerei und Aquakultur gegenüber (FIZ 2021). Die deutsche Aquakultur produzierte im selben Berichtsjahr 18 800 t (BRÄMICK 2020) und damit rund 8 % des gesamtinländischen Aufkommens.

In der heimischen Salmonidenaquakultur und der traditionellen Karpfenteichwirtschaft sind aufgrund sinkender Verbrauchernachfrage beim Karpfen und zunehmender Einschränkungen im Produktionsablauf zukünftig kaum nennenswerte Ertragssteigerungen zu erwarten. Durch die Limitierung von produktionsentscheidenden Ressourcen, wie z. B. Wasser und Energie, wird ein Wachstum des Aquakultursektors nur unter intensiven und gleichzeitig kontrollierten Bedingungen möglich sein (MEYER u. a. 2016).

Landbasierte Aufzuchtssysteme, geschlossene Kreislaufanlagen (KLA), werden dort eingesetzt, wo eine Standortunabhängigkeit und Schonung natürlicher Ressourcen für eine effiziente und nachhaltige Produktion notwendig sind (MARTINS u. a. 2010). Das Interesse an der Produktion von aquatischen Organismen in KLA ist seit Jahren vorhanden. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland an mindestens 56 Standorten 2 862 t Fisch in KLA produziert (BRÄMICK 2020). KLA verfügen über interne Wasseraufbereitungsstufen, die es ermöglichen, hohe Wassernutzungsintensitäten zu realisieren. Die täglichen Wasseraustauschraten können dabei auf bis zu 2 % des Gesamtvolumens reduziert werden. Die Produktion von Fischen in KLA ist jedoch durch den

hohen Energiebedarf und den Einsatz von Technik kostenintensiver als herkömmliche Aufzuchtverfahren.

Der europäische Zander (*Sander lucioperca*) ist ein vielversprechender Kandidat für die Aufzucht in KLA, da er eine hohe Beliebtheit bei Konsumenten genießt und zudem hochpreisig am Markt abgesetzt werden kann. Im Vergleich zur Aufzucht in Teichen stellen KLA jedoch einen relativ neuen Branchenweig der Zanderaquakultur dar (DALSGAARD u. a. 2013). Der mit etwa 13 Monaten Dauer stark verkürzte Produktionszyklus von Zandern in KLA bis zur Endstückmasse von 1 000 g (MÜLLER-BELECKE mdl. Mitt.) stellt den entscheidenden Vorteil gegenüber der herkömmlichen zwei- bis fünfjährigen Aufzucht als Nebenfisch in der Teichwirtschaft dar.

Das Wachstum der Zanderaquakultur ist maßgeblich von der Weiterentwicklung und Optimierung kreislaufbasierter Aufzuchtssysteme abhängig (FAO 2020c). Protokolle zur Aufzucht und Vermehrung von Zandern in intensiven Systemen sind bereits erarbeitet worden (ZIENERT u. HEIDRICH 2005, DALSGAARD u. a. 2013, LFA 2021) sowie die entscheidenden physiologischen Ansprüche an die Wasserqualität in KLA bekannt (SCHRAM u. a. 2014, STEINBERG u. a. 2017, 2018, WUERTZ u. a. 2013).

Obwohl es sich beim Zander um eine Fischart handelt, die sowohl in süß- als auch in brackwassergeprägten Lebensräumen vorkommt (AARTS u. BREUKELAAR 2017, HANSSON u. a. 1997, LOŽYS 2003, 2004, SCOTT u. a. 2008), findet die Aufzucht in KLA unter Süßwasserbedingungen statt (DALSGAARD u. a. 2013).

Mit der Applikation von Salz gehen jedoch eine Vielzahl von Vorteilen einher. So kann sich bereits eine geringfügige Erhöhung der Salzkonzentration positiv auf das Wachstum und die Futterverwertung von barschartigen Fischen auswirken (KIBRIA u. a. 1999, LOŽYS 2004, LUO u. a. 2012). Mit Blick auf die kontrollierte Aufzucht in KLA könnte dies in einer gesteigerten Produktion resultieren.

Weiterhin wurden bei Fischen, die unter Brackwasserbedingungen aufgezogen worden sind, keine Fehlerlarven im Filet festgestellt (FARMER u. a. 1995, YAMPRAYOON u. NOOMHORM 2000), sodass etwaige Hälterungsprotokolle im Anschluss an die Aufzucht verkürzt werden könnten.

Neben ökonomischen Vorteilen kann Salz die Effekte von gelegentlich im Haltungswasser gelösten fischtoxischen Produkten der Nitrifikation abmildern (SOUSA u. a. 1974, WUERTZ u. a. 2013). Zusätzlich ist es möglich die Stressantwort von Fischen im Anschluss an Sortier- und Verladevorgänge mit Hilfe von im Wasser gelöstem Natriumchlorid (5 NaCl g l^{-1}) signifikant zu reduzieren (BARTON u. ZITZOW 1995) sowie mit Ektoparasiten befallene Fische zu behandeln (GRIGNARD u. a. 1996). Folglich könnte durch den Einsatz von Salz das Wohlergehen von Zandern in KLA sichergestellt werden. Damit hat Salz das Potenzial, die Aufzucht von Zandern in KLA zu optimieren. Bisher liegen jedoch keine Studien zur Aufzucht von Zandern unter Brackwasser bzw. brackwasserähnlichen Bedingungen in KLA vor (DALSGAARD u. a. 2013) und das, obwohl der Einsatz von Salz als „Gute fachliche Praxis“ interpretiert werden kann (vgl. POLICAR u. a. 2019).

Das Ziel dieses Projektes war es daher zu untersuchen, inwieweit sich der Einsatz von niedrigen Konzentrationen gelösten Natriumchlorids – ähnlich denen in Brackwasser – zur Aufzucht von Zandern unterschiedlicher Entwicklungsstufen (Ei/Embryo, schwimm- und fressfähige Zanderlarven, trockenfutteradaptierte Jungzander, Setzlinge)

in KLA eignet und ob in bestimmten Konzentrationsbereichen Vorteile gegenüber der Aufzucht in Süßwasser zu beobachten sind. Um zu überprüfen, ob die gewonnenen Erkenntnisse in die Aquakulturpraxis übertragen werden können, wurde ein Langzeitversuch im halbtechnischen Maßstab durchgeführt. Während der 252 Versuchstage wurden in zwei identischen KLA mit 0 bzw. 3 g NaCl l^{-1} Zander-setzlinge (30 g Startstückmasse) bis zum speisefähigen Fisch aufgezogen und deren Entwicklungs- und Gesundheitszustand kontinuierlich beobachtet. Zusätzlich erfolgten am Ende des Versuches Untersuchungen der resultierenden Schlachtkörper und Produktqualität.

Beim Transfer von Oberflächengewässern in KLA können Zander zudem Vektoren für Ektoparasiten sein. Aus diesem Grund wurde in einem weiteren Experiment untersucht, ob die Zugabe von NaCl ($0, 3$ und 6 g l^{-1}) Ektoparasiten eliminieren kann.

Die vorliegende Broschüre basiert auf dem Abschlussbericht des durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes „Aufzucht von europäischen Zandern (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen: Verbesserung von Nachhaltigkeit, Tierwohl und Ökonomie in geschlossenen Kreislaufanlagen“ (NAAS u. MÜLLER-BELECKE 2020), einer Dissertationsschrift „Die Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen in geschlossenen Kreislaufanlagen“ (NAAS 2021) sowie Korrekturen, Präzisierungen und aktuellen Ergänzungen.

2. Literaturübersicht

2.1 Der Zander

Der europäische Zander (*Sander lucioperca* (L. 1758)) ist ein Vertreter der Familie der Percidae (Echte Barsche). Er erreicht Körperlängen von bis zu einem Meter, Stückmassen von bis zu 10 kg (SCHARF u. a. 2011) und ein Lebensalter von bis zu 17 Jahren (KOTTELAT u. FREYHOF 2007). Der Körper des Zanders ist langgestreckt und spindelförmig mit einer silbrig-grau-grünen Grundfärbung des Rückens und einer helleren silbrig-weißen Bauchseite. Die Körperseiten sind mit acht bis zwölf dunklen Querbinden besetzt. Die paarigen Flossen sowie die Afterflosse sind einheitlich grau eingefärbt, und die Schwanz- und Rückenflossen sind unregelmäßig dunkel gemustert. Die Rückenflosse ist wie bei vielen barschartigen Fischen zweigeteilt, wobei die vordere Flosse aus Hartstrahlen und die hintere Flosse aus Weichstrahlen besteht (Abbildung 2.1). Der Zander hat einen spitzen Kopf mit einem endständigen Maul, welches mit charakteristischen Hundszähnen ausgestattet ist. Die Maulspalte reicht dabei bis hinter die Augen. Der Name „Zander“ ist vermutlich auf seine markanten

Fangzähne zurückzuführen: „Zahnder, der Bezahnte“ (SCHÄPERCLAUS u. VON LUKOWICZ 1998). Das *Tapetum lucidum* in den Augen des Zanders lässt diese unter Lichteinfluss charakteristisch aufleuchten.

Der Zander besiedelt bevorzugt kiesgründige Gewässer mit hartem Grund. Er ist in weiten Teilen Eurasiens und hier insbesondere in trüben Flüssen und eutrophen Seen, aber auch in brackwassergeprägten Küstengewässern und Flussmündungen anzutreffen (KOTTELAT u. FREYHOF 2007). Der Zander benötigt ausgedehnte Freiwasserflächen, die nicht von submersen Wasserpflanzen bewachsen sind (SCHÄPERCLAUS u. VON LUKOWICZ 1998). Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet des europäischen Zanders zwischen dem Schwarzen Meer und der Ostsee hat sich durch intensive Besatzmaßnahmen erweitert. Heute ist diese Art fast überall in Europa sowie in Nordafrika und Westasien anzutreffen (KOTTELAT u. FREYHOF 2007). Der europäische Zander ist als nicht gefährdete Fischart eingestuft (FREYHOF u. KOTTELAT 2008).



Abbildung 2.1: Foto eines adulten Zanders aus einem Netzgehege (Foto: MÜLLER-BELECKE).

2.2 Der Zander in der Binnenfischerei und Aquakultur

Der Zander ist ein beliebter Speisefisch und ein wichtiger Zielfisch der Erwerbs- und Angelfischerei. Er zeichnet sich durch ein weißes, fettarmes Muskelfleisch aus, das nur wenige intramuskuläre Gräten aufweist.

Die FAO (2020b) berichtet für den Zeitraum von 1950 bis 2016 über einen Rückgang der weltweiten Fangerträge von Zandern um knapp 60 % von 48 800 t auf 19 872 t. In der deutschen Binnenfischerei wurden im Vergleich dazu für das Berichtsjahr 2016 lediglich 106 t Speisezander angelandet (BRÄMICK 2017). Die hohe Nachfrage in Deutschland nach diesem Fisch kann aus der heimischen Fangfischerei nur eingeschränkt gedeckt werden, weshalb es laut KLOAS u. a. (2011) zum Import von kontrovers diskutierten und nur bedingt nachhaltigen Zanderprodukten kommt.

In der Aquakultur werden Zander mit Hilfe von zwei Produktionsmethoden aufgezogen, die sich jedoch in ihrer Intensität deutlich voneinander unterscheiden. Zum einen kommt dem Zander als Nebenfisch in der klassischen Karpfenteichwirtschaft eine bedeutende Rolle zu (BRÄMICK 2017). Zum anderen ist es möglich Zander in geschlossenen Kreislaufanlagen (KLA) aufzuziehen. In der Teichwirtschaft wird der Zander auf extensive Weise in Erdteichen aufgezogen. Die Haltung findet in Polykultur mit Cypriniden statt. Die gezielte und kontrollierte Vermehrung von Zandern in Teichen ist der Ausgangspunkt dieser Methode. Die Tiere benötigen in Abhängigkeit von Futterangebot und klimatischen Bedingungen jedoch drei bis fünf Jahre bis zum Erreichen ihrer Vermarktungsfähigkeit von etwa einem Kilogramm Stückmasse. Insbesondere die Anfälligkeit junger Zander gegenüber fischpathogenen Parasiten sowie die Sensibilität der Tiere gegenüber dem Abfischungsprozess (SCHÄPERCLAUS u. VON LUKOWICZ 1998) stellen erhebliche Nachteile bei dieser Produktionsmethode dar. Der im Vergleich

zum Karpfen wesentlich höhere Verkaufserlös des Zanders macht diesen Fisch für die Teichwirtschaft jedoch äußerst attraktiv. Neben einer möglichen Erzeugung von Speisezandern findet insbesondere die Aufzucht von Fingerlingen bzw. Setzlingen als Besatzmaterial für Angelgewässer und KLA statt.

Ein deutlich größeres Potential für eine nachhaltige, heimische Zanderproduktion bieten KLA, die, bei optimalen Bedingungen, eine Aufzucht von Speisefischen innerhalb eines Jahres ermöglichen (ZIENERT u. HEIDRICH 2005). Die bedarfsgerechte, planbare Reproduktion von Zandern auch außerhalb natürlicher Laichzeiten, die Umstellung auf Alleinfuttermittel und eine anschließende Aufzucht zur Speisefisch-/Laichfischgröße sind dafür grundlegend. Protokolle in allen Bereichen der Zander-aquakultur werden seit mehreren Jahren erfolgreich untersucht, mit planbaren Ergebnissen durchgeführt und an Praxisbetriebe vermittelt (ZIENERT u. HEIDRICH 2005, LFA 2021). Zahlreiche neuere Unternehmungen auf dem Gebiet der heimischen Aquakultur zielen auf die Erzeugung von Speisezandern ab. Im Jahr 2017 erreichte in Deutschland die Zanderproduktion in Kreislaufanlagen ein Volumen von 132 t (BRÄMICK 2018). Allerdings ist die Senkung der Gestehungskosten in der Zanderaufzucht zur Etablierung einer langfristigen, nachhaltigen und heimischen Produktion weiterhin dringlich geboten. Der am IfB entwickelte und erfolgreich in die Praxis überführte „Selbstreinigende Inertgas-Denitrifikations-Reaktor“ führt zu einer direkten, nennenswerten Ersparnis von Frisch- und Ablaufwasser und damit zu einem Grundstein erfolgreicher KLA-Produktion (MÜLLER-BELECKE u. a. 2013). Aufgrund der deutlich reduzierten Wasseraustauschrate ermöglicht er zusätzlich einen ökonomisch vertretbaren Einsatz von Kochsalz (NaCl) in der kreislaufbasierten Aquakultur.

2.3 Der Zander als Kandidat für die Aufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen

Geschlossene Kreislaufanlagen (KLA) stellen eine alternative Produktionsmethode für Perciden dar, sie sind jedoch im Vergleich zur Aufzucht in Teichen ein relativ neuer Branchenzweig in der Zander-Aquakultur (DALSGAARD u. a. 2013).

Eine KLA hat im Vergleich zu herkömmlichen Produktionstechnologien entscheidende Vorteile. Sie ermöglicht eine standortunabhängige Fischproduktion, bei der sämtliche Umweltparameter kontrolliert und festgelegt werden können. Aus diesem Grund ist es möglich, eine kontinuierliche, ganzjährige Aufzucht von Fischen zu realisieren. In einer KLA werden die Fische, sortiert nach Größen- bzw. Gewichtsklasse, in Monokultur gehalten. Eine schematische Darstellung einer KLA erfolgt in Abbildung 2.2. Bei einer KLA handelt es sich um ein ressourcensparendes Verfahren, da weniger Produktionsfläche benötigt wird und der Wasserbedarf um bis zu 99 % geringer sein kann als in Durchflussanlagen (TIMMONS u. EBELING 2013). Der geringe Wasserbedarf wird mit Hilfe von internen Wasseraufbereitungsstufen (mechanische Reinigung zur Entnahme von organischer Substanz, biologische

Filter zur Umwandlung von Stoffwechselendprodukten der Fische, Sauerstoffanreicherung, Denitrifikation, Keimreduzierung/Wasserkonditionierung) realisiert, die es ermöglichen die Wasserparameter für die jeweilige Fischart im Optimum zu halten. Durch die geringen Wasseraustauschraten reichert sich langfristig Nitrat (NO_3^-) im Prozesswasser einer KLA an. Die Nitrat-Konzentration bestimmt daher das täglich auszutauschende Wasservolumen (MARTINS u. a. 2010), womit sie als der limitierende Faktor in KLA angesehen werden kann (SCHUSTER u. STELZ 1998). Erst der Einsatz von Denitrifikationsstufen zur Nitratreduzierung (MÜLLER-BELECKE u. a. 2013) ermöglicht eine weitere Einsparung von Frischwasser und erlaubt somit eine zusätzliche Intensivierung der Fischeaufzucht in KLA. Das bei der Aufzucht in KLA anfallende Ablauf- und Reinigungswasser wird in nachgeschalteten Wasserbehandlungsanlagen aufbereitet (VAN RIJN 2013, MÜLLER-BELECKE u. a. 2018), womit der Umwelteinfluss der Fischeaufzucht auf die Vorflut auf ein Minimum reduziert werden kann (s. a. RÜMMLER 2020).

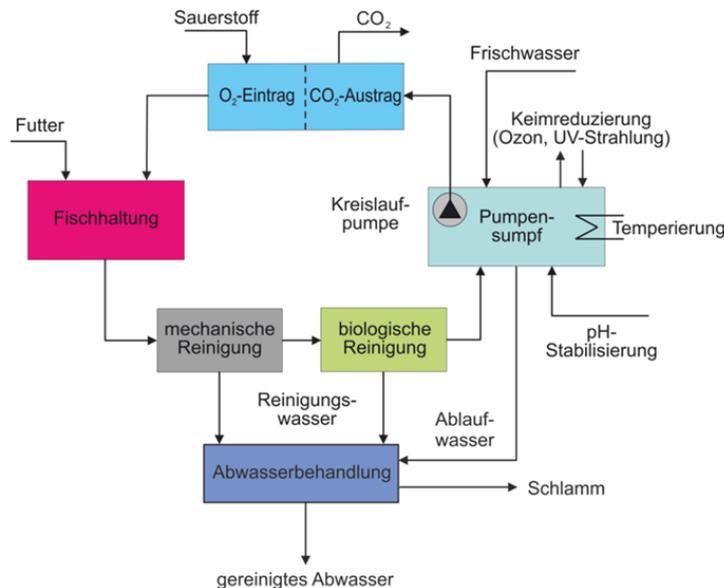


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung einer geschlossenen Kreislaufanlage (nach RÜMMLER 2020).

2.4 Zander in salinen Lebensräumen

Das weltweite Wasservorkommen setzt sich zu 97,5 % aus Brack- und Meerwasser und zu 2,5 % aus Süßwasser zusammen. Der überwiegende Anteil des Süßwassers wiederum liegt als Schnee, Eis und Grundwasser vor. Etwa 1,2 % der weltweiten Vorkommen von Süßwasser sind Oberflächengewässer (SHIKLOMANOV 1993).

Anhand der Salzkonzentration lassen sich Gewässer klassifizieren. Unter Berücksichtigung des Venediger Systems (CASPER 1959) und den Erweiterungen von REMANE (1971) gibt es insgesamt acht Lebensraumtypen, die auf Grundlage der Salinität voneinander unterschieden werden können (Tabelle 2.1). Süßwassergeprägte bzw. limnische Lebensraumtypen weisen dabei eine Salinität von weniger als 0,5 ‰ (0,5 g l⁻¹) auf. Bei einer Salinität > 18 ‰ wird das Wasser als Meerwasser und ab einer Salinität > 40 ‰ (> 40 g l⁻¹) als Salzwasser angesprochen. In dem Bereich von > 0,5 bis 18 ‰ (> 0,5 g l⁻¹ bis 18 g l⁻¹) wird der Begriff des Brackwassers verwendet. Die Gesamtkonzentration aller gelösten anorganischen Ionen bestimmt den Salzgehalt eines Gewässers (WILLIAMS u. SHERWOOD 1994). Zu den Hauptionen, die die Salzkonzentration maßgeblich beeinflussen, gehören neben Natrium (Na⁺) und Chlorid (Cl⁻) auch Sulfat (SO₄²⁻), Magnesium (Mg²⁺), Kalium (K⁺), Calcium (Ca²⁺) sowie Hydrogencarbonat (HCO₃⁻) und Carbonat (CO₃²⁻) (WILLIAMS u. SHERWOOD 1994). Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der Hauptionen von Süß-, Brack- und Meerwasser.

Während sich die relativen Ionenzusammensetzungen von Brack- und Meerwasser nur geringfügig voneinander unterscheiden, ist der maßgebliche Unterschied in der Osmolarität begründet. Sowohl in Brack- als auch in Meerwasser sind Natrium und Chlorid die dominierenden Ionen und stellen zusammen jeweils einen prozentualen Anteil von etwa 90 % dar. Das beispielhaft herangezogene Süßwasser (Berliner Trinkwasser) weicht sowohl in der Osmolarität als auch in der relativen Zusammensetzung deutlich von Brack- und Meerwasser ab. Mit etwa 35 % relativem Anteil ist Calcium das

dominierende Ion. Im Vergleich zum Brack- und Meerwasser spielen Natrium und Chlorid im Trinkwasser eine untergeordnetere Rolle und sind zusammen lediglich mit rund 3,3 mOsmol l⁻¹ bzw. knapp unter 0,1 g l⁻¹ vorhanden.

Zander kommen in unterschiedlichen, durch Brackwasser geprägten Lebensräumen vor (AHMADNEZHAD u. a. 2014, HANSSON u. a. 1997, LAPPALAINEN u. a. 2016, LEHTONEN u. a. 1996, LOŽYS 2003, 2004, TYUTYUNOV u. a. 2002). Außerdem gibt es Berichte zu Migrationsbewegungen der Tiere zwischen Süß- und Brackwasserhabitaten (AARTS u. BREUKELAAR 2017, LOŽYS 2003, 2004, SCOTT u. a. 2008).

In natürlichen Habitaten präferieren adulte Tiere Salzkonzentrationen unterhalb von 12 g l⁻¹ (ABDOLMALAKI u. PSUTY 2007, GHARIBKHANI u. a. 2014). Rückschlüsse aus Fängen deuten darauf hin, dass 9 bis 10 ‰ Salinität von adulten Tieren toleriert (LEHTONEN u. a. 1996), höhere Konzentrationen allerdings gemieden werden und es zu einem Rückgang der fischereilichen Anlandungen kommen kann (TYUTYUNOV u. a. 2002).

Im Gegensatz dazu ist die Toleranz von Zandern gegenüber kurzfristigen Erhöhungen der Salzkonzentration deutlich ausgeprägter. So können Zander bspw. einen direkten Transfer in bis zu 16 g l⁻¹ für mindestens sechs Tage tolerieren und sogar 29 bis 33 g l⁻¹, also Meerwasser, während eines nachempfundenen sechsstündigen Tidenhubes (BROWN u. a. 2001). Folglich weisen Zander ein natürliches Potenzial auf sich in salinen Habitaten zu behaupten.

Obwohl sich der Einsatz von geringen Salzkonzentrationen als „Gute fachliche Praxis“ in der Zander-aquakultur interpretieren lässt (vgl. POLICAR u. a. 2019), liegen, wie bereits von DALSGAARD u. a. im Jahr 2013 angemerkt, derzeit keine Untersuchungsergebnisse zur Aufzucht von Zandern unter Brackwasserbedingungen vor. Daher empfiehlt sich die Entwicklung eines passenden NaCl-Protokolls, das eine sichere Aufzucht und Haltung gewährleistet und dabei die Gesundheit der Tiere nicht negativ beeinflusst.

Tabelle 2.1: Klassifikation von Gewässern anhand des Venediger Brackwassersystems nach CASPERS (1959) mit Ergänzungen von REMANE (1971) übernommen von HERBST (2013).

	Lebensräumtyp	Salinität in ‰
Salzwasser	hyperhalin	> 40
Meerwasser	euhalin	40 – 30
Meerwasser	polyhalin	30 – 18
brackig-marin	mesohalin	18 – 3
brackig-marin	pliohalin	18 – 8 REMANE (1971)
brackig	miohalin	8 – 3 REMANE (1971)
brackig-limnisch	oligohalin	3 – 0,5
Süßwasser	limnisch	< 0,5

Tabelle 2.2: Zusammensetzung der Hauptionen von Süß-, Brack- und Meerwasser (in mOsmol l⁻¹ und %). Referenzen: * Trinkwasser (BERLINER WASSERBETRIEBE (2020)), ** Oberflächenwasser der Ostsee (LAHDES u. KARJALA 2007), *** HERBST (2013).

	Süßwasser *		Brackwasser **		Meerwasser ***	
	mOsmol l ⁻¹	%	mOsmol l ⁻¹	%	mOsmol l ⁻¹	%
Natrium	1,7	21,5	78,3	43,2	465,4	41,9
Kalium	0,1	1,6	1,7	0,9	10,2	0,9
Calcium	2,7	35,1	2,4	1,3	10,0	0,9
Magnesium	0,4	5,7	9,9	9,9	53,5	4,8
Chlorid	1,6	20,2	84,6	46,7	544,4	49,0
Sulfat	1,2	15,9	4,3	2,4	28,1	2,4

2.5 Die Osmoregulation von Süßwasserfischen

Fische sind in der Lage, Lebensräume mit sehr unterschiedlichen Salzkonzentrationen und -zusammensetzungen zu besiedeln. Während die Osmolalität, also die Summe aller osmotisch wirksamen Teilchen, von Süßwasser in der Regel nur wenige Milliosmol beträgt und in Extremfällen sogar geringer als 0,1 mOsmol kg⁻¹ sein kann, ist die Osmolalität von Meerwasser mit rund 1 000 mOsmol kg⁻¹ um ein Vielfaches höher (EDWARDS u. MARSHALL 2013). Einige spezialisierte Fischarten werden zudem auch in hypersalinen Lebensräumen mit Osmolalitäten von bis zu 2 400 mOsmol kg⁻¹ beobachtet (BRAUNER u. a. 2013).

Anhand ihrer Fähigkeit, sich auf verschiedene Salzkonzentrationen im Wasser einstellen zu können, werden Fische entweder in euryhaline (Fähigkeit, in einem weiten Konzentrationsbereich zu überleben)

oder stenohaline Arten (Fähigkeit, nur in einem engen Konzentrationsbereich zu überleben) unterteilt. Für euryhaline Süßwasserfische ist dieser Bereich von 0 bis 20 g l⁻¹ und für stenohaline Süßwasserfische von 0 bis etwa 9 g l⁻¹ definiert (MCCORMICK u. a. 2013). 95 bis 97 % aller Süßwasserfischarten sind als stenohaline Arten klassifiziert (MCCORMICK u. a. 2013).

Damit physiologische Prozesse im Körper störungsfrei ablaufen können, ist es für Fische von besonderer Bedeutung, ihren Ionen- und Wasserhaushalt unabhängig von der sie umgebenden Umwelt kontinuierlich aufrecht zu halten. Die fortdauernde Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes der Körperflüssigkeiten gegenüber einem äußeren Gradienten wird durch einen Prozess mit dem Namen Osmoregulation realisiert (TAKEI u. MCCORMICK 2013).

Evolutionär haben Fische verschiedene Strategien zur Aufrechterhaltung ihres Ionen- und Wasserhaushaltes entwickelt. Zum einen gibt es Osmokonformer, wie bspw. Schleimaale (Myxinidae), die die Osmolalität ihrer Körperflüssigkeiten an das sie umgebende Wasser anpassen. Zum anderen gibt es Osmoregulierer, also jene Fische, die die Osmolalität der Körperflüssigkeiten entweder unterhalb (Hypo-Osmoregulation im Meerwasser) oder oberhalb (Hyper-Osmoregulation im Süßwasser) des sie umgebenden Mediums halten (MARSHALL u. GROSELL 2006). Zur Gruppe der Hyper-Osmoregulierer zählen Knochenfische (Teleostei), wie z. B. der europäische Zander.

Unabhängig von der Salzkonzentration im Wasser stellen im Süßwasser lebende Fische die Osmolalität ihres Plasmas zwischen 250 – 320 mOsmol kg⁻¹ ein (EDWARDS u. MARSHALL 2013), was etwa einem Drittel der Osmolalität von Meerwasser bzw. einer Salzkonzentration von etwa 9 g l⁻¹ entspricht (KÜLTZ 2015) und somit den isoosmotischen Punkt eines Süßwasserfisches darstellt. Bei einem im Süßwasser lebenden Fisch hat die Körperflüssigkeit folglich einen höheren osmotischen Druck als die aquatische Umwelt.

Dem osmotischen Gradienten zwischen Fisch und Umwelt folgend, kommt es an den permeablen Oberflächen des im Süßwasser lebenden Fisches zu einer osmotischen Wasseraufnahme sowie diffusen Ionenverlusten. Unter Meerwasserbedingungen findet hingegen ein umgekehrter Prozess statt. Es kommt zu einem osmotischen Wasserverlust und einer diffusen Ionenaufnahme (EVANS 2008). Der Wechsel zwischen Hyper- und Hypo-Osmoregulation vollzieht sich für einen Süßwasserfisch ab einer Salzkonzentration von etwa 10 g l⁻¹ (CRAIG 2000).

An der Osmoregulation sind bei Süßwasserfischen die Haut, die Niere, die Harnblase, der Magen-Darmtrakt und die Kiemen beteiligt (MARSHALL u. GROSELL 2006). Der Ausgleich des Ionen- und Wasserhaushaltes von Süßwasserfischen findet sowohl über die Abgabe großer Volumina verdünnten Urins als auch über die aktive Aufnahme von Ionen über Kiemen und Nahrung statt. Unter Meerwasserbedingungen gibt ein Fisch hingegen geringe Volu-

mina hochkonzentrierten Urins ab, es werden Ionen an den Kiemen exkretiert und Wasser oral aufgenommen (GREENWELL u. a. 2003, EDWARDS u. MARSHALL 2013). Anhand der gegensätzlichen osmoregulatorischen Mechanismen in Süß- und Meerwasser wird deutlich, wie unterschiedlich sich die Regulierung des Ionen- und Wasserhaushaltes von Fischen in Abhängigkeit der Umweltbedingungen gestaltet.

Mit dem Blick auf Umweltveränderungen, wie z. B. osmotischen Veränderungen, stellt das endokrine System die primäre Verbindung zu entsprechenden physiologischen Reaktionen dar (MCCORMICK 2001). Die Steuerung der Osmoregulation erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Hormone. Hierzu zählen u. a. Hypophysen- (Adrenocorticotropin, Prolactin, Wachstumshormon) aber auch Schilddrüsenhormone und Cortisol (BOEUF u. PAYAN 2001, VARSAMOS u. a. 2005). Cortisol ist, neben seiner Funktion als Stresshormon (SADOUL u. GEFFROY 2019), bei der Adaptation von Fischen an saline Umwelten beteiligt (MCCORMICK 2001, MOMMSEN u. a. 1999). Werden bspw. Tilapienlarven (*Oreochromis mossambicus*) von Süß- in Brackwasser (20 ‰) überführt, wird ein Anstieg der Cortisolkonzentrationen beobachtet (HWANG u. WU 1993), der eine osmotische Herausforderung andeutet. Ferner steigert Cortisol die Toleranz von Fischen gegenüber salinen Lebensräumen (MOMMSEN u. a. 1999).

Die Ontogenese von Fischen hat ebenso einen Einfluss auf deren osmoregulatorische Fähigkeiten (VARSAMOS u. a. 2005). Studienergebnisse legen nahe, dass sich die Toleranz von Fischen gegenüber salinen Haltungsumwelten im Laufe der Entwicklung verändert (ALLEN u. a. 2011, VARSAMOS u. a. 2001). Sehr wahrscheinlich sind dafür grundlegende morphologische und physiologische Veränderungen verantwortlich, die während der Entwicklung vom Embryo im Ei bis zum adulten Organismus stattfinden. Bei der Erarbeitung und Optimierung eines NaCl-Protokolls für die Zanderaufzucht in KLA erscheint es daher geboten, die verschiedenen Lebensstadien (Embryo, Larve, Jungfisch, Setzling) zu berücksichtigen.

2.6 Wachstum und Futtermittelverwertung von Süßwasserfischen unter dem Einfluss von Salz

Das Wachstum umfasst grundlegende physiologische Prozesse im Leben eines Fisches. Wachstum ist definiert als eine allmähliche, quantitative Zunahme eines lebenden Organismus im Laufe der Zeit (VON BERTALANFFY 1934). Der Wachstumsprozess kann temporär oder kontinuierlich und dabei sowohl positiv (Zunahme) aber auch negativ (Abnahme) sein (BUSACKER u. a. 1990). In der Aquakultur wird das Wachstum von Fischen von einer Vielzahl von biotischen und abiotischen Parametern beeinflusst, wozu u. a. das Alter, das Geschlecht, die Genetik, die Futterverfügbarkeit, das Temperaturregime, die Sauerstoffverfügbarkeit, die Wasserchemie, aber auch die Salzkonzentration gezählt werden (STEFFENS 1989). Die Osmoregulation ist für den Fisch ein energieintensiver Prozess, der einen nicht unerheblichen Anteil der zur Verfügung stehenden Energie benötigt (BOEUF u. PAYAN 2001, TSENG u. HWANG 2008). Der gängigen Theorie folgend, benötigen Süßwasserfische, die unter salinen Bedingungen um den isoosmotischen Punkt (9 g l^{-1} bzw. $300 \text{ mOsmol l}^{-1}$, KÜLTZ 2015) aufgezogen werden, weniger Energie zur Aufrechterhaltung des Wasser- und Ionenhaushaltes. Folglich steht dann die bei der Osmoregulation eingesparte Energie für somatisches Wachstum zur Verfügung (BOEUF u. PAYAN 2001, MORGAN u. IWAMA 1991). Im Hinblick auf den in der Aquakultur entscheidenden Parameter Wachstum sowie ferner die Entwicklung der Fische wurden in Feldstudien an der Litauischen Ostseeküste für Zander, die in Gewässern mit Salzkonzentrationen zwischen $4,9 - 6,8 \text{ g l}^{-1}$ lebten, höhere Körperlängen, Konditionsfaktoren und intramuskuläre Fettgehalte festgestellt als bei Artgenossen, die bei Konzentrationen bis $1,6 \text{ g l}^{-1}$ vorgefunden wurden (LOŽYS 2004). Dies deutet auf positive Effekte durch höhere Salzkonzentrationen hin, die auch bei der Aufzucht von Zandern in KLA von Interesse sein könnten.

Dass Süßwasserfische bei leicht erhöhten Salinitäten bessere Wachstumsleistungen erzielen können, ist auch für andere Fischarten nachgewiesen worden. Für den mit dem Zander artverwandten Fluss-

barsch (*Perca fluviatilis*) ist ein besseres Wachstum bei einer Salzkonzentration von 5 g l^{-1} gegenüber 2 g l^{-1} sowie Süßwasser festgestellt worden (LOŽYS 2004). Aber auch bei anderen Fischen zeigt sich eine positive Wirkung unter dem Einfluss leicht erhöhter Salinitäten. Untersuchungen zu Wachstumsraten, sowie Futter- und Energieverwertungen von Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), Felsenbarsche (*Morone saxatilis*) und einer Störart (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) weisen auf die positiven Effekte einer Aufzucht unter Brackwasserbedingungen hin ($3 - 9 \text{ ‰}$) (ALTINOK u. GRIZZLE 2001).

Im Gegensatz dazu wird jedoch für einige Fische bei zunehmender Salzkonzentration in der Haltungsumwelt auch von einem abnehmenden Wachstum berichtet (LUZ u. a. 2008, MATTIOLI u. a. 2017, NGUYEN u. a. 2014, WANG u. a. 1997). Folglich reagieren Süßwasserfische, die mit Brackwasser exponiert werden, nicht pauschal mit einem gesteigerten Wachstum oder einer verbesserten Futtermittelverwertung. Für den Zander liegen dazu bisher keine vertiefenden Erkenntnisse vor (DALSGAARD u. a. 2013). Auf welchen Mechanismen die erhöhten Wachstumsleistungen in salinen Haltungsumwelten letztendlich beruhen, ist nach Untersuchungsansatz und Fischart ebenso verschieden oder noch ungesichert und wird divers diskutiert. Nach BOEUF u. PAYAN (2001) kommt dabei den vier Punkten Grundumsatz, Futteraufnahme, Futtermittelverwertung und hormonelle Steuerung/Stimulation (bspw. durch Cortisol) eine wichtige Bedeutung zu. Diese Faktoren oder auch Kombinationen aus mehreren haben sich bei unterschiedlichen Fischarten in Studien als ausschlaggebend für ein besseres Wachstum unter höheren Salzkonzentrationen herausgestellt. Legt man zudem einige der von HUNTINGFORD u. a. (2006) gelisteten Anzeichen für Tierwohl zugrunde, können die aus einer leicht erhöhten Salzkonzentration resultierende höhere Futteraufnahme, das gesteigerte Wachstum und eine erhöhte Kondition bereits Anzeichen für eine Verbesserung des Tierwohls sein.

2.7 Physiologische und morphologische Reaktionen von Fischen auf Salz

Das Handling und der Transport (BARTON u. a. 2003, BARTON u. ZITZOW 1995, FALAHATKAR u. a. 2012, FORSBERG u. a. 2001), aber auch plötzliche osmotische Herausforderungen (BROWN u. a. 2001) können Stressreaktionen bei barschartigen Fischen hervorrufen. Als eine primäre Reaktion auf einen Stressor erfolgt eine umgehende Freisetzung von Stresshormonen wie Katecholaminen und Cortisol (IWAMA 1998). Cortisol eignet sich zur Einschätzung des Stresslevels von Fischen (SADOUL u. GEFFROY 2019). Nach ihrer Ausschüttung können Stresshormone zu einer Reihe von metabolischen, hämatologischen, hydromineralen sowie strukturellen Veränderungen führen (BARTON u. IWAMA 1991). Insbesondere ein Anstieg der Glukosekonzentration im Blutplasma kann als eine eindeutige sekundäre Stressreaktion angesehen werden (IWAMA 1998). Wenn es einem Fisch trotz der physiologischen Reaktionen nicht gelingt, sich erfolgreich an einen Stressor bzw. die neue Situation zu adaptieren, so kann es zu Veränderungen auf der Ebene des gesamten Organismus kommen. Dies ist die so genannte tertiäre Stressreaktion, bei der u. a. das Körperwachstum beeinflusst ist (BARTON u. IWAMA 1991, IWAMA 1998).

Die Applikation von Salzen im Anschluss an einen Stressor kann dessen Auswirkungen abmildern. Werden Amerikanische Zander (*Sander vitreus*) im Anschluss an einen standardisierten Stressor in Wasser mit 5 g NaCl l⁻¹ gehältert, so kommt es zu

einem schnelleren Rückgang der Cortisolkonzentrationen als bei sich im Süßwasser erholenden Artgenossen (BARTON u. ZITZOW 1995). Demzufolge können leicht erhöhte Salzkonzentrationen positive Effekte auf Stresslevel und Wohlbefinden von Perciden haben. Ob dies auch bei einer kontinuierlichen und damit längerfristigen Anwendung von NaCl für Zander gilt, ist derzeit nicht bekannt.

Es können jedoch noch weitere hämatologische Parameter zur Evaluierung physiologischer Effekte durch die Exposition mit Salz herangezogen werden. Bei vom Süß- ins Brackwasser überführten Fischen werden bei nicht optimalen osmotischen Verhältnissen Abweichungen des Hämatokritwertes beobachtet (DIOUF u. a. 2000, DE BOECK u. a. 2000). Ebenso können die Konzentrationen von gelösten Plasmametaboliten (z. B. Glukose, Protein, Laktat, Triglyceride) aufgrund von Stress und/oder einem erhöhten Energiebedarf bei osmotischen Herausforderungen verändert sein (BARTON u. IWAMA 1991, SOENGAS u. a. 2007).

Durch eine Veränderung der Salzkonzentrationen der Haltungsumwelt kann zudem der Ionen- und Wasserhaushalt von Fischen beeinflusst werden. Sichtbar wird dies u. a. durch Veränderungen des Wassergehaltes, aber insbesondere auch der Osmolalität des Blutplasmas (BROWN u. a. 2001) sowie der Konzentration von im Blut gelösten Ionen (MATTIOLI u. a. 2017).

2.8 Salz als Bestandteil der Anlagenhygiene von geschlossenen Kreislaufanlagen

Neben den beschriebenen Auswirkungen auf das Wachstum und die Physiologie stellt Natriumchlorid mit einer positiven Wirkung auf die Anlagenhygiene sowie bestimmte Wasserparameter zusätzlich einen interessanten Aspekt im Zusammenhang mit der Wasserqualität und Tiergesundheit in KLA dar. Die Leistung der in KLA eingesetzten Biofilter basiert auf dem Energiestoffwechsel verschiedener Bakterienstämme (*Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp., u. a.). Je nach Abundanz einzelner Stämme werden dabei unterschiedliche Anteile verschie-

der Stickstoffverbindungen vermehrt in das Wasser abgegeben bzw. entfernt. Für die betreffenden Stickstoffverbindungen ist bekannt, dass sich das Ionengleichgewicht von Ammonium (NH₄⁺) und Ammoniak (NH₃) bei erhöhten Salinitäten zugunsten des nicht fischtoxischen NH₄⁺ verschiebt (SOUSA u. a. 1974). Zusätzlich ist durch eine erhöhte Verfügbarkeit von Chloridionen eine deutlich höhere Nitritkonzentration (NO₂⁻) im Anlagenwasser tolerierbar (WUERTZ u. a. 2013). Damit stellt der Einsatz von NaCl eine einfache Möglichkeit dar, phasen-

weise auftretende Leistungsschwankungen des Biofilters abzufedern bzw. auszugleichen und daraus resultierende negative Effekte auf die Tiere zu verringern oder gänzlich zu vermeiden.

Obwohl es sich bei KLA um „geschlossene Systeme“ handelt, die im Gegensatz zu anderen Haltungsformen der Aquakultur einem geringen Risiko von Pathogen- und Parasitenbefall ausgesetzt sind, kann über kontaminiertes Besatzmaterial oder auch Zulaufwasser eine Einschleppung von Erregern erfolgen.

Aufgrund der Begleitumstände einer intensiven Fischhaltung in KLA und den damit einhergehenden Verhaltensweisen von Fischen stellen Parasiten neben Wasserqualität, Haltungsichte und Fütterungsregime einen wichtigen Punkt im Komplex „Tierwohl in der Aquakultur“ dar (BARBER 2007). Ein Parasitenbefall kann sich je nach Ort des Befalls auf die sensorischen Fähigkeiten auswirken, eine gestörte Schwimmfähigkeit, -leistung und/oder eine generelle Erhöhung des Energiebedarfs nach sich ziehen. Als Resultat der Beeinträchtigung oder als direkte Reaktion auf den Parasitenbefall können

Futteraufnahme und Konkurrenzstärke gegenüber anderen Individuen deutlich eingeschränkt sein. Darüber hinaus stellen Verletzungen der Schleimhaut, Haut, Kiemen oder Flossen durch Parasiten Eintrittspforten für Sekundärinfektionen durch andere Pathogene dar (AMLACHER 1986, BARBER 2007, HOFFMANN 2005, SCHÄPERCLAUS 1990).

Die Abundanz von Parasiten kann durch die präventive Wirkung von Kochsalz (NaCl) verringert oder ganz vermieden werden. Untersuchungen an Parasiten, die auch in der Zanderaquakultur auftreten können, zeigten ebenfalls, dass bereits moderat erhöhte Salzkonzentrationen gegen *Ichthyophthirius multifiliis*, *Gyrodactylus* sp., *Trichodina* sp. und *Ichtyobodo necator* wirken können (AIHUA u. BUCHMANN 2001, NÉMETH u. a. 2013, SCHÄPERCLAUS 1990, SMITH u. SCHWARZ 2019, SOLENG u. BAKKE 1997). Der Einsatz von Medikamenten und Desinfektionsmitteln gegen Ektoparasiten in der Zanderaufzucht könnten durch die kontinuierliche Anwendung von NaCl in der Haltungsumwelt zukünftig also reduziert oder sogar obsolet werden.

2.9 Effekte von Salz auf Schlachtparameter und Produktqualität

Neben einer effizienteren Ressourcennutzung und einer Erhöhung des Tierwohls kann eine Aufzucht von Fischen in NaCl-haltigem Wasser auch die Qualität des Endproduktes beeinflussen. Bei der Exposition von Süßwasserfischen mit Salzen werden z. B. Veränderungen des Körperwasseranteils (ARUNACHALAM u. REDDY 1979) und auch Energiegehaltes (MATTIOLI u. a. 2017) festgestellt. Ebenso bilden einige in Fischhaltungssystemen vorkommende Streptomyces- und Cyanobakterienarten Geosmin und Methylisoborneol. Diese sind, wenn sie sich im Fischfilet anreichern, für einen erdig-muffigen Geruch und Geschmack verantwortlich (TUCKER 2000). Aufgenommen werden diese Fehlgerüche über die permeablen Oberflächen Kieme, Haut und Darm (HOWGATE 2004). Fehlgerüche im Endprodukt können zum einen die Ernte und damit den Verkauf verzögern, zum anderen und im schlimmsten Fall die Fische in Gänze unverkäuflich

werden lassen (RURANGWA u. VERDEGEM 2015). Bisher wird am Ende der Aufzucht zur Elimination des „Off-flavours“ daher eine Hälterungsphase in Frischwasser angeschlossen. Studien haben jedoch gezeigt, dass bei Fischen und Garnelen, die in Wasser mit erhöhten Salzkonzentrationen aufgezogen wurden, auch im direkten Vergleich mit im Süßwasser produzierten Individuen kein „Off-flavour“ festgestellt werden konnte (FARMER u. a. 1995, LOVELL u. BROCE 1985, YAMPRAYOON u. NOOMHORM 2000). Dies scheint auf einer je nach Höhe der Salzkonzentration stark verringerten bzw. eingestellten Geosminproduktion zu beruhen (REZANKA u. VOTRUBA 1998). Unter Umständen ermöglicht die NaCl-Zugabe während der Aufzucht eine Abgabe von Speisemandern mit deutlich reduzierter bzw. unnötig gewordener Hälterung in Frischwasser und resultiert damit in einer Einsparung von wertvollen Ressourcen.

3. Versuchsdurchführungen

3.1 Die Wirkung von NaCl auf Zandereier

Das Leben eines Zanders beginnt mit der Befruchtung des Eies und der Entwicklung eines Embryos. Die Embryonalentwicklung der Zander ist temperatur- und sauerstoffabhängig. Bis zum Schlupf werden etwa 90 bis 110 d° benötigt (SCHLUMBERGER u.

PROTEAU 1996). Im Rahmen dieses Versuches wurde die Entwicklung von Zanderembryonen bei der Zugabe von NaCl (0, 3, 6, 9 und 12 g l⁻¹) untersucht.

3.1.1 Materialien und Methoden

Im April 2019 wurden am Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow (IfB) Elterntiere aus einem Netzgehege des Sacrower Sees in eine kleinskalige KLA überführt (15 °C Wassertemperatur, pH-Wert 8,2). Hier konnten die Elterntiere zunächst auf speziellen Bürstenmatten ablaichen. Für den Fischetest in Anlehnung an DIN EN ISO 15088 (2009) wurden die befruchteten Eier eines Laichpaares verwendet.

Etwa 36 Stunden nach dem Laichzeitpunkt erfolgte die Vereinzelnung der befruchteten Eier mit Hilfe von Tonmineralen (Abbildung 3.1). Anschließend wurden die Eier in Gruppen zu je 50 Stück in Petrischalen der entsprechenden NaCl-Konzentration (Zugabe: 0, 3, 6, 9, 12 g l⁻¹) sowie einer Positivkontrolle (3,7 mg l⁻¹ 3,4-Dichloranilin) überführt. Dieser Zeitpunkt entspricht dem Versuchsstart. Die NaCl-Konzentration wurde mittels eines jodfreien Siedespeisesalzes (ESCO, Trennmittel: E500, E535) mit einem Natriumchloridgehalt von 99,8 % hergestellt, welches in standardisiertem Verdünnungswasser (DIN EN ISO 15088 (2009)) gelöst wurde (pH 7,7; > 80 % Sauerstoffsättigung am Start der Inkubation).

Im Anschluss wurden die Eier unter einem Mikroskop (LEICA MZ125) begutachtet und einzeln in die Wells von 24-Well-Platten (ThGeyer) überführt. Alle Eier befanden sich in der Entwicklungsstufe

„Segmentation“ (vgl. GÜRALP u. a. 2017). Für jede NaCl-Konzentration sowie die Positivkontrolle wurden 30 Eier in zwei 24-Well-Platten inkubiert. Je Well wurden 2 ml entsprechende Arbeitslösung zur Inkubation verwendet. Die Inkubation erfolgte in einem Thermoschrank (Liebherr SN-T) bei 15 ± 1 °C in Dunkelheit. Die 24-Well-Platten waren mit durchsichtiger Folie abgeklebt. Während der Inkubation fanden keine Wasserwechsel statt. Im Abstand von 24 Stunden wurde die Entwicklung der Eier untersucht und dokumentiert (Inversmikroskop: LEITZ DMIL, Kamera: LEICA 170 HD). Die Bewertungskriterien der Embryonalentwicklung fanden in Anlehnung an DIN EN ISO 15088 (2009) statt. Zum einen wurden die drei Letalfaktoren Koagulation, Ablösung des Schwanzes vom Dotter und Vorhandensein eines Herzschlages überprüft. Zum anderen wurden sekundäre Letalfaktoren wie sich bildende Ödeme, Deformationen und Zittern aufgenommen. Bei der Endauswertung wurden primäre und sekundäre Letalfaktoren zusammen betrachtet. Zusätzlich wurden auftretende Pilzhyphen auf den Eihüllen dokumentiert. Die allgemeinen Gültigkeitskriterien des DIN EN ISO 15088 (2009) wurden für diesen Test herangezogen. Mit dem Schlupf der ersten Larve wurde der Versuch terminiert.

Statistische Auswertung: Die Auswertung der Ergebnisse dieses Versuches erfolgte deskriptiv.

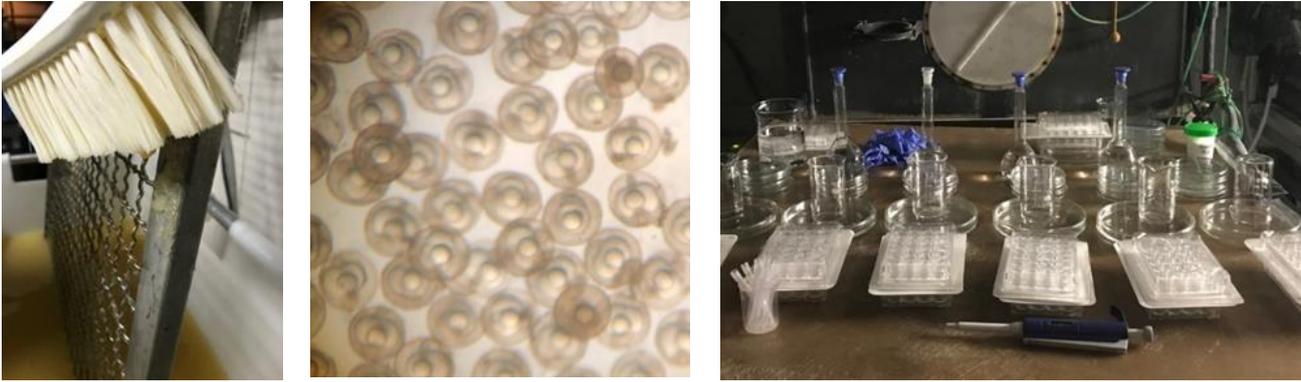


Abbildung 3.1: Zanderlaich auf einem Gitterrost, Zandereier 36 Stunden nach der Befruchtung, Arbeitsmaterialien für den Fischeitest (v.l.n.r.).

3.1.2 Ergebnisse

Der Fischeitest wurde für die Dauer von 96 Stunden (~ 60 Tagesgrade) durchgeführt. Die Gültigkeitskriterien des standardisierten Fischeitests wurden, mit Ausnahme des pH-Wertes des Verdünnungswassers, erfüllt. Da die KLA der Elterntiere mit einem pH-Wert von 8,2 gefahren wurde, wurde das Verdünnungswasser bei einem mittleren pH-Wert von 7,7 belassen.

Die Entwicklung der Embryonen in der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹; links) und in 12 g NaCl l⁻¹ (rechts) ist beispielhaft in Abbildung 3.2 dargestellt. Während die Embryonen in der Kontrolle (sowie in den Expositionsgruppen mit 3 und 6 g NaCl l⁻¹) das Ei vollständig ausfüllten, war dies in der Gruppe mit 12 g NaCl l⁻¹ (und auch 9 g NaCl l⁻¹) nicht der Fall. Vielmehr wirkten die Embryonen in ihrem Erscheinen kleiner und gedrungener. Die dokumentierten Beobachtungen der embryonalen Entwicklung (lebend vs. tot) sowie der prozentuale Anteil von mit Pilzhyphen

befallenen Eier sind für den Zeitpunkt der Versuchsauflösung in Abbildung 3.3 dargestellt.

Die Embryonen in der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹) sowie 3 und 6 g l⁻¹ wiesen keine Abnormalitäten auf, sondern typische Vitalzeichen und jeweils eine Überlebensrate von 100 %. Die Embryonen in der Expositionsgruppe mit 9 g NaCl l⁻¹ hatten hingegen eine um mehr als die Hälfte reduzierte Überlebensrate (46,7 %). Bei einer Konzentration von 12 g NaCl l⁻¹ betrug die Überlebensrate 0 %. Bei den NaCl-Konzentrationen 9 und 12 g l⁻¹ wurde während der täglichen Kontrolle bei einer Vielzahl der Embryonen ein unkontrolliertes Zittern beobachtet. Während mit zunehmender NaCl-Konzentration die Überlebensraten der Embryonen abnahmen, wurde für den prozentualen Anteil von mit Pilzhyphen befallenen Eiern ein gegenläufiger Trend festgestellt. Mit zunehmender NaCl-Konzentration nahm der prozentuale Anteil verpilzter Eier ab (0 g l⁻¹: 63,3 %; 3 g l⁻¹: 40 %; 6 g l⁻¹: 16,7 %; 9 g l⁻¹: 3,3 %; 12 g l⁻¹: 0 %).



Abbildung 3.2: Zanderembryonen am Tag der Versuchsauflösung: Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹, links) und Expositionsgruppe mit 12 g NaCl l⁻¹ (rechts).

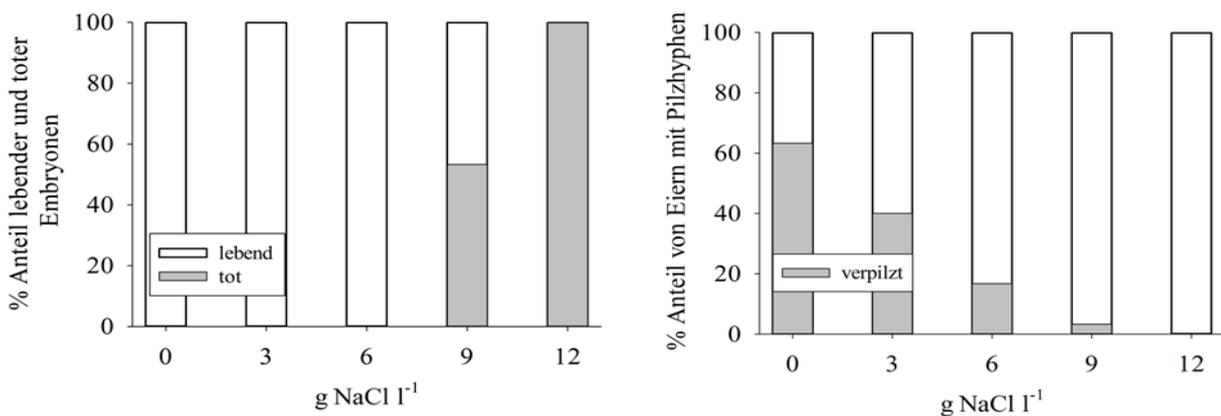


Abbildung 3.3: Der prozentuale Anteil lebender und toter Embryonen (links) sowie der prozentuale Anteil von mit Pilzhypfen bewachsener Eier am letzten Tag des Experimentes (rechts) in Abhängigkeit der NaCl-Zugabe. Für jede Konzentration gilt n = 30.

3.1.3 Diskussion

Anhand der Ergebnisse des Fischeitests lässt sich ableiten, dass im Konzentrationsbereich von 0 bis 6 g NaCl l⁻¹ eine Inkubation von Zandereiern möglich ist, ohne dass Mortalitäten der Embryonen zu erwarten sind. NaCl-Konzentrationen ≥ 9 g l⁻¹ wurden von den Zandereiern hingegen nicht toleriert. Ab dieser Konzentration stieg die Sterblichkeit der Embryonen auf 47 % an. Eine 100%ige Mortalität der Zanderembryonen trat bei 12 g l⁻¹ ein. Vergleichbare Ergebnisse sind auch bei Fischeitests mit Zebraabärblingen (*Danio rerio*) gewonnen worden (HENN 2011). Der Anstieg der Mortalität von

Embryonen bei zunehmenden Salzkonzentrationen ist zudem auch für einen anderen Perciden beschrieben worden. Für zwei Populationen des Amerikanischen Flussbarsches (*Perca flavescens*) wurden in Inkubationsversuchen mit Laich bei Salzkonzentrationen von 0, 7, 9 und 12 ‰, Mortalitäten von 4, 16, 28 und 100 % festgestellt (VICTORIA u. a. 1992). Fischartenunabhängig ist damit ein ähnlicher Trend zu erkennen, erhöhte Salzkonzentrationen wirken sich negativ auf die Embryonalentwicklung aus. Generell weist ein Fischembryo eine sehr geringe Permeabilität gegenüber Wasser und Ionen

auf (MANGOR-JENSEN 1987), da dieser durch die Eizellmembran und das Ektoderm geschützt ist (RIIS-VESTERGAARD 1987). Das Fischei hingegen ist von einer porösen, nichtzellulären Hülle umgeben. Diese ist für niedermolekulare Stoffe permeabel, nimmt jedoch nicht aktiv an der Osmoregulation teil, weshalb die perivitelline Flüssigkeit des Eies und die aquatische Umwelt isoosmotisch zueinander sind (KLINKHARDT u. WINKLER 1989). Veränderungen des osmotischen Gradienten nach einer NaCl-Exposition haben demnach physiologische Konsequenzen für den sich entwickelnden Embryo. In Versuchen mit Augenpunkteiern des Ketalachs (*Oncorhynchus keta*) wurde festgestellt, dass sich innerhalb weniger Stunden nach einem Transfer von Süß- in Brack- bzw. Meerwasser die Osmolalität der perivitellinen Flüssigkeit an die der neuen Umwelt angleicht (KANEKO u. a. 1995). Während die Eimasse nach einem Transfer unverändert blieb, nahmen der prozentuale Anteil der perivitellinen Flüssigkeit zu und komplementär dazu der Masseanteil des Embryos ab. Auf Grundlage der Ergebnisse machen KANEKO u. a. (1995) für die Abnahme der

Embryonalmasse Dehydrationsprozesse verantwortlich, die auf den osmotischen Gradienten zwischen Körperflüssigkeit des Embryos und perivitelliner Flüssigkeit zurückgeführt werden können. Diese Beobachtung erklärt sehr wahrscheinlich auch das veränderte Erscheinen der Zanderembryonen in 9 und 12 g NaCl l⁻¹ sowie deren erhöhte Mortalität gegenüber der Kontrollgruppe am Ende der viertägigen Inkubation.

Während der Laboruntersuchungen wurde beobachtet, dass eine NaCl-Exposition zu einem Rückgang der mit Pilzhyphen befallenen Zanderereier führte. Ohne dass Veränderungen der embryonalen Entwicklung zu erwarten sind, können NaCl-Konzentrationen von bis zu 6 g l⁻¹ wirkungsvoll als Fungizid eingesetzt werden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe erfolgte eine Reduzierung der Pilzhyphen-Prävalenz von 63 % auf 17 % der Eier. Bei Verpilzungserscheinungen kann damit auf die Verwendung herkömmlicher Desinfektionsmittel wie z. B. Formaldehyd oder Peroxidverbindungen (LAHNSTEINER u. KLETZL 2016, RACH u. a. 1998), bei NaCl-Applikation (3 – 6 g l⁻¹) potenziell verzichtet werden.

3.1.4 Fazit

Während der embryonalen Entwicklung im Ei werden spätestens 36 Stunden nach der Befruchtung bis zu 6 g NaCl l⁻¹ bei einer Wassertemperatur von 15 °C problemlos toleriert. Bei höheren NaCl-Konzentrationen steigt die Mortalität der Embryonen hingegen sprunghaft an und erreicht bei 12 g NaCl l⁻¹ ein Niveau von 100 %. Sehr wahrscheinlich sind dafür Dehydrationsprozesse der Embryonen

verantwortlich (KANEKO u. a. 1995). Als positiver Nebeneffekt wurde mit steigender NaCl-Konzentration eine Abnahme der mit Pilzhyphen befallenen Eier beobachtet. Sollten trotz der kurzen Entwicklungszeit Probleme mit Pilzbefall bestehen, kann auf Grundlage der Ergebnisse die Aufsatzung der Haltungsumwelt mit bis zu 6 g NaCl l⁻¹ zur Anwendung kommen.

3.2 Die Aufzucht von schwimm- und fressfähigen Zanderlarven unter Zugabe von NaCl

Nach dem Schlupf von Zanderlarven aus dem Ei zehren diese zunächst für etwa 100 bis 110 d° von ihrem Dottersack und mit einer Körperlänge von etwa 5 mm beginnen die dann freischwimmenden Larven mit der Aufnahme von exogener Nahrung

(SCHLUMBERGER u. PROTEAU 1996). In einem 10-tägigen Versuch wurde die Aufzucht von schwimm- und fressfähigen Zanderlarven unter der Zugabe von vier NaCl-Konzentrationen (0, 3, 6 und 9 g l⁻¹) untersucht.

3.2.1 Materialien und Methoden

Die Zanderlarven für diesen Versuch wurden von Herrn M. Stüeken (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern – Institut für Fischerei) zur Verfügung gestellt. Die für den Versuch herangezogenen Larven schlüpften in einem Zeitraum von 24 Stunden. Nach der Überführung wurden die Larven für sieben Tage in einer KLA (15 °C, pH-Wert 7,5) am IfB gehalten. Zum Zeitpunkt des Versuchsstartes wiesen die Larven eine durchschnittliche Stückmasse und Körperlänge von $0,8 \pm 0,3$ mg bzw. $6,1 \pm 0,6$ mm auf (MW \pm SD, n = 40). Als experimentelle Haltungseinrichtungen wurden Glasaquarien (30 x 45 x 50 cm) verwendet, die mit 30 l Wasser der KLA befüllt wurden (Abbildung 3.4). Der Versuchsaufbau schloss insgesamt vier NaCl-Konzentrationen in vier unabhängigen Wiederholungen ein. Die Konzentration (Zugabe: 0, 3, 6, 9 NaCl g l⁻¹) wurde mittels eines jodfreien Siede-Speisesalzes (ESCO, Trennmittel: E500, E535) mit einem Natriumchloridgehalt von 99,8 % eingestellt. Eine stufenweise Gewöhnung der Larven an die jeweilige Konzentration fand nicht statt. Die Wassertemperatur wurde über die Umgebungstemperatur konstant gehalten. Mit Hilfe eines Ausströmersteines wurde das Wasser der Aquarien belüftet. Es erfolgte eine regelmäßige Kontrolle wichtiger Wasserparameter. Die Becken wurden täglich mit Ton eingetrübt. Im Abstand von drei Tagen wurde ein Drittel des Wasservolumens (10 l) der Aquarien getauscht. Für den Wasserwechsel wurde aus einer fischfreien KLA vorkonditioniertes und im Anschluss aufgesalzenes Wasser verwendet. Die

kontinuierliche Beleuchtung der Aquarienanlage (24 h; < 5 Lux) wurde indirekt realisiert. Den Zanderlarven wurden viermal täglich eine definierte Menge Artemien (*Artemia salina*, Tagis-Tropical-Marin, Micro Artemia Cysts, AF 430 Cysts, LOT: ONHO3208) *ad-libitum* angeboten. Die Artemien wurden in Wasser mit einer NaCl-Konzentration von 21 – 22 g l⁻¹ aufgezogen.

Zu Beginn des Versuches wurde die Totallänge (mm, Digital-Messschieber ABS) und die Stückmasse ($\pm 0,1$ mg, OHAUS©AnalyticalPlus AP210S) von einem Teil der Larven ermittelt. Die Einzelfischwägung und Längenbestimmung erfolgte in Anlehnung an ein von KREJSZEFF u. a. (2013) entwickeltes Protokoll. Hierfür wurde ein GazeNetz (200 μ m, ~ 10 x 10 cm) auf einen trockenen Löschpapierbogen gelegt. Das Löschpapier saugte das auf den Larven befindliche Wasser ab. Zusätzlich wurde ein Teil der Larven für eine Trockenmassebestimmung (24 h, 105 °C) herangezogen.

Am dritten Versuchstag sowie am Versuchsende (Tag 10) wurden von zehn Fischlarven jeder Wiederholung die Stückmasse (= Frischmasse, FM) und Totallänge (mm) bestimmt, die spezifischen Wachstumsraten (SGR, % d⁻¹, Formel 1) für jede Haltungseinheit berechnet und die Trockenmasse (TM, %) sowie die Mortalität (M) ermittelt (Formel 2 u. Formel 3).

Statistische Auswertung: Die Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung des Versuches kann im Anhang gefunden werden.



Abbildung 3.4: Verwendete Aquarienanlage für die Aufzucht der Zanderlarven.

$$\text{SGR} = (\ln (\text{Biomasse Ende}) - (\ln (\text{Biomasse Start})) / \text{Versuchstage} * 100 [\% \text{ d}^{-1}] \quad \text{Formel 1}$$

$$\text{TM} = (100 / \text{Frischmasse (g)}) * \text{Trockenmasse (g)} [\%] \quad \text{Formel 2}$$

$$\text{M} = (100 / \text{Anzahl Individuen}) * \text{Anzahl Abgänge} [\%] \quad \text{Formel 3}$$

3.2.2 Ergebnisse

Der Versuchsstart fand am achten Tag nach dem Schlupf (8 dph) der Larven statt. Bereits vier Tage vor dem Versuchsbeginn wurde die erste Futteraufnahme der Fische beobachtet. Aufgrund der zunehmenden Lichtsensibilität der Zanderlarven (Orientierungslosigkeit bei Lichtexposition) wurde der Versuch am Versuchstag 10 terminiert.

Die Wasserwerte während des Versuches befanden sich in einem für Zander optimalen Bereich und werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet. Mit Ausnahme der Leitfähigkeit ($P \leq 0,001$) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Becken bzw. Versuchsgruppen festgestellt werden.

Zu Beginn des Versuches wurden Zanderlarven ($n = 40$) während des Umsetzens von der KLA in die Aquarien gewogen ($0,8 \pm 0,3 \text{ mg}$) und vermessen ($6,1 \pm 0,6 \text{ mm}$) (Abbildung 3.5). Die ermittelten Stückmassen und Körperlängen wurden als Ausgangswert herangezogen. Bereits nach einer 24-stündigen NaCl-Exposition mit 9 g l^{-1} wurde der Versuch für diese Expositionsgruppe beendet. In allen vier Wiederholungen verhielten sich die Fische

abnormal (orientierungslos, z. T. zittern, keine Futteraufnahme). Die durchschnittliche individuelle Stückmasse ($0,7 \pm 0,3 \text{ mg}$) der Larven war geringer als am Start, unterschied sich aber nicht signifikant ($P = 0,269$) von der Startstückmasse der Larvenmessung am Vortag. Die Körperlänge der 9 g NaCl l^{-1} hat sich innerhalb der 24-stündigen Exposition im Vergleich zur Messung des Vortages nicht verändert ($6,1 \pm 0,5 \text{ mm}$; $P = 0,909$). Eine Übersicht über die Stückmassen der Zanderlarven während des Versuches ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Während der ersten drei Versuchstage verdoppelten sich die durchschnittlichen Stückmassen der Fische von $0,8 \text{ mg}$ auf $1,7 \text{ mg}$. Ein signifikanter Unterschied der mittleren Stückmassen zwischen den NaCl-Konzentrationen bestand jedoch nicht ($P = 0,912$). Bis zum Versuchsende am Tag 10 haben die Stückmassen der Fische weiter zugenommen und im Mittel zwischen $3,4$ und $4,4 \text{ mg}$ erreicht. Die Fische in der 6 g NaCl l^{-1} Gruppe wiesen dabei die höchsten Endstückmassen auf, die sich zudem signifikant ($P = 0,047$) von den anderen beiden Versuchsgruppen

unterschieden. Auf Basis der mittleren Endstückmassen wuchsen die Zander in 3 g l^{-1} rund 11 % und die Fische in 6 g NaCl l^{-1} rund 24 % besser als die Larven in der Kontrolle. In Tabelle 3.1 sind die Ergebnisse der Totallänge, der spezifischen Wachstumsraten (SGR), der Trockenmasse und der Mortalität dargestellt. Bis zum Ende des Versuches hat die durchschnittliche Körperlänge der Fische auf bis zu 9 mm zugenommen (6 g NaCl^{-1}). Die Fische in der 6 g NaCl l^{-1} Exposition wiesen neben der höchsten Stückmasse auch das höchste Längenwachstum auf. Mit zunehmender NaCl-Konzentration nahm

die mittlere Totallänge der Fische zu ($P = 0,100$). Die spezifischen Wachstumsraten (SGR) schwankten zwischen 14,7 und 17,6 % d^{-1} ($P = 0,113$). Das höchste spezifische Wachstum wurde in den Versuchsgruppen mit 6 g NaCl l^{-1} festgestellt. Die Tendenz zu höheren Trockenmassegehalten mit steigender NaCl-Konzentration wurde auch am Versuchsende beobachtet. Signifikante Unterschiede der Trockenmasse lagen nicht vor ($P = 0,112$). Die Mortalitäten der Versuchsgruppen betragen zwischen 41 und 49 % ($P = 0,552$).

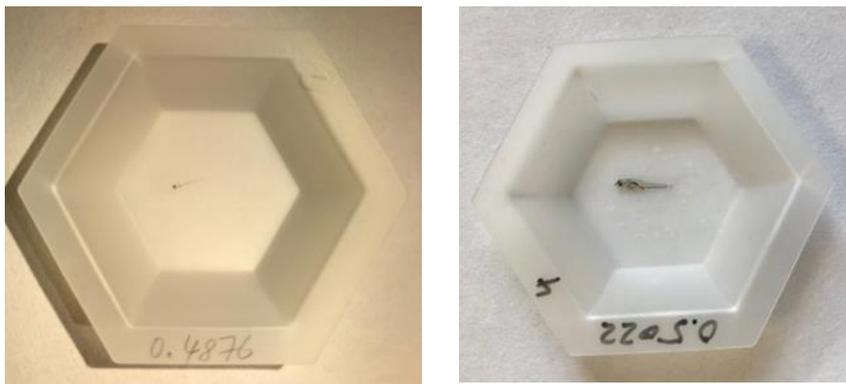


Abbildung 3.5: Schwimm- und fressfähige Zanderlarve am Start (8 dph; links) und am Ende (18 dph; rechts) des 10-tägigen Versuches.

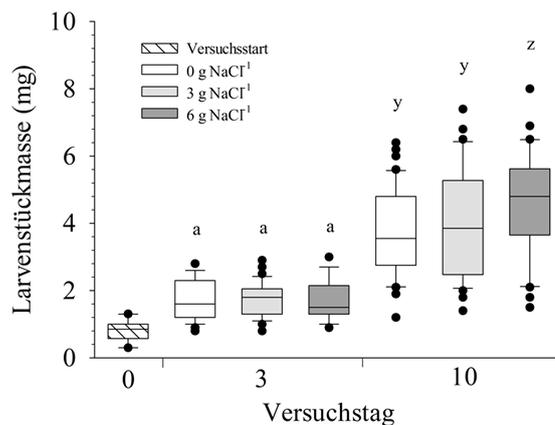


Abbildung 3.6: Stückmasse (mg) der Zanderlarven während des Versuches (0 d: $n = 40$; 3 d: $0/3 \text{ g NaCl l}^{-1}$ je $n = 40$, 6 g NaCl l^{-1} $n = 30$; 10 d: $n = 40$) und in Abhängigkeit der NaCl-Zugabe. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

Tabelle 3.1: Totallängen (0 d: n = 40; 3 d: 0 und 3 g NaCl l⁻¹ n = 40, 6 g NaCl l⁻¹ n = 30; 10 d: 0, 3 und 6 g NaCl l⁻¹ n = 40), spezifische Wachstumsraten (SGR; n = 4), Trockenmasse (n = 6 – 10) und Mortalität der einzelnen Versuchsgruppen (MW ± SD). Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹
Totallänge (mm)	0	6,1 ± 0,6			
	1	-	-	-	6,1 ± 0,5
	3	7,1 ± 0,7	7,1 ± 0,7	7,3 ± 0,7	-
	10	8,7 ± 0,8	8,9 ± 1,1	9,0 ± 0,9	-
SGR (% d ⁻¹)	3	25,9 ± 5,7	26,0 ± 2,5	25,1 ± 2,2	-
	10	14,7 ± 0,8	16,1 ± 2,2	17,6 ± 1,2	-
Trockenmasse (%)	3	13,6 ± 2,3	14,5 ± 1,2	14,1 ± 3,2	-
	10	15,7 ± 0,9	16,5 ± 1,2	17,5 ± 0,8	-
Mortalität (%)	10	41 ± 4	49 ± 19	42 ± 10	-

3.2.3 Diskussion

Zum Zeitpunkt des Versuchsstarts waren die Fische 8 Tage alt (8 dph), schwammen frei in der Wassersäule, verfügten über eine Maulspalte und nahmen Futter auf. Aufgrund des kurzen zur Verfügung stehenden experimentellen Zeitfensters von 10 Tagen (18 dph) zwischen dem Start der Futteraufnahme und dem Einsetzen von Kannibalismus (ZIENERT, mdl. Mitt.), negativer Phototaxis (TIELMANN u. a. 2016) sowie der allgemein sehr schnellen Entwicklung von Fisch- bzw. Zanderlarven (vgl. SZKUDLAREK u. ZAKĘŚ 2007) wurde auf eine stufenweise Erhöhung der NaCl-Konzentration verzichtet. Da die Exposition mit 12 g NaCl l⁻¹ bereits in einer 100%igen Mortalität der Zanderembryonen resultierte, wurde diese Konzentration nicht untersucht. Das Wiege- und Vermessungsprotokoll in Anlehnung an KREJSZEFF u. a. (2013) erwies sich für die Bestimmung von biologischen Parametern junger Zanderlarven als praktikabel. Die ermittelte Startstückmasse (0,8 mg) und Körperlänge (6,1 mm) zu Versuchsbeginn stimmten mit anderen Angaben zu Zanderlarven überein (IMENTAI u. a. 2019, PETERKA u. a. 2003). Es kann daher von einer normalen Entwicklung der Larven bis zum Zeitpunkt des Versuchsstarts ausgegangen werden. Die Haltung von Zanderlarven im Entwicklungsabschnitt vom 8 dph bis 18 dph ist mit 6 g NaCl l⁻¹

möglich. Am Ende des 10-tägigen Versuches hatten die Larven aus der 6 g l⁻¹ Gruppe signifikant höhere Endstückmassen als die Larven der Kontrolle und der 3 g l⁻¹ Gruppe. Generell nahmen bei steigender NaCl-Konzentration die Totallängen, die spezifischen Wachstumsraten und die Trockenmassen der Larven zu. Dies unterstreicht die positiven Eigenschaften einer salinen Haltungsumwelt bei der Aufzucht von Zanderlarven bei Wassertemperaturen von 15 – 16 °C. Ähnliche Beobachtungen wurden auch für Zanderlarven in einem anderen Versuch gemacht. In Salzkonzentrationen von 2 – 4 ‰ wuchsen die Larven signifikant besser als die Artgenossen in Süßwasser. Bei höheren Salzkonzentrationen (8 ‰) reduzierte sich das Wachstum der Zanderlarven hingegen wieder, und 16 ‰ wurden nicht toleriert (IMENTAI u. a. 2019).

Während am Ende des Versuches ein signifikant besseres Wachstum der Larven in 6 g NaCl l⁻¹ festgestellt wurde und auch IMENTAI u. a. (2019) Zanderlarven noch bei 8 ‰ Salinität aufziehen konnte, musste der Versuch für die Gruppe mit 9 g NaCl l⁻¹ bereits nach 24 Stunden terminiert werden. Die Fische wirkten orientierungslos, zitterten teilweise und nahmen kein Futter auf. Auch IMENTAI u. a. (2019) beobachtete bei Zanderlarven in 8 ‰ Salinität zunächst eine zweitägige Verweigerung der

Futteraufnahme. Die ausbleibende Überlebensfähigkeit der Fische dieses Versuches bei 9 g NaCl l^{-1} deutet letztendlich darauf hin, dass Zanderlarven keine physiologische Möglichkeit haben, sich zumindest kurzfristig auf diese NaCl-Konzentration einzustellen. Das Fenster der optimalen NaCl-Konzentrationen ist demnach begrenzt.

Mit Blick auf die Exposition der Fische mit 9 g NaCl l^{-1} muss berücksichtigt werden, dass die abrupte Erhöhung der NaCl-Konzentration möglicherweise zu schnell für die Tiere war. Allerdings führte auch die Exposition von Barschlarven (*P. fluviatilis*) mit einer Salinität von $9,6 \text{ ‰}$ bei einer stufenweisen Erhöhung zu einer nahezu vollständigen Mortalität ($99,4 - 100 \%$). Die Sterblichkeit der Larven setzte dabei jedoch erst zwei Tage nach einem Erreichen der Zielkonzentration ein (BEIN u. RIBI 1994). Die für Barsch- und Zanderlarven beobachteten erhöhten Überlebensraten unter leicht salinen Bedingungen (RIBI 1992, IMENTAI u. a. 2019) konnten in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

Auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse können weitere Rückschlüsse für die Zanderlarvenaufzucht mit NaCl gezogen werden. Zum einen stand den Zanderlarven in einer NaCl-haltigen Umwelt mit großer Wahrscheinlichkeit das verabreichte Lebendfutter länger zur Verfügung als unter Süßwasserbedingungen (vgl. IMENTAI u. a. 2019,

JOMORI u. a. 2012). Die längere Verfügbarkeit des Futters kann sich wiederum positiv auf die Wachstumsperformance der Tiere auswirken haben. Zum anderen weisen Studien daraufhin, dass sich die Verabreichung von NaCl-haltigem Futter positiv auf das Wachstum (CNAANI u. a. 2010) und auch die Toleranz von Fischen gegenüber salinen Umwelten auswirkt (FONTAÍNHAS-FERNANDES u. a. 2000, LIM u. a. 2006). Ferner wird die Aufnahme von in NaCl aufgezogenem Lebendfutter für die Zanderlarven mit einer Aufnahme von Ionen einhergegangen sein (vgl. RUSLER u. MANGOS 1978). In Süßwasser wird der osmotische Gradient zwischen Umwelt und Fisch dadurch auf Kosten des Wachstums sehr wahrscheinlich erhöht. Erfolgt die Verabreichung von NaCl-haltigem Lebendfutter hingegen in einer mit identischen Ionen angereicherten Haltungsumwelt, wird dies den osmotischen Gradienten zwischen Organismus und aquatischer Umwelt verringern und damit die energetischen Aufwendungen für die Aufrechterhaltung des Wasser- und Ionenhaushaltes reduzieren. Auf diese Weise lässt sich sowohl der Anstieg des Larvenwachstums bei zunehmender NaCl-Konzentration erklären, als auch warum die Haltung bei einer NaCl-Konzentration von 6 g l^{-1} in einem signifikant gesteigerten Wachstum der Zanderlarven resultierte.

3.2.4 Fazit

Zanderlarven in dem Lebensabschnitt von 8 bis 18 Tagen nach Schlupf können in NaCl-Konzentrationen von bis zu 6 g NaCl l^{-1} bei Wassertemperaturen von $17 - 18 \text{ °C}$ erfolgreich gehalten werden. Die Stückmassen der mit 6 g NaCl l^{-1} exponierten Zanderlarven waren am Versuchsende signifikant höher, weshalb die Haltung von Larven mit 6 g NaCl l^{-1} empfohlen wird. Es wird vermutet, dass das bessere Wachstum unter 6 g NaCl l^{-1} eine Kombination

zwischen der Verabreichung von NaCl-reichem Lebendfutter und einer mit identischen Ionen angereicherten Haltungsumwelt zusammenhängt. In einem Konzentrationsbereich von $0 - 6 \text{ g NaCl l}^{-1}$ konnten keine Effekte einer erhöhten NaCl-Konzentration auf die Sterblichkeit der Larven festgestellt werden. 9 g NaCl l^{-1} werden von Zanderlarven hingegen keine 24 Stunden toleriert.

3.3 Die Aufzucht von trockenfutteradaptierten Jungzandern unter Zugabe von NaCl

Das Larvenstadium von Zandern ist etwa vier bis fünf Wochen nach dem Schlupf abgeschlossen. Ab diesem Zeitpunkt sind alle Organe, mit Ausnahme

der Geschlechtsorgane, vollständig ausgebildet, die Haut ist pigmentiert und die Fische weisen eine negative Phototaxis auf (SCHÄPERCLAUS u. VON

LUKOWICZ 1998). In einem 20-tägigen Versuch wurde die Aufzucht trockenfutteradaptierter

Jungzander unter der Zugabe von NaCl (0, 3, 6, und 9 g l⁻¹) untersucht.

3.3.1 Materialien und Methoden

Die trockenfutteradaptierten Zander (> 50 dph) wurden von Herrn O. Brauße (Fischräucherei und Aufzucht, Blankensee) zur Verfügung gestellt. Die Zander hatten die gleichen Elterntiere wie die Larven des vorherigen Versuches. Zur Akklimatisation wurden die Fische für eine Woche in einer KLA (18 °C, pH-Wert 7,2) am IfB gehalten. Anschließend wurden je 15 Zander in die Haltungseinrichtungen überführt (Glasaquarien: 30 x 45 x 50 cm mit 30 l Wasser, vgl. Abbildung 3.4). Der Versuchsaufbau schloss insgesamt vier NaCl-Konzentrationen in vier unabhängigen Wiederholungen ein. Die NaCl-Zugabe (0, 3, 6, 9 g l⁻¹) erfolgte mit einem jodfreien Siede-Speisesalz (ESCO, Trennmittel: E500, E535, Natriumchloridgehalt: 99,8 %). Die trockenfutteradaptierten Jungzander wurden stufenweise (max. 3 g NaCl l⁻¹ und Tag) an die entsprechende Zielkonzentration gewöhnt. Als Versuchsstart wurde der Tag des Erreichens der Zielkonzentration definiert. Die Wassertemperatur wurde über die Umgebungstemperatur konstant gehalten. Mit Hilfe eines Ausströmersteines wurde das Wasser der Aquarien belüftet. Es erfolgte eine regelmäßige Kontrolle wichtiger Wasserparameter. Die Becken wurden zweimal täglich mit Ton eingetrübt. Da es sich um einen statischen Versuch handelte, wurde täglich ein manueller Wasserwechsel durchgeführt. Pro Gramm verabreichtem Futter wurden am Folgetag 20 l Wasser ausgetauscht. Für den Wasserwechsel wurde aus einer fischfreien KLA vorkonditioniertes und im

Anschluss aufgesalzenes Wasser verwendet. Die Beleuchtung der Aquarienanlage (16 h hell : 8 h dunkel) wurde indirekt realisiert. Während der Hellphasen wurden < 5 Lux auf der Wasseroberfläche ermittelt.

Den Zandern wurde viermal täglich ein Alleinfuttermittel angeboten (Granulat, Rohprotein: 50,9 %, Rohfett: 13,8 %; Rohasche: 15 %; Rohfaser: 1,0 %; Phosphor: 2,4 %). Die biomasse- und zuwachsbezogene Fütterung erfolgte in Anlehnung an ein Protokoll von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (mdl. Mitt.). Am Tag des Transfers der Fische in die Aquarien wurden durch Einzelfischwägungen die Stückmassen ($\pm 0,1$ mg, OHAUS[®]AnalyticalPlus AP210S) der Zander bestimmt sowie von einem Teil der Tiere die Totallänge (mm) ermittelt. Des Weiteren wurden Trockenmassebestimmungen (24 h, 105 °C) durchgeführt. An Tag 3 und 20 nach Erreichen der Zielkonzentration wurde eine Zwischen- bzw. Endbeprobung (n = 4 – 11 je Haltungseinrichtung) durchgeführt (Stückmasse, Totallänge, Trockenmasse (TM, %) Formel 2), sowie die spezifischen Wachstumsraten (SGR % d⁻¹, Formel 1) und die Futterquotienten (FQ, Formel 4) für jede Haltungseinheit berechnet. Zusätzlich wurde die Mortalität (Formel 3) sowie der Konditionsfaktor (Kf) der Zander nach Fulton (NASH u. a. 2006) bestimmt (Formel 5).

Statistische Auswertung: Die Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung des Versuches kann im Anhang gefunden werden.

$$\text{FQ} = \text{Futter (kg)} / \text{Zuwachs (kg)}$$

Formel 4

$$\text{Kf} = \text{Stückmasse (g)} * 100 / \text{Körperlänge (cm)}^3 [\text{g cm}^{-3}]$$

Formel 5

3.3.2 Ergebnisse

Während des 20-tägigen Versuches befanden sich die ermittelten Wasserparameter in einem für Zander unbedenklichen Bereich, weshalb an dieser Stelle keine vertiefende Betrachtung erfolgen soll. Mit Ausnahme der Leitfähigkeit ($P \leq 0,001$) konnten

keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Am Start des Versuches wurden die Tiere (> 50 dph) einzeln gewogen und in die Haltungseinrichtungen überführt (Startstückmasse: 0 g NaCl l⁻¹: $0,45 \pm 0,12$;

3 g NaCl l⁻¹: 0,46 ± 0,10; 6 g NaCl l⁻¹: 0,47 ± 0,11; 9 g NaCl l⁻¹: 0,46 ± 0,11; P = 0,780; Abbildung 3.7). Bis zum Versuchsende (Tag 20) hat die Stückmasse der Fische zugenommen und sich im Mittel etwa verdreifacht (Endstückmasse: 0 g NaCl l⁻¹: 1,53 ± 0,27; 3 g NaCl l⁻¹: 1,58 ± 0,31; 6 g NaCl l⁻¹: 1,38 ± 0,29; 9 g NaCl l⁻¹: 1,31 ± 0,22). Die Fische in der 3 g NaCl l⁻¹ Versuchsgruppe wiesen die höchsten mittleren Endstückmassen auf, die sich zudem signifikant (P ≤ 0,001) von zwei Versuchsgruppen (6 und 9 g NaCl l⁻¹) unterschieden, nicht jedoch von der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹). Auf Basis der mittleren Endstückmassen wuchsen die Fische in 3 g NaCl l⁻¹ ca. 3,3 %

besser als die Fische in der Kontrolle. Die Zander in 6 und 9 g NaCl l⁻¹ wuchsen hingegen etwa 9,8 bzw. 14,4 % schlechter als die Süßwasserkontrolle bzw. 12,7 und 17,1 % schlechter als die Fische in 3 g NaCl l⁻¹.

Die Tabelle 3.2 fasst verschiedene Parameter zusammen, die bei Versuchsstart und -auflösung erhoben worden sind. Von einem Teil der Jungzander, die jedoch nicht in die Versuchsaquarien überführt wurden, wurden am Tag des Versuchsstarts zunächst die Körperlänge 40,5 ± 2,3 mm; n = 30) und die individuelle Trockenmasse (18,3 ± 0,8 %; n = 8) bestimmt.

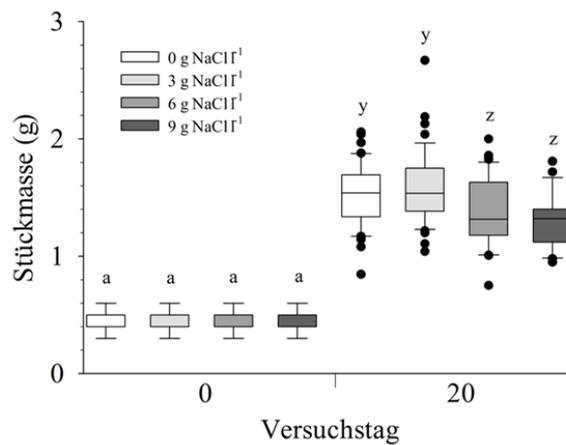


Abbildung 3.7: Stückmasse (g) der trockenfutteradaptierten Zander bei Versuchsstart (0 d; jeweils n = 60) und Versuchsende (20 d: 0 g NaCl l⁻¹: n = 41; 3 und 6 g NaCl l⁻¹: n = 44; 9 g NaCl l⁻¹: n = 28). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

Tabelle 3.2: Totallängen (n = 12 – 30), Futterquotienten (FQ; n = 4), spezifische Wachstumsraten (SGR; n = 4), Konditionsfaktor (Kf; n = 12 – 30), Trockenmassen (n = 8 – 12) und Mortalität der trockenfutteradaptierten Jungzander (MW ± SD). Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹
Totallänge (mm)	0	40,5 ± 2,3			
	20	56,6 ± 3,9 ^{ab}	58,2 ± 4,9 ^a	55,9 ± 5,1 ^{ab}	55,1 ± 5,3 ^b
FQ (kg Futter kg Zuwachs ⁻¹)	20	0,90 ± 0,03 ^a	0,88 ± 0,11 ^a	1,08 ± 0,12 ^a	1,18 ± 0,20 ^b
SGR (% d ⁻¹)	20	5,6 ± 0,2 ^a	5,6 ± 0,4 ^a	4,9 ± 0,4 ^b	4,8 ± 0,2 ^b
Kf (g cm ⁻³)	0	0,68 ± 0,05			
	20	0,83 ± 0,12	0,81 ± 0,13	0,79 ± 0,08	0,79 ± 0,12
Trockenmasse (%)	0	18,3 ± 0,8			
	20	21,2 ± 0,6	21,2 ± 0,6	21,0 ± 0,6	20,7 ± 0,7
Mortalität (%)	20	8,3 ± 8,7 ^a	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	21,7 ± 10,9 ^a

Am Versuchsende bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Körperlängen der Versuchsgruppen (P = 0,046). Die Zander in der 3 g NaCl l⁻¹ Versuchsgruppe wiesen die höchsten durchschnittlichen Körperlängen auf (58,2 mm). Im Vergleich waren die Fische der 9 g NaCl l⁻¹ Versuchsgruppe signifikant kleiner als die der 3 g NaCl l⁻¹ Gruppe. Der Futterquotient unterschied sich signifikant voneinander (P = 0,016). Die Futterverwertung der Versuchsfische in 9 g NaCl l⁻¹ war signifikant schlechter als die der anderen Gruppen. Die Futterverwertung der Fische in der 3 g NaCl l⁻¹ Versuchsgruppe war am besten. Die spezifischen Wachstumsraten (SGR) der Fische schwankten zwischen 5,6 und 4,8 % d⁻¹. Die Kontrolle und die 3 g NaCl l⁻¹ Gruppe erreichten mit durchschnittlich 5,6 % d⁻¹ die höchsten spezifischen Wachstumsraten. Ein weiterer Anstieg der NaCl-Konzentration resultierte in abnehmenden spezi-

fischen Wachstumsraten. Es bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (P = 0,003). Der Konditionsfaktor der Zander nahm während des Versuchs zu und schwankte zwischen 0,83 und 0,79 g cm⁻³ (P = 0,168). Die durchschnittliche prozentuale Trockenmasse der Zander nahm im Laufe des Versuches um etwa 2 – 3 % zu und variierte am Versuchsende zwischen 21,2 und 20,7 % (P = 0,198). Hinsichtlich der Sterblichkeit bestanden zwischen den Versuchsgruppen signifikante Unterschiede (P = 0,014). Die Mortalität in der Kontrollgruppe betrug durchschnittlich 8,3 %. In den Versuchsgruppen 3 und 6 g NaCl l⁻¹ traten keine Mortalitäten auf. Die Versuchsgruppe 9 g NaCl l⁻¹ wies die höchste durchschnittliche Mortalität auf (21,7 %). Bei den täglichen Wasserwechseln sowie der Beprobung am Tag 20 kam es vor, dass Fische in 9 g NaCl l⁻¹ innerhalb weniger Sekunden verstarben.

3.3.3 Diskussion

Mit Blick auf die Performance der Tiere bestanden am Ende des Versuches keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Fischen in 3 g NaCl l⁻¹. Wohl aber wiesen die Fische in 3 g NaCl l⁻¹ die höchsten durchschnittlichen Stückmassen und Totallängen auf. Ferner hatten die Zander in 3 g NaCl l⁻¹ die beste Futterverwertung sowie signifikant reduzierte Sterblichkeitsraten, jedoch

identische spezifische Wachstumsraten und Trockenmassegehalte wie die Zander der Kontrollgruppe. Demzufolge hat die Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ positive Effekte auf trockenfutteradaptierte Jungzander. Für juvenile Barsche (*Perca fluviatilis*) ähnlicher Altersstufen lässt sich hinsichtlich des Parameters Wachstum ein Fenster einer optimalen Salinität zwischen 0 – 4 ‰ (OVERTON u. a. 2008)

bzw. 2 – 5 ‰ (LOŽYS 2004) ableiten. Bisherige Erkenntnisse anderer juveniler Perciden sind damit nahezu deckungsgleich mit den Ergebnissen des Versuches. Unabhängig vom Wachstum können juvenile Zander mit Stückmassen von 1 und 2 g Salinitäten von bis zu 12 ‰ tolerieren, ohne dass in einem Untersuchungszeitraum von 10 Tagen negative physiologische Konsequenzen erkennbar waren (AHMADNEZHAD u. a. 2014). Allerdings liefert die Studie von AHMADNEZHAD u. a. (2014) keine Daten zum Wachstum der Tiere.

Während also NaCl-Konzentrationen von 3 g l⁻¹ als optimal für die Haltung trockenfutteradaptierter Jungzander angesehen werden können, verschlechterten sich ab einer NaCl-Konzentration von ≥ 6 g l⁻¹ alle erhobenen Leistungsparameter deutlich. Die Performance dieser beiden Gruppen war gegenüber den Fischen in 0 und 3 g NaCl l⁻¹ signifikant reduziert. Konzentrationen von 6 und 9 g NaCl l⁻¹ sind für eine Aufzucht juveniler Zander ungeeignet. Bei einem Befall mit Ektoparasiten wäre potentiell eine Aufsatzung mit bis zu 6 und in Ausnahmefällen bis 9 g NaCl l⁻¹ möglich. Allerdings ist dann mit Wachstumseinbußen und einer herabgesetzten Futtermittelverwertung auszugehen.

Insbesondere das Wachstum gilt als ein empfindlicher Indikator, wenn Fische sich ändernden Salzkonzentrationen ausgesetzt sind, da dieser Parameter bereits messbare Veränderungen andeuten kann, bevor physiologische Reaktionen, wie bspw. die Osmolalität des Blutplasmas, eine Störung des Ionen- und Wasserhaushaltes anzeigen (OVERTON u. a. 2008). In der Studie von OVERTON u. a. (2008) wirkten sich Salzkonzentrationen oberhalb von 4 ‰ negativ auf die Wachstumsperformance der Barsche aus. Nach einer 130-tägigen Aufzucht in KLA bei 10 ‰ bestand im Vergleich zur Süßwasserkontrolle ein Wachstumsdefizit der Barsche von 50 %. In den mit 6 und 9 g NaCl l⁻¹ exponierten Zandern kam es im Vergleich zur 3 g NaCl l⁻¹ Gruppe während des 20-tägigen Versuches zu einer Reduktion des Wachstums von 13 bzw. 17 %.

Verschiedene Ursachen können für die Leistungssteigerung bis 3 g NaCl l⁻¹ bzw. den Leistungsabfall ab ≥ 6 g NaCl l⁻¹ verantwortlich sein. Zunächst muss der

osmoregulatorische Aufwand berücksichtigt werden. Wenn sich das Ionengefälle zwischen Fischinnerem und der aquatischen Umwelt angleicht, sind die energetischen Kosten für die Ionenregulierung reduziert. Die damit verbundene Energieeinsparung kann in einer Wachstumssteigerung resultieren (BOEUF u. PAYAN 2001, MORGAN u. IWAMA 1991, s. a. SINGH 1980). Bei einer Überschreitung der optimalen Salzkonzentration erhöhen sich folglich die energetischen Kosten für die Osmoregulation, was das Wachstum der Tiere reduziert.

Zusätzlich zum Wachstum kann auch die Futtermittelverwertung verändert sein. Artenabhängig werden dabei sowohl positive als auch negative Effekte beschrieben. Bei Cypriniden (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*) nimmt parallel zum Wachstum die Futtermittelverwertung bei steigender Salzkonzentration stufenweise ab (LUZ u. a. 2008, WANG u. a. 1997), für Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und Felsenbarsche (*Morone saxatilis*) hingegen zu (ALTINOK u. GRIZZLE 2001). Dies bedeutet, dass das zugeführte Futter von den Zandern in 6 und 9 g NaCl l⁻¹ nicht mehr in Körperwachstum umgesetzt werden konnte, sondern zur Aufrechterhaltung physiologischer Funktionen gegenüber nicht optimalen NaCl-Konzentrationen herangezogen wurde.

Unter salinen Umwelten verändert sich zudem die Verdaulichkeit von Nährstoffen (ALTINOK u. GRIZZLE 2001, KANG'OMBE u. BROWN 2008). Bei Australischen Grunzbarschen (*Bidyanus bidyanus*) resultiert eine saline Umwelt (4 ‰), im Vergleich zur Haltung in Süßwasser, in einer signifikant verringerten Nährstofffreisetzung. Es wurde eine um etwa 42 % niedrigere Stickstoff- und eine etwa 43 % niedrigere Phosphorfreisetzung beobachtet (KIBRIA u. a. 1999). Die im Versuch durchgeführte biomassebezogene Fütterung resultiert also potenziell in einer verbesserten Nährstoffverwertung, was sich wiederum in einer erhöhten Wachstumsleistung manifestieren konnte.

Des Weiteren kann die Futtermittelaufnahme von der Salzkonzentration der Haltungsumwelt beeinflusst sein. Während es bei karpfenartigen Fischen in niedrigeren Salinitäten (2 ‰) zu einem leichten

Anstieg der Futtermittelaufnahme kommen kann (LUZ u. a. 2008), wurde im Brackwasser (10 ‰) eine 70%ige Reduktion der Futtermittelaufnahme gegenüber der Süßwasserkontrolle festgestellt (DE BOECK u. a. 2000). Bei den Zandern in 9 g NaCl l⁻¹ wurde ebenfalls ein Rückgang der Futtermittelaufnahme festgestellt, die sich in anfallenden Futterresten manifestierte. Aufgrund des Aufbaus der Versuchseinheiten ließ sich die Höhe der Futterreste jedoch nicht quantifizieren. Ein verringerter Appetit bei Fischen kann bspw. das Resultat einer veränderten Empfindlichkeit der olfaktorischen Nerven unter salinen Bedingungen sein (SHOJI u. a. 1996).

Die Mortalität in den Expositionsgruppen mit 3 und 6 g NaCl l⁻¹ war signifikant niedriger als in der Süßwasserkontrolle und in der höchsten NaCl-Konzentration. Während die Fische in der Kontrolle aufgrund von Verpilzungen im Anschluss an kannibalistisches Verhalten verstarben (8 % Mortalität), konnten keine Verpilzungen in den drei anderen Versuchsgruppen festgestellt werden. Insbesondere 3 und 6 g NaCl l⁻¹ haben sich positiv auf die

Überlebensraten (100 %) juveniler Zander ausgewirkt. Die von RIBI (1992) für Barschlarven und IMENTAL u. a. (2019) für Zanderlarven beobachtete Verbesserung der Überlebensraten unter leicht salinen Bedingungen wurden auch für trockenfutteradaptierte Zander bei NaCl-Zugabe festgestellt. In der NaCl-Konzentration mit 9 g l⁻¹ stieg die Mortalität (22 %) an. Im Zuge der täglichen Routinearbeiten oder auch Probenahmen schossen einige Individuen dieser Gruppe unkontrolliert durch die Wassersäule und verstarben hiernach innerhalb weniger Sekunden. Für Hechte (*Esox lucius*) ist ein ähnliches Verhalten beschrieben worden, wenn während eines Salzstresstests ein kritischer Grenzwert überschritten wurde. Einige, aber nicht alle Individuen reagierten ab 13,2 g l⁻¹ mit Körperzittern, einem Verlust des Gleichgewichts und Mortalität (JØRGENSEN u. a. 2010). Zudem stimmt das gestresst erscheinende Verhalten der trockenfutteradaptierten Zander in 9 g NaCl l⁻¹ in gewisser Weise auch mit den schwimm- und fressfähigen Zanderlarven des vorherigen Versuches überein.

3.3.4 Fazit

Aufgrund der Photosensitivität und dem Beginn des Kannibalismus in dem Entwicklungszeitraum ab dem 19. Tag nach Schlupf konnten erst für die Entwicklungsphase ab > 50 dph belastbare Daten generiert werden. Im Vergleich zu den Larven, die unter 6 g NaCl l⁻¹ signifikant höhere Endstückmassen aufwiesen, hatten die trockenfutteradaptierten Fische in 3 g NaCl l⁻¹ die höchsten durchschnittlichen Stückmassen, jedoch ohne einen signifikanten Unterschied zur Süßwasserkontrolle. Aus diesem Grund kann die Haltung dieser Altersstufen mit bis zu 3 g NaCl l⁻¹ empfohlen werden. Erst bei höheren NaCl-Konzentrationen (≥ 6 g NaCl l⁻¹) nahm die

Endstückmasse der Zander signifikant ab. Auch wenn das Wachstum dieser Gruppen reduziert war, waren insbesondere die trockenfutteradaptierten Zander in 9 g NaCl l⁻¹ dennoch toleranter als die entsprechenden Zanderlarven, für die der Versuch bereits nach 24 Stunden abgebrochen werden musste. Auch wenn die optimale NaCl-Konzentration für trockenfutteradaptierte Zander also geringer ist als für Zanderlarven, ist die Toleranz gegenüber NaCl mit gesteigertem Lebensalter höher. Mit Blick auf die Zanderaufzucht in KLA kann sich dies bspw. bei der Behandlung von Ektoparasiten als nützlich erweisen.

3.4 Die Aufzucht von juvenilen Zandern unter Zugabe von NaCl

In einem bis zu 78 Tagen andauernden Versuch wurde die Aufzucht und Haltung von juvenilen Zandern mit mittleren Startstückmassen von 31 g

unter der Zugabe von NaCl (0, 3, 6, 9 und 12 g l⁻¹) in fünf Versuchskreislaufanlagen untersucht.

3.4.1 Materialien und Methoden

Versuchsfische: Die durchschnittliche Stückmasse der am IfB aufgezogenen Zander (*Sander lucioperca*) betrug zu Versuchsbeginn 31 ± 5 g (MW \pm SD) (Abbildung 3.8). Die Becken der KLA wurden randomisiert mit Fischen besetzt. Beim Versuchsstart wurde jedes der drei Becken der fünf Anlagen mit 55 Zandern besetzt, wovon wiederum zehn Zander individuell markiert waren (Daten werden nicht weiter betrachtet). Die durchschnittliche Besatzdichte der Kreislaufanlagen am Start des Versuches betrug $5,3$ kg m⁻³.

Versuchskreislaufanlagen: Für die Versuchsdurchführung wurden fünf identische Kreislaufanlagen mit einem Gesamtvolumen von jeweils 1 080 l konstruiert. Jede der Kreislaufanlagen bestand aus drei Fischhalteeinrichtungen, einer mechanischen und biologischen Reinigungsstufe, Zu- und Ablaufrohren, einer Pumpe sowie einer Luftversorgung (Abbildung 3.9). Die Wasserförderung in den Kreislaufanlagen wurde mit Hilfe einer Pumpe (Eheim, Compact 1000) realisiert. Der Zulauf zu den drei Fischhalteeinrichtungen wurde über eine zentrale Leitung vorgenommen und über Kugelhähne reguliert. Um eine Kreisströmung in den Becken zu erzeugen wurde dem zulaufenden Wasser über einen 90° Rohrbogen die Fließrichtung vorgegeben. Mit Hilfe

einer mittig, am tiefsten Punkt im Becken installierten Ablaufanlage, wurde das Wasser aus dem jeweiligen Becken in ein zentrales Ablaufrohr geleitet, das dieses direkt zur mechanisch-biologischen Reinigungsstufe leitete. Die Belüftung der Fischhaltungseinrichtungen und des Füllkörperbettes erfolgte mit Hilfe von Ausströmersteinen (Oxygenius, D = 30 mm) über eine zentrale Druckluftleitung (200 l min⁻¹). Jeder Kreislauf verfügte über eine Reinigungsstufe (trichterförmige Becken mit 120 l Volumen). Während des Versuchszeitraumes befanden sich 100 l Wasser in der Reinigungsstufe. Die mechanische und biologische Reinigung des Haltungswassers erfolgte in einem Schritt. Ein regelmäßiges und für den Versuch standardisiertes Rühren des Füllkörperbettes sowie die Entnahme von Schlamm über den Bodenablass des Trichterbodens erfolgten einmal täglich. Die biologische Reinigung des Haltungswassers fand im oberen Teil des Beckens statt. Dieses wurde mit 50 l Füllkörpermaterial (Stoer, Helix 12 mm, 0,9 g cm⁻², spezifischen Oberfläche von 859 m² m⁻³) befüllt. Das Füllkörperbett wurde nur zu Reinigungszwecken bewegt. Im oberen Drittel des Bettes wurden zwei Auströmersteine (Oxygenius, D = 50 mm) zur Sauerstoffanreicherung installiert.



Abbildung 3.8: Zander mit einer mittleren Stückmasse von 31 g zu Beginn des Versuches (Foto: MÜLLER-BELECKE)

In der biologischen Reinigungsstufe wurde mit Hilfe von auf den Füllkörpern siedelnden Bakterien das von den Fischen ausgeschiedene Ammonium (NH_4^+) nitrifiziert.

Die täglichen Routinearbeiten an den Kreislaufanlagen umfassten die folgenden Arbeitsschritte: Sichtung des Fischbestandes, Sichtkontrolle Futter- und Kotreste in den Haltungseinrichtungen, Aufnahme der Wasserparameter: Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und Sauerstoffkonzentration (mg l^{-1}) (WTW Oxi 340i), pH-Wert (Merck MColorstest 5,0 - 9,0) im zentralen Ablauf, Funktionskontrolle der Pumpe, Standardisierte Reinigung des Biofilters, Futterabhängiger Wasserwechsel ($600 \text{ l Wasser kg}^{-1} \text{ Futter}$), Eintrag von Alkalinität (Natriumhydrogencarbonat) ab einem pH-Wert von $\leq 7,2$ und Fütterung.

Für den Versuch wurde Trinkwasser der Stadtwerke Potsdam verwendet. Das Wasser für den täglichen Wechsel wurde in 120 l Vorratsbehältern für mindestens 24 Stunden aufbereitet (Belüftung, nach Bedarf NaCl -Zugabe) bevor es in die Kreislaufanlagen gegeben wurde. Für das Erreichen der gewünschten NaCl -Konzentration wurde jodfreies Siede-Speisesalz der ESCO (Trennmittel: E500, E535) mit einem Natriumchloridgehalt von 99,8 % verwendet. Die initiale Aufsalzung der Anlagen erfolgte, im Anschluss an den Fischbesatz der Anlagen, stufenweise um 3 g NaCl l^{-1} und Tag. Alle Anlagen erreichten die gewünschte NaCl -Konzentration ($0, 3, 6, 9, 12 \text{ g l}^{-1}$) am selben Tag.

Fütterung: Auf jedem Becken wurde ein 24h-Uhrwerkfutterautomat installiert, der das Futter mittels eines Förderbandes in die Haltungseinrichtung einbrachte. Pro Tag wurde den Tieren an vier Zeitpunkten Futter angeboten. Während des gesamten Versuchszeitraums wurde ein Alleinfuttermittel verabreicht (Rohprotein: 64 %, Rohfett: 12,5 %;

Stickstofffreie Extraktstoffe: 2 %; Rohasche: 13 %; Rohfaser: 1,0 %; Phosphor: 1,5 %; Gesamtenergie: 20,4 MJ; Verdauliche Energie: 19 MJ). Das Fütterungsregime während des Versuches wurde in zwei Abschnitte eingeteilt. Eine Übersicht des Fütterungsregimes ist in Tabelle 3.3 dargestellt. In beiden Fällen erfolgte eine zugwachsbezogene Anpassung der täglichen Futtermenge.

Wasseruntersuchungen: Neben den bei der täglichen Routine ermittelten Wasserparametern, ist im institutseigenen Wasserlabor mindestens einmal wöchentlich eine Wasseruntersuchung vorgenommen worden. Die Untersuchung umfasste die photometrische Bestimmung (Hach, DR5000) der Konzentrationen an Ammonium (mg l^{-1} , LCK 304 und 305), Nitrit (mg l^{-1} , LCK 341) und Nitrat (mg l^{-1} , LCK 339 und 340) mittels Küvettentests (Hach Lange, LCK-Küvetten-Test-System). Die Umrechnung der Messwerte auf die Äquivalentkonzentration der Stickstoffverbindung erfolgte anschließend mittels der Umrechnungsfaktoren 1,29 für Ammonium-Stickstoff, 3,29 für Nitrit-Stickstoff und 4,43 für Nitrat-Stickstoff (TIMMONS u. EBELING 2013). Auch ist die Trübung (FNU, Hach Lange 2100 Q is), das Säurebindungsvermögen (mmol l^{-1} , Titration, WTW pH 720), der pH-Wert (WTW pH 720) und die Leitfähigkeit ($\mu\text{S cm}^{-1}$, WTW LF 197) des Wassers untersucht worden. Zusätzlich wurde die Konzentration von Cyaniden (mg l^{-1} , LCK 315) bestimmt. Wachstums- und Performanceparameter: Die Berechnung der spezifischen Wachstumsraten (SGR, $\% \text{ d}^{-1}$) und des Futterquotienten (FQ) pro Haltungseinrichtung, der Mortalität, des Konditionsfaktors (Kf) nach Fulton (NASH u. a. 2006) und dem hepatosomatischen Index (HSI, $\%$) wurde mit Hilfe der Formeln 1, 3, 4, 5 u. 6 durchgeführt:

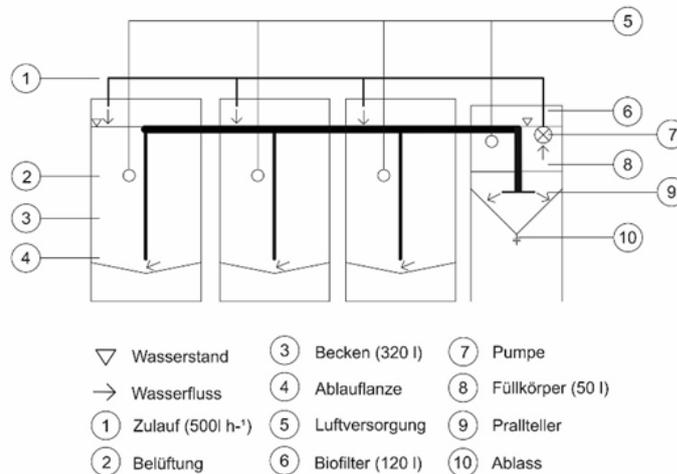


Abbildung 3.9: Schema der Versuchskreislaufanlagen bestehend aus jeweils drei Fischhaltungseinrichtungen und einer Reinigungsstufe.

Tabelle 3.3: Fütterungsregime der Versuchsfische von Tag 0 bis 36 und von Tag 37 bis 78.

Zeit	Fütterungsregime
Tag 0 bis Tag 36	Fütterung nach einem von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (pers. Mitt.) entwickelten Protokoll
Tag 37 bis Tag 78	Restriktive Fütterung von 0,95 % der Gesamtbiomasse pro Tag bei der Annahme eines FQ von 1,0

$$\text{HSI} = \text{Lebermasse (g)} * 100 / \text{Stückmasse (g)} [\%] \quad \text{Formel 6}$$

Probenahmen: An fünf Tagen während des Versuches (1, 3, 8, 36 und 78 d) wurden jeweils acht Zander pro Becken bzw. 24 Fische pro Anlage entnommen und beprobt. Die individuell markierten Zander wurden zurück in die Becken gesetzt und nicht beprobt. Von jedem der fünf Versuchskreisläufe wurde zunächst Becken 1, im zweiten Durchlauf jeweils Becken 2 und im Dritten Durchlauf jeweils Becken 3 beprobt. Um tageszeitliche Effekte auszuschließen wurden an jedem Versuchstag Proben zur gleichen Uhrzeit gewonnen. Ab dem Moment an dem der Kescher die Wasseroberfläche der Haltungseinheit berührte, wurde die Zeit protokolliert.

Hämatologie: Vor der Blutentnahme erfolgte eine tierschutzgerechte Betäubung (Kopfschlag) und

Tötung (Durchtrennung der Wirbelsäule) der Zander. Das Blut wurde an der Caudalvene mittels einer heparinisierten Spritze (1,0 ml, Injekt-F, Braun; Kanüle: 22G, Braun) gewonnen. Die Spritzen wurden mit Ammoniumheparin (Sigma, ≥ 140 I.U.; Konzentration in der Arbeitslösung: $2\,000$ I.U. ml^{-1} bzw. $14,28$ mg ml^{-1} destilliertes Wasser) vorbereitet. Die Spritzen wurden bei 60°C getrocknet und anschließend im Kühlschrank gelagert (4°C).

Die Lagerung und der Transport der Blutproben erfolgten mittels Kühlrack. Die Trennung des Vollblutes in Blutplasma und feste Bestandteile erfolgte mit einer Zentrifuge (Sigma, Mikrozentrifuge 1-16 Edition; 5:00 min, 5 550 rpm). Im Anschluss wurde das Blutplasma abpipettiert, in ein neues 1,5 ml

Reagenzgefäß überführt und bis zur Analyse bei $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagert. Mit Ausnahme des Hämatokritwertes wurden alle weiterführenden Blutplasmaanalysen am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Berlin) durchgeführt.

Hämatokritbestimmung: Die Bestimmung des Anteils der roten Blutkörperchen (Hämatokrit) im Vollblut wurde als Doppelbestimmung durchgeführt. Hierfür wurde Vollblut in zwei Mikrohämatokritkapillaren (Medlab, $D = 1,3 \times 50\text{ mm}$, $19\text{ }\mu\text{l}$) überführt und diese mittels Dichtmasse verschlossen. Für die Zentrifugation der Kapillaren wurde eine Zentrifuge (Sigma, Mikrozentrifuge 1-14; $4:00\text{ min}$, $13\ 000\text{ rpm}$) verwendet. Das Ablesen des Hämatokritwertes wurde mit Hilfe einer Schablone für Mikrohämatokritkapillaren (Sigma) vorgenommen (Abbildung 3.10).

Plasmacortisol: Der Blutplasmacortisolspiegel der Zander wurde mit Hilfe eines kompetitiven Enzymimmunoassay Cortisol-Testkits für humanen Speichel (Cortisol ELISA, RE52611, Lot: ECO143, IBL International GmbH) bestimmt. Das Blutplasma wurde im Verhältnis von 1:20 mit phosphat-gepufferter Salzlösung (+ $0,5\%$ bovines Serumalbumin) verdünnt. Die Messung der Cortisolkonzentration

wurde mit einem Mikrotiterplattenleser (Infinite M200, Tecan) bei 450 nm durchgeführt.

Plasmaglukose: Die Bestimmung des Blutplasmaglukosespiegels der Zander erfolgte unter Verwendung eines enzymatisch-photometrischen Assays (Glucose GOD FS*, Lot: 60102014, Lot Standard: 60121074, DiaSys Diagnostic Systems GmbH). Das Blutplasma wurde im Verhältnis von 1:10 mit phosphat-gepufferter Salzlösung verdünnt. Die Absorption wurde gegen den Blindwert bei 500 nm in einem Mikrotiterplattenleser (Infinite M200, Tecan) bestimmt und die Ergebnisse anschließend in der Software MagellanTM (Tecan) ausgewertet.

Plasmaprotein: Die Bestimmung der Proteine wurde mit dem Assay Roti®-Quant universal (Reagenz 1: 0118.2; Reagenz 2: 0119.2) durchgeführt. Die Verdünnungsreihen des Standards wurden nach Herstellerangaben mit bovinem Serumalbumin ($\text{A1470}^{-10}\text{g}$, Lot: SLBT4238, Sigma Aldrich) angesetzt und das Blutplasma im Verhältnis von 1:40 mit phosphat-gepufferter Salzlösung verdünnt. Mit Hilfe eines Mikrotiterplattenleser (Infinite M200, Tecan) wurde die Proteinkonzentration bestimmt und die Ergebnisse in der Software MagellanTM (Tecan) ausgewertet.



Abbildung 3.10: Verwendetes Equipment zur Bestimmung des Hämatokritwertes (Zentrifuge, Schablone, Kapillare, Dichtmasse).

Osmolalität: Die Osmolalität (mOsmol kg^{-1}) des Blutplasmas der Zander wurde nach dem Messprinzip der Gefrierpunktniedrigung bestimmt (Gonotec GmbH, Osmomat 030-M). Pro Messung wurden $15 \mu\text{l}$ homogenisiertes Plasma blasenfrei in spezielle Reaktionsgefäße (Gonotec GmbH, Nr.: 30.9.0010) pipettiert.

Bestimmung von Plasmaionen: Für die Bestimmung des Anions Chlorid (Cl^-) erfolgte im ersten Schritt eine Proteinfällung nach einem für geringe Blutplasmavolumina angepassten Protokoll (vgl. BENZO u. a. 2002). Die Messung der Anionen erfolgte mittels Ionenchromatographie (IC Shi-

madzu) mit einem Leitfähigkeitsdetektor (CDD-10 A). Für die Kationenbestimmung von Natrium (Na^+) wurden die Plasmaproben zunächst mit deionisiertem Wasser 200fach verdünnt. Anschließend erfolgte die Analyse mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP OES) (Thermo Fischer, iCAP 6000 Duo). Bei der Messung wurden zwei Standards zur Kalibrierung verwendet (Standard I: Na^+ : 15 mg l^{-1} ; Standard II: Na^+ : 30 mg l^{-1}).

Statistische Auswertung: Die Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung des Versuches kann im Anhang dieser Arbeit gefunden werden.

3.4.2 Ergebnisse

Wasserparameter: Von Versuchstag 0 bis 36 wiesen die Wasserparameter der vier Versuchskreisläufe, mit Ausnahme der Werte für das Säurebindungsvermögen ($P = 0,020$) und der Leitfähigkeit ($P \leq 0,001$), keine signifikanten Unterschiede auf (Tabelle 3.4). Werden die Kreislaufanlagen mit 0 und 3 g NaCl l^{-1} separat über den gesamten Versuchszeitraum von 78 Tagen betrachtet, unterschieden sich lediglich die Leitfähigkeit der Anlagen signifikant voneinander ($P \leq 0,001$).

Die Messungen der Cyanid-Konzentrationen im Haltungswasser der Kreislaufanlagen mit einer Zugabe von 0, 3, 6 und 9 g NaCl l^{-1} waren alle unterhalb der Nachweisgrenze von $0,01 \text{ mg CN}^- \text{ l}^{-1}$.

Der Versuchskreislauf mit einer Zugabe von 12 g NaCl l^{-1} muss separat betrachtet werden. Der Wasserparameter Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) war mit $0,9 \text{ mg l}^{-1}$ im Vergleich zu den anderen Versuchsanlagen etwa doppelt so hoch. Zusätzlich wurden während des Versuches zu verschiedenen Zeitpunkten Beleuchtungsstärken von 5 – 10 Lux gemessen (Daten nicht dargestellt). Die Messungen erfolgten etwa 5 cm oberhalb des Wasserspiegels der verschiedenen Haltungseinrichtungen.

Wachstum und Futterverwertung der Zander: Die Tabelle 3.5 gibt einen Überblick über die Stückmassen (g) der Fische zu verschiedenen Zeitpunkten des Versuches. Zu Beginn (0 d) wiesen die Zander eine durchschnittliche Stückmasse von $31 \pm 5 \text{ g}$ auf. Das Versuchsende der fünf Gruppen fand zu

unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Der Versuchskreislauf mit 12 g NaCl l^{-1} wurde bereits nach acht Tagen aufgelöst, da Mortalitäten (95,6 %) sowie ausgeprägte makroskopische Veränderungen der Zander beobachtet wurden (Schuppenverluste, Flossenschäden). Zudem wurde ein durchschnittlicher Rückgang der Stückmasse um 4 g beobachtet. Da bis zu Tag 36 keine wesentliche Zunahme des Körpermasse der Zander in 6 und 9 g NaCl l^{-1} festgestellt werden konnte, ist der Versuch für diese beiden Gruppen ebenfalls vorzeitig beendet worden. In beiden Kreisläufen wurde eine Mortalität von 0,6 % festgestellt. Die Versuchsfische in den Kreisläufen mit 0 und 3 g NaCl l^{-1} wurden für insgesamt 78 d aufgezogen. Auf Basis der mittleren Stückmassen wurde bei den Zandern in 3 g NaCl l^{-1} am Ende des Versuches ein Wachstumsvorsprung von 8,3 % gegenüber der Kontrolle festgestellt. Dieser war jedoch nicht signifikant.

Tabelle 3.6 stellt die mittleren Futterquotienten (FQ) und spezifischen Wachstumsraten (SGR) der Zander in Abhängigkeit der NaCl -Konzentration und Zeit dar. Bis zum 36. Tag nahm bei steigender NaCl -Konzentration der FQ der Versuchsgruppen zu. Über den gesamten Versuchszeitraum war die Futterverwertung der Zander in 3 g NaCl l^{-1} besser als die der Kontrollgruppe. Für die Fische in 12 g NaCl l^{-1} ist ein negativer FQ festgestellt worden. Für die Kontrolle wurde ein durchschnittlicher SGR von $0,87 \text{ \% d}^{-1}$ bis zum Tag der Zwischenwägung

(0 d – 36 d) und von 0,55 % d⁻¹ bis zum Versuchsende (0 d – 78 d) realisiert. Für den Kreislauf mit 3 g NaCl l⁻¹ wurden ein SGR von 0,61 % d⁻¹ (0 d – 36 d) und 0,68 % d⁻¹ (0 d – 78 d) ermittelt. Bis zum Tag 36 war eine abnehmende spezifische Wachstumsrate

bei zunehmender NaCl-Konzentration festzustellen. Am Versuchsende waren die spezifischen Wachstumsraten der Zander in 3 g NaCl l⁻¹ höher als die der Kontrollgruppe.

Tabelle 3.4: Ermittelte Wasserwerte (MW ± SD) in den Kreislaufanlagen während des Versuches. Signifikante Unterschiede sind mit Buchstaben gekennzeichnet.

Parameter	Zeit(d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹	12 g NaCl l ⁻¹	Einheit
pH-Wert *	0-8	-	-	-	-	7,0 ± 0,4	-
	0-36	7,0 ± 0,2	7,0 ± 0,2	7,0 ± 0,2	7,0 ± 0,1	-	-
	0-78	7,0 ± 0,2	7,0 ± 0,1	-	-	-	-
Temperatur *	0-8	-	-	-	-	21,5 ± 0,2	-
	0-36	21,6 ± 0,2	21,6 ± 0,2	21,6 ± 0,2	21,6 ± 0,1	-	°C
	0-78	21,2 ± 0,5	21,2 ± 0,5	-	-	-	-
Sauerstoff *	0-8	-	-	-	-	7,7 ± 0,2	-
	0-36	7,5 ± 0,5	7,7 ± 0,4	7,8 ± 0,5	7,8 ± 0,5	-	mg l ⁻¹
	0-78	7,7 ± 0,4	7,8 ± 0,4	-	-	-	-
SBV	0-8	-	-	-	-	1,1 ± 0,3	-
	0-36	0,9 ± 0,2 ^{ab}	0,8 ± 0,1 ^a	1,0 ± 0,1 ^{ab}	1,0 ± 0,2 ^b	-	mmol l ⁻¹
	0-78	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	-	-	-	-
NH ₄ ⁺ -N	0-8	-	-	-	-	0,9 ± 0,3	-
	0-36	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	-	mg l ⁻¹
	0-78	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2	-	-	-	-
NO ₂ ⁻ -N	0-8	-	-	-	-	0,5 ± 0,2	-
	0-36	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,3	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	-	mg l ⁻¹
	0-78	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,2	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ -N	0-8	-	-	-	-	25 ± 9	-
	0-36	37 ± 6	38 ± 7	33 ± 9	30 ± 9	-	mg l ⁻¹
	0-78	44 ± 12	43 ± 10	-	-	-	-
Leitfähigkeit	0-8	-	-	-	-	19420 ± 1180	μS cm ⁻¹
	0-36	1891 ± 410 ^a	5861 ± 101 ^b	10874 ± 124 ^c	15483 ± 221 ^d	-	μS cm ⁻¹
	0-78	1673 ± 440 ^a	5854 ± 136 ^b	-	-	-	-
Trübung	0-8	-	-	-	-	4,0 ± 0,8	-
	0-36	3,5 ± 1,8	4,8 ± 3,6	7,0 ± 5,6	9,1 ± 7,1	-	FNU
	0-78	4,0 ± 1,6	3,7 ± 3,3	-	-	-	-
n	0-8	-	-	-	-	2 - 7	-
	0-36	9	9	9	9	-	-
	0-78	14	14	-	-	-	-

* n = 78 (0 und 3 g NaCl l⁻¹), n = 36 (6 und 9 g NaCl l⁻¹)

Gesundheitsindikatoren: Die Konditionsfaktoren der Zander variierten zu Beginn des Versuches zwischen 0,78 und 0,82 g cm⁻³ und unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 3.7). An Tag

36 wiesen die Fische in den Kreisläufen mit 0 und 3 g NaCl l⁻¹ einen signifikant höheren Konditionsfaktor auf als die Versuchsfische aus den Kreisläufen mit 6 und 9 g NaCl l⁻¹.

Tabelle 3.5: Stückmasse der Zander (MW ± SD) beim Besatz der Becken (0 d), bei der Zwischenwägung (36 d) und am Ende des Experimentes (8 d, 36 d bzw. 78 d). n = Summe der Zander aus den drei Haltungseinrichtungen jeder Kreislaufanlage. Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	n	3 g NaCl l ⁻¹	n	6 g NaCl l ⁻¹	n	9 g NaCl l ⁻¹	n	12 g NaCl l ⁻¹	n	p-Wert
0	31 ± 5 ^a	165	31 ± 5 ^a	165	30 ± 5 ^a	165	31 ± 5 ^a	165	31 ± 5 ^a	165	0,640
8	-	-	-	-	-	-	-	-	27 ± 5	86	-
36	43 ± 8 ^a	93	39 ± 8 ^b	93	32 ± 6 ^c	91	32 ± 6 ^c	93	-	-	≤0,001
78	48 ± 11 ^a	69	52 ± 12 ^a	69	-	-	-	-	-	-	0,060

Tabelle 3.6: Futterquotienten (FQ) und spezifische Wachstumsraten (SGR) der Versuchsgruppen (MW ± SD). Pro NaCl-Konzentration gilt n = 3. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Datenaufnahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹	12 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
FQ	8	-	-	-	-	-0,10±0,04	
(kg Futter kg Zuwachs ⁻¹)	36	1,59±0,07 ^a	2,41±0,30 ^b	10,57±0,28 ^c	24,98±2,64 ^d	-	0,016
	78	2,03±0,24	1,63±0,11	-	-	-	0,107
SGR	8	-	-	-	-	-1,55±0,31	
(% d ⁻¹)	36	0,87±0,05 ^a	0,61±0,13 ^b	0,24±0,03 ^c	0,15±0,07 ^c	-	≤0,001
	78	0,55±0,03	0,68±0,06	-	-	-	0,069

Tabelle 3.7: Konditionsfaktor (Kf) der Versuchsfische (MW ± SD) in Abhängigkeit von der NaCl-Zugabe. Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (n = 24; 8 d: 12 g NaCl l⁻¹ n = 7).

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹	12 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
Kf (g cm ⁻³)	1	0,80±0,07	0,80±0,09	0,79±0,07	0,78±0,06	0,82±0,09	0,520
	3	0,79±0,08	0,79±0,08	0,79±0,04	0,82±0,07	0,82±0,08	> 0,05
	8	0,78±0,05	0,78±0,06	0,80±0,07	0,79±0,06	0,81±0,07	> 0,05
	36	0,79±0,04 ^a	0,77±0,04 ^a	0,68±0,04 ^b	0,67±0,06 ^b	-	≤ 0,001
	78	0,74±0,03	0,72±0,05	-	-	-	> 0,05

Der hepatosomatische Index (HSI) der Zander ist in Tabelle 3.8 dargestellt. Am ersten Versuchstag variierte der HSI zwischen 1,10 und 1,25 %. Die Fische in 12 g NaCl l⁻¹ wiesen dabei den höchsten HSI auf. Am dritten Versuchstag nahm der HSI der Fische in 0, 3, 6 und 9 g NaCl l⁻¹ ab. Der HSI der Zander in 12 g NaCl l⁻¹ erhöhte sich deutlich. Am 8. Versuchstag unterschied sich der HSI der 12 g NaCl l⁻¹ Fische signifikant von den anderen Gruppen. Nach der 36-tägigen NaCl-Exposition blieb der HSI der Zander in 0, 3 und 6 g NaCl l⁻¹ unverändert. Allerdings erhöhte sich der HSI der 9 g NaCl l⁻¹ Gruppe deutlich. Am letzten Versuchstag war kein Unterschied zwischen dem HSI der Gruppen festzustellen.

Hämatologie: An insgesamt fünf Zeitpunkten während des Versuches (Tag 1, 3, 8, 36 und 78) wurde

den Zandern aus den fünf Kreislaufanlagen Blut abgenommen. Bei der Probengewinnung sind fälschlicherweise auch individuell markierte Zander für die Gewinnung hämatologischer Daten herangezogen worden. Da 14 Tage nach einer Markierung jedoch nicht mehr mit hämatologischen Veränderungen zu rechnen ist (ZAKĘŚ u. a. 2019), wurden auch die Blutproben der wenigen markierten Tiere berücksichtigt.

Das entnommene Blutvolumen der Fische wurde mit Hilfe der Skalierung auf den verwendeten Spritzen bestimmt. Die Blutvolumina korrelierten positiv mit den entsprechenden Stückmassen der Zander (Abbildung 3.11, $r = 0,585$; $P = 0,2 \cdot 10^{-7}$, $n = 481$). Im Durchschnitt konnten 0,38 ml Blut pro Fisch bzw. 11,3 ml kg⁻¹ gewonnen werden.

Tabelle 3.8: Hepatosomatischer Index (HSI) der Versuchsfische (MW ± SD) in Abhängigkeit der NaCl-Zugabe. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (n = 23 – 24; 8 d: 12 g NaCl l⁻¹ n = 7).

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	9 g NaCl l ⁻¹	12 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
HSI (%)	1	1,12±0,24	1,14±0,27	1,13±0,25	1,10±0,22	1,25±0,23	0,250
	3	0,99±0,20 ^a	0,93±0,24 ^a	1,07±0,23 ^a	0,99±0,18 ^a	1,36±0,16 ^b	≤ 0,001
	8	1,07±0,19 ^a	1,07±0,24 ^a	1,09±0,19 ^a	1,16±0,24 ^a	2,10±0,78 ^b	0,002
	36	1,07±0,15 ^a	1,05±0,22 ^a	1,14±0,13 ^a	1,52±0,54 ^b	-	≤ 0,001
	78	1,09±0,23	1,09±0,23	-	-	-	0,980

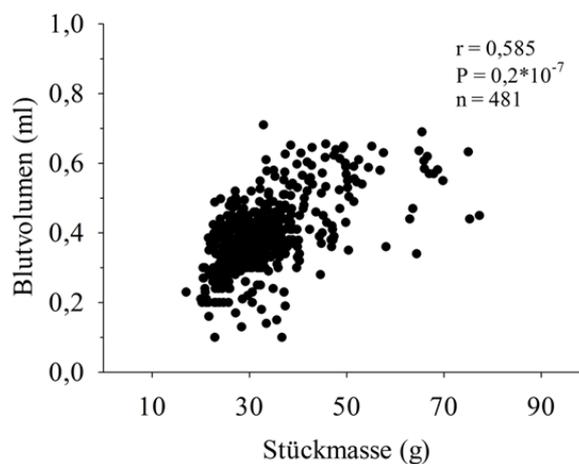


Abbildung 3.11: Korrelation der Stückmasse (g) und des extrahierten Blutvolumens (ml) der Zander.

Hämatokritbestimmung: Die Ergebnisse der Hämatokritbestimmung sind in Abbildung 3.12 dargestellt. Der durchschnittliche Hämatokritwert der Kontrollgruppe variierte über den gesamten Versuchszeitraum zwischen 29 und 34 %. Bereits nach 24-stündiger NaCl-Exposition wurden signifikante Unterschiede gegenüber der Kontrollgruppe bei NaCl-Konzentrationen von $> 6 \text{ g l}^{-1}$ festgestellt. Der

niedrigste Hämatokritwert (22 %) wurde am Tag 8 in der 12 g l^{-1} Versuchsgruppe beobachtet. Im mittelfristigen Trend (36 d) nahm der Hämatokritwert mit zunehmender NaCl-Konzentration ab. Zwischen den Versuchsgruppen 0 und 3 g NaCl l^{-1} bestand, mit Ausnahme des 4. Probenahmetages, kein signifikanter Unterschied.

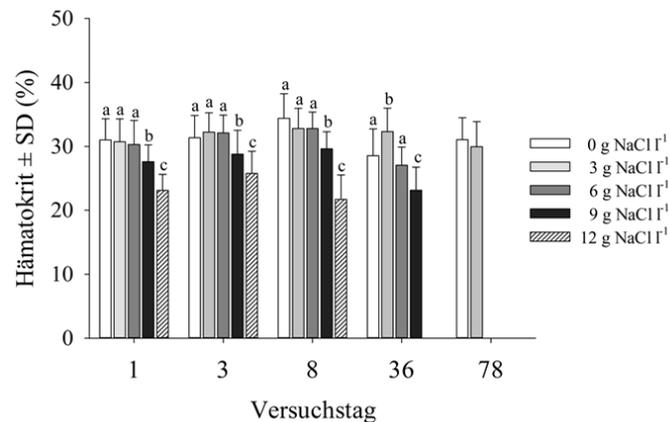


Abbildung 3.12: Hämatokritwert (%) des Blutes von Zandern (MW \pm SD) aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (n = 23 – 24; 1d: 9 g NaCl l^{-1} n = 16; 8 d: 12 g NaCl l^{-1} n = 7).

Plasmacortisol: In Abbildung 3.13 sind die ermittelten Cortisolkonzentrationen der Zander dargestellt. Auffallend war die an Tag 1 signifikant niedrigere Cortisolkonzentration der Zander, die in 3 g NaCl l⁻¹ gehalten wurden (P = 0,002). Im mittelfristigen Trend (Tag 36) waren keine signifikanten

Unterschiede zwischen den vier verbliebenen Versuchsgruppen festzustellen (P = 0,111). Langfristig (78 d) sind die mittleren Cortisolkonzentrationen der verbliebenen zwei Versuchsgruppen nahezu identisch (P = 0,751).

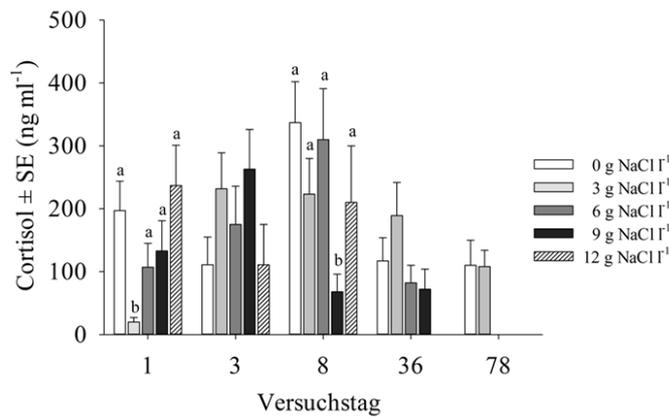


Abbildung 3.13: Cortisolkonzentrationen (MW ± SE) im Blutplasma von Zandern aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (n = 12; 8 d: 12 g NaCl⁻¹ n = 7).

Glukose: Die Ergebnisse der Blutplasma-Glukosebestimmungen sind in Abbildung 3.14 dargestellt. Während an Tag 1 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen bestanden ($P = 0,569$), traten an den Tagen 3 ($P = 0,036$) und 8 ($P < 0,001$) signifikante Unterschiede auf. Bei den Zandern in der KLA mit 12 g NaCl l^{-1} nahm die Glukosekonzentration innerhalb der acht Versuchstage ab. Ein ähnlicher Trend war mittelfristig

(36. Tag, $P = 0,009$) für die Versuchszander in den NaCl -Konzentrationen 6 und 9 g l^{-1} zu erkennen. Langfristig waren keine signifikanten Unterschiede der Plasmaglukosekonzentration zwischen den Versuchsgruppen mit 0 und 3 g NaCl l^{-1} vorhanden ($P = 0,214$). Die mittlere Konzentration der Fische in 3 g NaCl l^{-1} war im Mittel höher als die der Kontrolle.

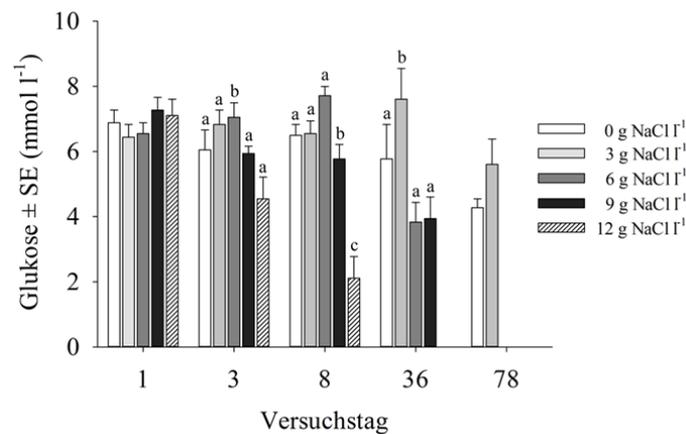


Abbildung 3.14: Glukosekonzentrationen (MW ± SE) im Blutplasma von Zandern aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl -Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet ($n = 12$; 8 d: 12 g NaCl l^{-1} $n = 7$).

Plasmaproteine: Die Konzentration der Proteine \pm SE (g l^{-1}) im Blutplasma der Zander ist in Abbildung 3.15 dargestellt. An den ersten beiden Probenahmetagen bestanden keine Unterschiede zwischen den fünf Versuchsgruppen vorhanden ($P = 0,172$; $P = 0,319$). Am achten Tag traten signifikante Unterschiede auf. Während keine Unterschiede der Proteinkonzentrationen der Fische in den NaCl-

Konzentrationen von 0, 3 und 6 g l^{-1} vorhanden waren, war die Konzentration in der 9 g NaCl l^{-1} Gruppe signifikant erhöht und die Konzentration der Plasmaproteine in der 12 g NaCl l^{-1} Versuchsgruppe signifikant reduziert ($P = 0,010$). Im langfristigen Trend waren die mittleren Proteinkonzentrationen der verbliebenen Versuchsgruppen nahezu identisch ($P = 0,910$).

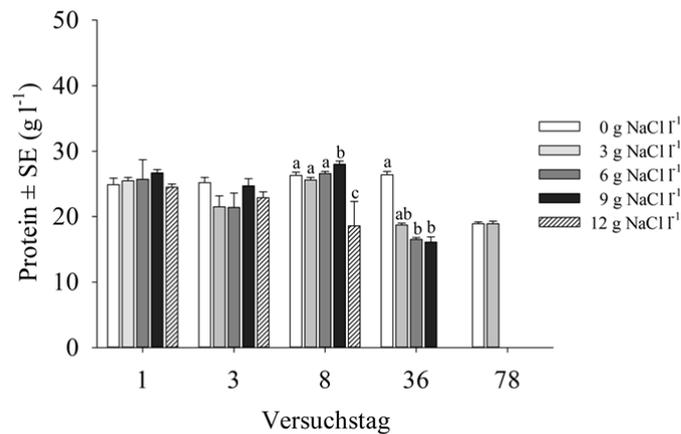


Abbildung 3.15: Proteinkonzentrationen (MW \pm SE) im Blutplasma von Zandern aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (n = 12; 8 d: 12 g NaCl l^{-1} n = 7).

Osmolalität: In Abbildung 3.16 sind die Ergebnisse der Bestimmung der Osmolalität des Blutplasmas dargestellt. An Tag 1 und 3 war die Osmolalität der mit 12 g NaCl l⁻¹ exponierten Zander signifikant höher als die der anderen vier Versuchsgruppen (P < 0,001). Am achten Versuchstag bestanden keine signifikanten Unterschiede mehr (P = 0,976), jedoch war die Osmolalität bei den Zandern in 12 g

NaCl l⁻¹ weiterhin am höchsten. Mittelfristig bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (P < 0,001), die jedoch keinem Muster folgten. An Tag 78 des Versuches war die Osmolalität der Kontrolle (289 mOsmol kg⁻¹) signifikant niedriger als die der Fische in 3 g NaCl l⁻¹ (296 mOsmol kg⁻¹) (P = 0,025).

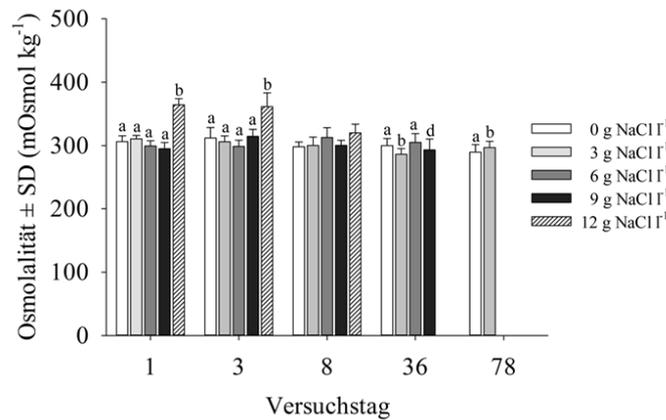


Abbildung 3.16: Osmolalität (MW ± SD) des Blutplasmas von Zandern aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (1 d: n = 14 – 15; 3 d: n = 5 – 18; 8 d: n = 3 – 24; 36 d: n = 21 – 24; 78 d: n = 24).

Plasmaionen: Die Ergebnisse der Natriumbestimmung sind in Abbildung 3.17 dargestellt. Natrium variierte an den Tagen 1, 3 und 8 im Mittel zwischen 156 – 165 mOsmol l⁻¹ (0 – 9 g NaCl l⁻¹) und 166 – 202 mOsmol l⁻¹ (12 g NaCl l⁻¹). Während der ersten drei Beprobungen hatten die Fische in der Expositions-

gruppe mit 12 g NaCl l⁻¹ signifikant mehr Natrium im Blut als die Fische aus den anderen vier Versuchsgruppen (1, 3 d: P < 0,001; 8 d: P = 0,008). Mittel- und langfristig bestanden keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (36 d: P = 0,097; 78 d: P = 0,268).

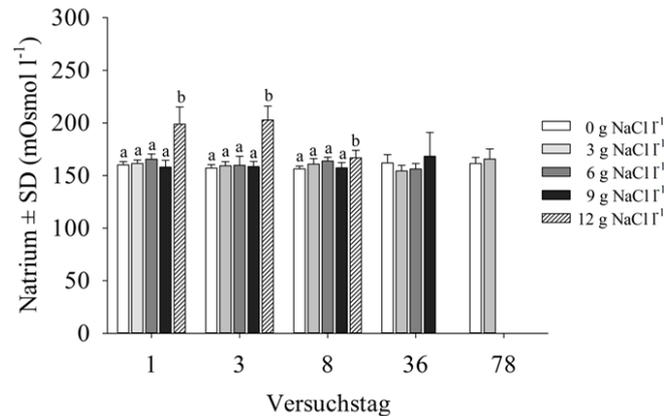


Abbildung 3.17: Natrium im Blutplasma von Zandern (MW ± SD, in mOsmol l⁻¹) aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (1 d: n = 8 – 9; 3 d: n = 3 – 9; 8 d: n = 3 – 9; 36 d: n = 9; 78 d: n = 9).

In Abbildung 3.18 sind die Ergebnisse der Chloridbestimmung dargestellt. In der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹) variierte Chlorid während des gesamten Versuches im Mittel zwischen 99 und 110 mOsmol l⁻¹ und war zu jedem Zeitpunkt geringer als in den anderen Versuchsgruppen. An den Probenahmetagen 1 und 3 nahm das Plasmachlorid im Fischblut mit steigender NaCl-Konzentration zu. Während der ersten drei Probenahmetage war der Anteil an Chlorid in den Expositionsgruppen bis einschließlich 9 g NaCl l⁻¹ relativ stabil. Allerdings

war Chlorid im Blutplasma der Expositionsgruppe mit 12 g NaCl l⁻¹ an diesen Probenahmetagen signifikant erhöht (1 d, 3 d: P < 0,001; 8 d: P = 0,002). Mit Ausnahme der 6 g NaCl l⁻¹ Expositionsgruppe nahm der Anteil an Chlorid im Fischblut mittelfristig (36 d) zu und variierte dabei im Mittel zwischen 99 (0 g NaCl l⁻¹) und 119 mOsmol l⁻¹ (9 g NaCl l⁻¹). Langfristig war der Anteil an Chlorid in den verbliebenen zwei Versuchsgruppen nahezu identisch (0 g NaCl l⁻¹: 110 mOsmol l⁻¹; 3 g NaCl l⁻¹: 112 mOsmol l⁻¹; P = 0,535).

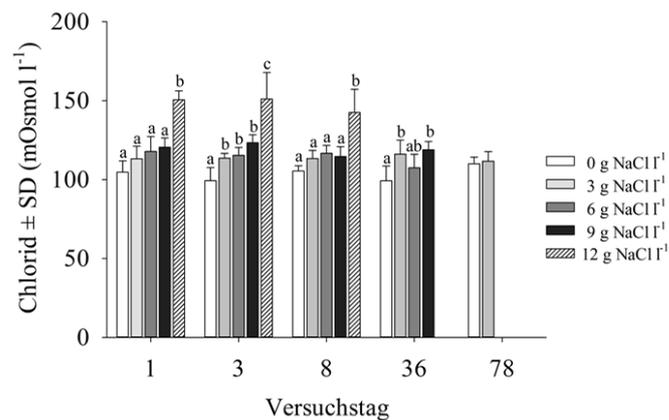


Abbildung 3.18: Chlorid im Blutplasma von Zandern (MW ± SD, in mOsmol l⁻¹) aus Kreislaufanlagen mit verschiedenen NaCl-Zugaben während eines 78-tägigen Versuches. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet (1 d: n = 8 – 9; 3 d: n = 3 – 9; 8 d: n = 3 – 9; 36 d: n = 9; 78 d: n = 9).

3.4.3 Diskussion

Wasserparameter: Die Wasserparameter in den Versuchskreislaufanlagen waren im Versuchszeitraum von Tag 0 bis 36 bzw. Tag 0 bis 78 nahezu identisch. Lediglich die NaCl-induzierte Leitfähigkeit des Wassers sowie im ersten Versuchsabschnitt das Säurebindungsvermögen unterschieden sich voneinander. Die Unterschiede des Säurebindungsvermögens lassen sich auf die Zugabe des Speise-Siedesalzes und dessen Additiv E500 zurückführen. E500 ist mit dem Überbegriff „Natriumcarbonate“ als zugelassener Lebensmittelzusatzstoff gelistet (ZZuV 2017). Natriumcarbonate haben die Eigenschaft, die Alkalinität und damit das

Säurebindungsvermögen eines Wassers zu erhöhen. E535 (Natriumferrocyanid, Na₄[Fe(CN)₆]) tritt als weiterer Zusatzstoff des verwendeten Kochsalzes auf. Natriumferrocyanid ist ein stabiler Komplex, der eine geringe bis sehr geringe Toxizität für Fische aufweist (SVOBODOVÁ u. a. 1993), jedoch potenziell unter Lichteinwirkung (< 420 nm Wellenlänge) zerfallen kann (YOUNG u. JORDAN 1995) und dann toxisch für Fische wäre (NOGA 2010). Die ermittelten Cyanid-Konzentrationen waren alle unterhalb der methodischen Nachweisgrenze (0,01 mg CN l⁻¹), und damit auch unterhalb der für Fische toxischen Cyanid-Konzentrationen von ≥ 0,03 mg l⁻¹

(SVOBODOVÁ u. a. 1993). Bei der Verwendung des Speise-Siedesalzes unter den gegebenen Versuchsbedingungen sind keine auf Cyanid zurückzuführenden Effekte zu erwarten.

In der Anlage mit 12 g NaCl l⁻¹ konnten, neben der NaCl-Applikation, keine der ermittelten Wasserparameter ausgemacht werden, die für die geringe Überlebensrate der Zander hätten verantwortlich gemacht werden können.

Wachstum und Futterverwertung der Zander: Die Haltung von juvenilen Zandern in geschlossenen Kreislaufanlagen mit einer kontinuierlichen Aufrechterhaltung einer NaCl-Konzentration von 3 g l⁻¹ ist möglich. Im Vergleich zur Süßwasserkontrolle erreichten die Zander dieser Gruppe höhere mittlere Durchschnittsstückmassen und eine bessere Futterverwertung und dies, obwohl die Zander nach 36 Versuchstagen, im Vergleich zur Kontrolle, noch deutliche Defizite aufwiesen. Anhand der Ergebnisse lassen sich zudem zwei wichtige Erkenntnisse ableiten.

Zum einen resultiert die Applikation von geringen NaCl-Konzentrationen in einem verbesserten Wachstum und einer verbesserten Futterverwertung juveniler Zander. Ähnliche Beobachtungen wurden mit Barschen (*Perca fluviatilis*) gemacht. In einem dreiwöchigen Laborversuch mit Wassertemperaturen von 16 – 25 °C resultierte eine Haltung in 5 g l⁻¹ Salinität in einem verbesserten Wachstum der Tiere als in 0 und 2 g l⁻¹ (LOŽYS 2004). Ebenso wiesen Australische Grunzbarsche (*Bidyanus bidyanus*) unter einer Salinität von 4 g l⁻¹ ein erhöhtes Wachstum und eine verbesserte Futterverwertung auf als ihre Artgenossen in 0, 8 und 12 g l⁻¹ (KIBRIA u. a. 1999). Mit Blick auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstreichen diese Beobachtungen den positiven Effekt einer leicht aufgesalzten Haltungsumwelt auch für Zander. Legt man zudem einige der von HUNTINGFORD u. a. (2006) gelisteten Anzeichen für Tierwohl zugrunde, können das durch die leicht erhöhte NaCl-Konzentration resultierende gesteigerte Wachstum und die verbesserte Futterverwertung der Zander in 3 g NaCl l⁻¹ als Anzeichen für eine Verbesserung des Tierwohls herangezogen werden. Denn eine Verschlechterung dieser Parameter, wie

bei den Fischen in 6, 9 und 12 g NaCl l⁻¹ beobachtet, spiegelt im Gegensatz dazu eine Beeinträchtigung des Tierwohls wider.

Zum anderen deuten die Ergebnisse daraufhin, dass die Notwendigkeit einer Adaptationsphase besteht, denn die Zander in der 3 g NaCl l⁻¹ Gruppe wiesen an Tag 36 des Versuches noch signifikant geringere Stückmassen auf als die Fische in der Kontrolle. Die Notwendigkeit einer Adaptationsphase an saline Umwelten lässt sich auch aus den Wachstumsdaten einer anderen Studie mit Perciden ableiten. Bei in Kreislaufanlagen gehaltenen Barschen (*Perca fluviatilis*) wurde innerhalb der ersten 42 Versuchstage bei ansteigender Salinität (0, 4, 8, 10 ‰) eine stufenweise Abnahme der spezifischen Wachstumsraten um bis zu 33 % gegenüber der Kontrolle deutlich. Mit zunehmender Dauer des Versuches und größeren Abständen zwischen dem Handling der Fische glichen sich die Wachstumsraten der Versuchsgruppen jedoch wieder an und unterschieden sich letztendlich nicht mehr (OVERTON u. a. 2008). Folglich muss bei der Gewinnung biologischer Daten eine potenzielle Adaptationsphase berücksichtigt werden, damit keine verfrühten Rückschlüsse zum Wachstum in salinen Haltungsumwelten gezogen werden. Für juvenile Zander sollte bei wiederholtem Handling vorerst von einer Adaptationsphase von mindestens 36 Tagen ausgegangen werden.

Der allgemein anerkannten Theorie folgend, resultiert eine Haltung von Fischen nahe des isosmotischen Punktes in einem gesteigerten Wachstum, da der Energiebedarf für die Aufrechterhaltung des Wasser- und Ionenhaushaltes reduziert ist (BOEUF u. PAYAN 2001). Isoosmotische Verhältnisse würden einer Salzkonzentration von rund 9 g l⁻¹ entsprechen (KÜLTZ 2015). Eine 36-tägige Exposition mit NaCl-Konzentrationen von 6 und 9 g l⁻¹ führte jedoch zu einer reduzierten Kondition, einer verschlechterten Futterverwertung sowie einer ausgeprägten Wachstumsdepression. Eine so deutliche Veränderung auf der Ebene des gesamten Organismus ist ein klassischer Indikator für eine tertiäre Stressantwort (BARTON u. IWAMA 1991, IWAMA 1998). Denn wenn ein Fisch nicht in der Lage ist, sich

an einen Stressor zu adaptieren, wird die zur Verfügung stehende Energie nicht mehr für anabole Prozesse verwendet, sondern zur Deckung des durch den Stressor bedingten erhöhten Energiebedarfes (IWAMA 1998). Für Zander ähnlicher Stückmassen liegen derzeit keine weiteren Studien für einen direkten Vergleich der gewonnenen Erkenntnisse vor (vgl. DALSGAARD u. a. 2013). Ein reduziertes Wachstum unter dem Einfluss von im Wasser gelösten Salzen wurde jedoch für verschiedene Süßwasserfische beobachtet (LUZ u. a. 2008, MATTIOLI u. a. 2017, NGUYEN u. a. 2014, WANG u. a. 1997). Im Speziellen haben OVERTON u. a. (2008) für in KLA aufgezogene Barsche (*Perca fluviatilis*) die Beobachtung gemacht, dass eine 130-tägige Exposition der Tiere mit 10 ‰ in einer 50%igen Reduktion des Wachstums resultierte. Generell nahm das Wachstum der Barsche mit steigender Salzkonzentration in der Haltungsumwelt ab, blieb aber, im Gegensatz zu den juvenilen Zandern, nicht aus. Die Zander reagierten demnach unter den gegebenen Umweltbedingungen sehr empfindlich auf die kontinuierliche Exposition mit NaCl-Konzentrationen $\geq 6 \text{ g NaCl l}^{-1}$. Der Theorie, der zufolge eine Wachstumssteigerung durch den Einsatz von NaCl-Konzentrationen, die dem isoosmotischen Punkt ähnlich sind, erzielt werden kann, muss deshalb für juvenile Zander widersprochen werden. Ob hingegen durch die Verwendung komplexerer und damit deutlich kostenintensiverer Salzmischungen, bestehend aus einer Vielzahl von Ionen wie z. B. NaCl, Calciumchlorid (CaCl_2), Natriumsulfat (Na_2SO_4), Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3), Kaliumchlorid (KCl), Magnesiumsulfat (MgSO_4), Kaliumphosphat (K_3PO_4) oder sonstigen Meersalzmischungen (GREENWELL u. a. 2003), andere Ergebnisse unter ähnlichen osmotischen Konzentrationen zu erwarten wären, sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Sehr wahrscheinlich müssen bei der Betrachtung des isoosmotischen Punktes neben den Hauptionen Chlorid und Natrium weitere Ionen berücksichtigt werden.

Während bei den Fischen in 6 und 9 g NaCl l⁻¹ das Wachstum ausblieb, war eine Exposition mit 12 g NaCl l⁻¹ für die juvenilen Zander toxisch. Die

Applikation dieser Konzentration resultierte innerhalb von acht Versuchstagen in Stückmasseverlusten (12 – 13 %) sowie in einer hohen Mortalität (96 %). Gewichtsverluste in ähnlicher Größenordnung wurden auch für Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*) im Anschluss an sich ändernde osmotische Bedingungen beschrieben. Nach einer 30-stündigen Exposition mit ähnlichen Salzkonzentrationen (12 – 14 ‰) wurden bei den Graskarpfen mittlere Stückmasseverluste von bis zu 11,3 % festgestellt, die auf eine Dehydration von Gewebe zurückgeführt werden konnten (MACEINA u. SHIREMAN 1979). Im Gegensatz zum vorliegenden Versuch wurden von MACEINA u. SHIREMAN (1979) innerhalb der 96 Stunden allerdings keine Abgänge beobachtet. Da aber auch die Zander erst ab dem 6. Versuchstag moribund waren, deutet dies darauf hin, dass selbst nicht optimale NaCl-Konzentrationen für einen begrenzten Zeitraum toleriert werden können. Dieser Umstand könnte im absoluten Notfall bei einem Befall mit Ektoparasiten dennoch nützlich sein. Generell sind die Stückmasseverluste und hohen Mortalitätsraten jedoch deutliche Indizien dafür, dass diese NaCl-Konzentration in KLA nicht anzuwenden ist.

Generell ist anzumerken, dass das Wachstum und die Futterwertung der Kontrolle sowie aller anderen Expositionsgruppen auf einem niedrigen Niveau stattfanden, was jedoch auch in anderen Versuchen mit juvenilen Zandern berichtet wurde (HOPKO u. a. 2010, ROŻYŃSKI u. a. 2017, ZAKĘŚ u. HOPKO 2013). Das von MÜLLER-BELECKE u. ZIERNERT (mdl. Mitt.) entwickelte Protokoll für die Zanderfütterung in großvolumigeren KLA sieht für die verwendeten Fische eine Futterwertung von etwa 0,8 – 1,0 kg Futter kg Zuwachs⁻¹ und spezifische Wachstumsraten von bis zu 3,2 % d⁻¹ vor. Es wird vermutet, dass zusätzlich zur generellen Sensibilität dieser Spezies hinsichtlich ihrer Futteraufnahme und des Wachstums das wiederholte Handling der Fische im Rahmen von Probenahmen deren Performance reduziert hat. Ebenso war möglicherweise die Dimensionierung der Becken (Wasserstandshöhe zu Beckenbreite) nicht optimal für die Haltung größerer Gruppen juveniler Zander. Erst

nach der Umstellung auf ein restriktiveres Fütterungsregime, einer erneuten Reduktion der Individuenzahl sowie 41 Tage ohne ein Handling der Fische verbesserte sich im zweiten Versuchsabschnitt u. a. die Futtermittelverwertung der verbliebenen Gruppen.

Gesundheitsindikatoren: Bei der Aufzucht der Zander unter verschiedenen NaCl-Konzentrationen wurden Veränderungen des Konditionsfaktors und des hepatosomatischen Index festgestellt. Während sich die Kondition aller Gruppen innerhalb der ersten acht Versuchstage zunächst nicht voneinander unterschieden, war nach 36 Tagen die Kondition der Zander in 6 und 9 g NaCl l⁻¹ gegenüber der Kontrolle und den Fischen in 3 g NaCl l⁻¹ signifikant reduziert. Mit Werten von 0,67 – 0,68 g cm⁻³ kann die Kondition der Fische als gering eingestuft werden (vgl. STEINBERG u. a. 2017, ZIMMERMANN u. a. 2019). Der Rückgang der Kondition deutet an, dass sich die Fische trotz der bestands- und biomassebezogenen Fütterung unter 6 und 9 g NaCl l⁻¹ nicht ausreichend entwickeln konnten. Dies wurde insbesondere durch das ausbleibende Stückmassenwachstum, aber auch durch die deutlich verschlechterte Futtermittelverwertung sichtbar. Da die Kondition von Fischen mit deren Energiestatus korreliert (CHELLAPPA u. a. 1995), weist die verringerte Kondition der Fische zudem auf die erhöhten Energiekosten bei einer kontinuierlichen Aufzucht unter suboptimalen NaCl-Konzentrationen hin. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Fische nicht nur keine Stückmassenzunahmen aufwiesen, sondern auch auf die vorhandenen Energiereserven zurückgreifen mussten.

Die Leber gilt als die Hauptquelle für energetische Metabolite, die im Rahmen der Osmoregulation in den verschiedenen hieran beteiligten Organen benötigt werden (TSENG u. HWANG 2008). Veränderungen des hepatosomatischen Index (HSI) können daher zur Abschätzung des Energiestatus von Fischen herangezogen werden (CHELLAPPA u. a. 1995). Der Anstieg des HSI bei den Zandern in 12, aber auch 9 g NaCl l⁻¹ deutet auf Veränderungen dieses Organs unter dem Einfluss von NaCl hin. Für Goldfische (*Carassius auratus*) ist bei zunehmender

Salzkonzentration (0 – 10 ‰) bspw. ein Rückgang der Lipid- und Glykogenkonzentrationen in der Leber beobachtet worden (LUZ u. a. 2008). Demnach wird die Exposition der Zander mit hohen NaCl-Konzentrationen deren Energiestatus und Metabolismus verändert haben. Die gleichzeitige Abnahme der Plasmaglukose im Blut der Zander in 12 g NaCl l⁻¹ deutet dies ebenfalls an. Im Gegensatz dazu kann bei der Haltung juveniler Zander in NaCl-Konzentrationen von bis zu 3 g l⁻¹ von keiner über den HSI abbildbaren Beeinträchtigung ausgegangen werden.

Hämatologie: Die entnommenen Blutvolumina der Zander korrelierten positiv mit den jeweiligen Stückmassen der Versuchstiere. Unter der Annahme, dass das Blutvolumen eines Fisches rund 5 % seiner Stückmasse ausmacht (GALLAUGHER u. FARRELL 1998), konnten bei den juvenilen Zandern durchschnittlich etwas mehr als 20 % des Blutvolumens durch die Punktion der Caudalvene entnommen werden. Mit Hilfe des gewonnenen Blutes wurden anhand verschiedener Parameter die physiologischen Effekte einer mit NaCl aufgesalzene Haltungsumwelt auf juvenile Zander untersucht.

Hämatokritbestimmung: Die Bestimmung des Anteils roter Blutkörperchen am Blutvolumen (Hämatokritwert) ist ein häufig verwendeter Parameter zur Abschätzung von Stress bei Fischen. Bei der Exposition von Süßwasserfischen mit Salzen kann es bei Veränderungen der Salzkonzentrationen im aquatischen Milieu zu Abweichungen des Hämatokritanteils kommen. Innerhalb der ersten 24 Stunden wird aufgrund des osmotischen Wasserverlustes und der damit bedingten Reduzierung des Blutplasmas bei Zandern eine Zunahme des Hämatokritwertes beobachtet (BROWN u. a. 2001). Solange die neuen Salzkonzentrationen physiologisch toleriert werden, nimmt der Anteil des Hämatokrits hiernach wieder auf das Ausgangsniveau ab (BROWN u. a. 2001). Um einen solchen Effekt abzubilden zu können, hätten die ersten Probenahmen jedoch früher durchgeführt werden müssen. Für die juvenilen Zander wurden dennoch bereits nach einer 24-stündigen Exposition mit der jeweiligen Zielkonzentration von > 6 g NaCl l⁻¹ um bis zu 26 %

reduzierte Hämatokritwerte festgestellt. Dies stellt eine sehr deutliche physiologische Reaktion auf die Exposition mit NaCl dar, die in unterschiedlich starken Ausprägungen auch bei anderen Fischen auftritt. So reduzierten sich die Hämatokritwerte von Bachsaiblingen (*Salvelinus fontinalis*) bei 10 ‰ lediglich um 4 % (DIOUF u. a. 2000), die gleiche Salinität führte beim Karpfen (*Cyprinus carpio*) jedoch zu einer Reduktion des Hämatokritwertes von bis zu 65 % (DE BOECK u. a. 2000). Da auch im weiteren Versuchsverlauf keine Zunahme der Hämatokritwerte, insbesondere in den Gruppen mit 9 und 12 g NaCl l⁻¹, feststellbar war, kann davon ausgegangen werden, dass juvenile Zander NaCl-Konzentrationen oberhalb von 6 g l⁻¹ nur eingeschränkt tolerieren. Als Ursache für den bis zu 35%igen Rückgang des Hämatokritwertes sind Dehydrationsprozesse der roten Blutkörperchen anzunehmen, die unter länger andauernden, ungünstigen osmotischen Verhältnissen bei Süßwasserfischen beobachtet werden (BATH u. EDDY 1979, MALAKPOUR KOLBADINEZHAD u. a. 2012).

Die mittleren Hämatokritwerte (30 – 34 %) der Versuchsgruppen in 0 und 3 g NaCl l⁻¹ decken sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen mit Zandern (LUCHIARI u. a. 2009, SIWICKI u. a. 2003, STEINBERG u. a. 2017) und auch explizit solchen, die im Zuge von Expositionsversuchen in salinen Umwelten erhoben wurden (AHMADNEZHAD u. a. 2014, BROWN u. a. 2001). Effekte einer leicht salinen Umwelt (3 g NaCl l⁻¹) waren im Vergleich zur Süßwasserkontrolle nur einmalig am 36. Versuchstag festzustellen. Die langfristige Applikation geringer NaCl-Konzentrationen hatte keine Effekte auf die Hämatokritwerte der Fische.

Plasmacortisol: Cortisol hat sich als ein zuverlässiger Indikator für akuten Stress bei Fischen erwiesen (SADOUL u. GEFFROY 2019). Die Ausschüttung von Cortisol ist eine primäre Reaktion auf einen Stressor, die innerhalb weniger Minuten stattfindet. Unter Belastungssituationen ist Cortisol für die Mobilisierung von Energieträgern verantwortlich, um dem erhöhten Energiebedarf des Organismus gerecht zu werden (MOMMSEN u. a. 1999). Auch unter anhaltenden, chronischen Stresssituationen

werden erhöhte Cortisoltitere bei Fischen beobachtet, dann allerdings unterhalb akuter Spitzenwerte (WENDELAAR BONGA 1997). Zusätzlich spielt Cortisol eine Rolle bei der Anpassung an neue osmotische Verhältnisse (MOMMSEN u. a. 1999, MCCORMICK 2001).

Um Rückschlüsse auf das Stresslevel von juvenilen Zandern unter verschiedenen NaCl-Konzentrationen ziehen zu können, wurden die Cortisolkonzentrationen im Blutplasma der Fische zu verschiedenen Versuchszeitpunkten bestimmt. Die mittleren Cortisolkonzentrationen schwankten über alle Tage und Gruppen zwischen 20 und 337 ng ml⁻¹. Die Cortisolkonzentrationen einzelner Fische variierten dabei zwischen Werten des Ruhe- und Stresslevels (BARTON u. a. 2003, BARTON u. ZITZOW 1995, FALAHATKAR u. a. 2012, FORSBERG u. a. 2001). Insbesondere die individuellen Werte einzelner Tiere derselben Versuchsgruppe unterschieden sich z. T. deutlich voneinander. Die endokrine Antwort von Zandern auf Stress ist demnach ein individueller Parameter (WENDELAAR BONGA 1997), und insbesondere Zander weisen eine hohe Amplitude auf (BARTON u. ZITZOW 1995, LUCHIARI u. a. 2009). Unabhängig davon lassen sich aus den Ergebnissen relevante Erkenntnisse für die Haltung von Zandern unter Brackwasserbedingungen in KLA ableiten.

Zunächst wurden 24 Stunden nach der Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ ein um rund 90 % geringerer Cortisolspiegel der Zander gegenüber dem der Kontrolle festgestellt. Dies deutet auf ein deutlich geringeres Stresslevel der Fische dieser Versuchsgruppe hin. Ein ähnlich positiver Effekt wurde auch bei Amerikanischen Zandern (*Sander vitreus*) beobachtet, die im Anschluss an einen 30-sekündigen Handlingsstressor in mit 5 g NaCl l⁻¹ angereichertem Wasser gehältert wurden. Im Vergleich zur Süßwasserkontrolle (keine NaCl-Zugabe) war bereits drei Stunden nach der Einwirkung des Stressors eine um rund 65 – 70 % niedrigere Cortisolkonzentration feststellbar, die zudem auch nach weiteren 23 Stunden fortbestand. Auf Grundlage der Messung der Osmolalität des Blutplasmas verloren die sich in NaCl-haltigem Wasser erholenden Zander weniger Ionen an die Umwelt und wiesen deshalb ein

geringes Stresslevel auf als die sich in Süßwasser erholenden Artgenossen (BARTON u. ZITZOW 1995). Durch die Aufsalzung der Haltungsumwelt mittels NaCl können folglich osmotische Imbalancen von Zandern abgemildert und damit Stress reduziert werden. Auf Grundlage der Ergebnisse ist der Einsatz von 3 g NaCl l⁻¹ im Anschluss an Sortiervorgänge empfehlenswert.

Mit Blick auf den weiteren Versuchsverlauf und unabhängig vom jeweiligen Versuchsende weisen die weitestgehend unveränderten Cortisolspiegel zudem darauf hin, dass die stufenweise Erhöhung der NaCl-Konzentration auf bis zu 12 g l⁻¹ keinen über Cortisol abbildbaren Stress erzeugte, da ansonsten sekundäre Stressreaktionen, wie z. B. ein deutlicher Anstieg der Glukosekonzentrationen im Blut der Fische, hätten festgestellt werden müssen (BARTON u. IWAMA 1991, IWAMA 1998). In einer Studie von BROWN u. a. (2001) resultierte der abrupte Transfer von Zandern in 16 g l⁻¹ neben einer Verdoppelung des Cortisolspiegels in einer Vervierfachung der Plasmaglukosekonzentration, was im Vergleich mit diesem Versuch ganz deutlich auf eine primäre und sekundäre Stressreaktion nach der Einwirkung von Salz hinweist.

Für die vorliegende Studie deuten die Ergebnisse sowohl auf das Vorhandensein einer gewissen Toleranz juveniler Zander gegenüber NaCl hin als auch darauf, dass das Protokoll der stufenweisen Aufsalzung im Sinne des Tierwohls als positiv zu bewerten ist. Da ferner auch beim kontinuierlichen Einsatz von 3 g NaCl l⁻¹ keine negativen Effekte auf den Cortisolspiegel und damit auf die Stressphysiologie juveniler Zander festgestellt werden konnten kann NaCl in dieser Konzentration bei der Aufzucht juveniler Zander zur Anwendung kommen.

Plasmametabolite: Plasmaglukosekonzentrationen können sowohl durch osmotische Herausforderungen als auch durch Einwirkung von Stress verändert werden. Während eine Zunahme hierbei auf eine sekundäre Stressreaktion hinweist, da der Organismus kurzfristig mehr Energie benötigt (BARTON u. IWAMA 1991, IWAMA 1998), werden bei unter physiologisch nicht optimalen Salzkonzentrationen gehaltenen Fischen Reduktionen der Glu-

kosekonzentrationen beobachtet (ARJONA u. a. 2009). Der ausbleibende Anstieg der Glukosekonzentration weist demnach darauf hin, dass die Aufsalzung und Haltung unter NaCl-Konzentrationen mit bis zu 12 g NaCl l⁻¹ keinen Stress bei den Zandern ausgelöst hat und das Aufsalzungsprotokoll in der Praxis empfohlen werden könnte. Für die in diesem Versuch mit 12 g NaCl l⁻¹ exponierten Zander wurden jedoch bereits kurz nach dem Versuchstart Veränderungen festgestellt. Die Plasmaglukosekonzentration dieser Tiere reduzierte sich stufenweise und war nach acht Tagen etwa 70 % niedriger als in der Kontrollgruppe. Reduzierte Plasmakonzentrationen nach einem Transfer in aufgesalzene Umwelten sind das Resultat einer erhöhten Glukoseaufnahme durch entsprechende Zellen, da Glukose durch einen erhöhten Energiebedarf für die Regulierung des Wasser- und Ionenhaushaltes in den entsprechenden Organen benötigt wird (MORGAN u. a. 1997). Unter den gegebenen Versuchsbedingungen kann eine Aufsalzung mit 12 g NaCl l⁻¹ als ungeeignet für juvenile Zander angesehen werden, was u. a. durch die geringen Überlebensraten unterstrichen wird. Wie schon bei einer kurzfristigen Exposition von Zandern mit 12 g NaCl l⁻¹, so deutet sich die Unverträglichkeit des Zanders gegenüber anhaltenden Expositionen bei 6 und 9 g NaCl l⁻¹ in den am 36. Versuchstag um rund 30 % reduzierten Glukosekonzentrationen an. Im Gegensatz dazu war die langfristige Haltung juveniler Zander in bis zu 3 g NaCl l⁻¹ ohne feststellbare Effekte möglich.

Veränderungen der Plasmaproteinkonzentration können bei einer Akklimatisation an neue osmotische Verhältnisse auftreten (SOENGAS u. a. 2007) und ebenso als ein klinischer Indikator für Gesundheit, Stress und Wohlbefinden herangezogen werden (RICHE 2007). Bis einschließlich des dritten Expositionstages wurden keine deutlichen Veränderungen der Proteinkonzentrationen bei den juvenilen Zandern bis 9 g NaCl l⁻¹ festgestellt, womit kurzfristige Effekte zunächst nicht zu erwarten waren. Aufgrund hoher Verluste musste jedoch der Versuch für die Fische in 12 g NaCl l⁻¹ nach acht Tagen terminiert werden. Zu diesem Zeitpunkt waren die Proteinkonzentrationen gegenüber den Fischen in

0 bis 9 g NaCl l⁻¹ um etwa 30 % reduziert, was als eine deutliche Reaktion auf die ungünstigen osmotischen Verhältnisse verstanden werden kann. Um rund 16 % reduzierte Plasmaproteinkonzentrationen sind bspw. auch bei Plattfischen (*Solea senegalensis*) festgestellt worden, die im Rahmen eines Langzeitversuches in einer nicht optimalen Salzkonzentration gehalten wurden (ARJONA u. a. 2009). Interessanterweise wurden im weiteren Verlauf des Versuches in den verbliebenen Versuchsgruppen allerdings ähnlich niedrige Proteinkonzentrationen gemessen wie bei den mit 12 g NaCl l⁻¹ exponierten Zandern. Damit ist die mittlere Konzentration am Tag 8 nicht unbedingt als physiologisch suboptimal zu verstehen, sondern nur die relative Abweichung im Vergleich zu den anderen Gruppen. Die am Versuchstag 36 gegenüber der Kontrolle ebenfalls reduzierten Proteinkonzentrationen bei den Fischen in 6 und 9 g NaCl l⁻¹ weisen ebenso auf nicht optimale Haltungsbedingungen hin (vgl. ARJONA u. a. 2009). Langfristig konnten hingegen keine Effekte zwischen der Kontrollgruppe und den Zandern unter 3 g NaCl l⁻¹ festgestellt werden. Ausbleibende Veränderungen der Proteinkonzentrationen bei der Exposition mit verschiedenen Salzkonzentrationen sind jedoch auch bei anderen Fischen beobachtet worden (PEYGHAN u. a. 2014, SADOK u. a. 2004).

Osmolalität: Das Maß für die Summe aller gelösten Ionen sowie organischen Verbindungen in biologischen Flüssigkeiten wird als Osmolalität bezeichnet (KÜLTZ 2015). Veränderungen der Osmolalität deuten auf eine gestörte Homöostase hin und können deshalb als ein Indikator für Stress herangezogen werden (BARTON u. IWAMA 1991). Die mittleren Blutplasmaosmolalitäten der Versuchsgruppen von 0 – 9 g NaCl l⁻¹ variierten zwischen 289 und 314 mOsmol kg⁻¹ und entsprachen damit einer für Süßwasserfische gewöhnlichen Bandbreite (EDWARDS u. MARSHALL 2013). Im deutlichen Gegensatz dazu kam es zu einem Anstieg der Blutplasmaosmolalität (~ 360 mOsmol kg⁻¹), wenn die Zander einer NaCl-Konzentration von 12 g l⁻¹ (~ 400 mOsmol l⁻¹) ausgesetzt waren. Ein Überleben in höheren Salzkonzentrationen ist stenohalinen

Fischen jedoch nur dann möglich, wenn sie in der Lage sind die Osmolalität ihrer Körperflüssigkeiten oberhalb der Osmolalität des sie umgebenden Wassers einzustellen. Andernfalls stoppt der kontinuierliche Wasserzustrom, und die notwendige Exkretion von Stoffwechselprodukten kann nicht stattfinden (HEGAB u. HANKE 1982).

Der festgestellte Stückmasseverlust der Fische in 12 g NaCl l⁻¹, der auf eine Dehydration hinweist (MACEINA u. SHIREMAN 1979), die veränderten hämatologischen Parameter sowie letztendlich die ausgeprägte Mortalität von knapp 96 % unterstreichen dabei die Unverträglichkeit der juvenilen Zander gegenüber dieser NaCl-Konzentration. Zusammengefasst sind dies deutliche Indizien dafür, dass sich eine NaCl-Konzentration von 12 g l⁻¹ – unter den gegebenen Umweltbedingungen einer KLA – oberhalb des für juvenile Zander physiologisch tolerierbaren Bereiches befindet.

Mit Blick auf die Osmolalität des Blutplasmas konnten bis zum jeweiligen Versuchende in den anderen Gruppen keine so deutlichen Veränderungen festgestellt werden wie bei den Zandern in 12 g NaCl l⁻¹. Folglich kann angenommen werden, dass Zander zwar bis 9 g NaCl l⁻¹ erfolgreich osmoregulieren können, dies allerdings auf Kosten des Wachstums. Auch OVERTON u. a. (2008) stellten bei Versuchen mit Barschen (*Perca fluviatilis*) in Kreislaufanlagen fest, dass das Wachstum unter salinen Bedingungen (10 ‰) bereits um 50 % reduziert war, der physiologische Parameter Plasmaosmolalität aber keineswegs auf eine osmoregulatorische Störung hinwies.

Plasmaionen: Ein Anstieg von Ionen im Blutplasma findet statt, wenn Süßwasserfische salinen Umwelten ausgesetzt werden (BROWN u. a. 2001, DE BOECK u. a. 2000, LUTZ 1972, MATTIOLI u. a. 2017, OVERTON u. a. 2008). Bei sich ändernden Salzkonzentrationen in der Umwelt ist die kontinuierliche Aufrechterhaltung regulärer physiologischer Ionenkonzentrationen von entscheidender Bedeutung. Da Chlorid und Natrium die Hauptionen in den Körperflüssigkeiten sind und mehr als 90 % der anorganischen Elektrolyte darstellen, ist deren Regulierung für eine erfolgreiche Osmoregulation

essenziell (KANEKO u. HIROI 2008). Untersuchungsergebnisse von mit Salzwasser exponierten Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) legen nahe, dass die Ionenaufnahme sowohl durch das Trinken von Wasser als auch über die Kiemen stattfindet (BATH u. EDDY 1979). Mittels mitochondrienreicher Chloridzellen auf den Kiemen können Süßwasserfische die Ionenaufnahme steuern (PERRY 1997). Den etablierten Modellen zur Ionenaufnahme folgend, werden Chloridionen mit Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und Natrium mit Wasserstoffionen (H^+) und Ammonium (NH_4^+) an den Kiemen ausgetauscht (AVELLA u. BORNANCIN 1989, MAETZ 1973, MARS-HALL 1995, PERRY 1997). Somit wird ein kontinuierliches elektrochemisches Gleichgewicht zwischen Fisch und aquatischer Umwelt aufrechterhalten. Der Anstieg der Chlorid- und Natriumionen im Blutplasma der Fische war bei einer NaCl-Konzentration von 12 g l^{-1} am Deutlichsten ausgeprägt. Im Vergleich zur Kontrolle wurde ein bis zu 52%iger Anstieg von Chlorid und ein bis zu 29%iger Anstieg von Natrium im Blutplasma dieser Fische beobachtet. Auch bei der Exposition von Karpfen (*Cyprinus carpio*) mit 10 g NaCl l^{-1} wurden ähnliche Beobachtungen gemacht. Hierbei wurde nahezu eine Verdopplung der Chloridionen und ein 30%iger Anstieg der Natriumionen im Blutplasma der Tiere festgestellt (DE BOECK u. a. 2000). Die unterschiedlich ausgeprägte Zunahme der beiden Ionen im Blutplasma der Zander ist das Resultat einer unabhängigen voneinander stattfindenden Ionenaufnahme

3.4.4 Fazit

Die optimale NaCl-Konzentration bei der Aufzucht juveniler Zander in KLA ist 3 g l^{-1} . Beim Einsatz dieser Konzentration ist, im Vergleich zu einer Aufzucht in Süßwasser, mit einem erhöhten Wachstum und einer verbesserten Futtermittelverwertung zu rechnen. Dies kann als eine Verbesserung des Tierwohles interpretiert werden (vgl. HUNTINGFORD u. a. 2006). Eine 24-stündige Applikation von 3 g l^{-1} reduziert die Konzentration des Stresshormons Cortisol im Blutplasma deutlich und wird deshalb im Anschluss an Sortiervorgänge empfohlen. Beim Einsatz von 3 g l^{-1} sind zudem langfristig keine

über das Kiemenepithel (vgl. GARCIA ROMEU u. MAETZ 1964). Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass das Chlorid in den Zandern von $3 - 9 \text{ g NaCl l}^{-1}$ mit zunehmender NaCl-Konzentration in der Umwelt stufenweise anstieg, die Werte für Natrium derselben Tiere jedoch nahezu stabil blieben. Denn während der elektrochemische Gradient zwischen Fisch und Umwelt für Natrium nahezu neutral ist, ist derjenige für Chlorid nach innen gerichtet (WILKES u. MCMAHON 1986), sodass sich auf Grundlage der unterschiedlichen Gradienten die ausgeprägtere Zunahme von Chlorid gegenüber Natrium erklären lässt.

Interessanterweise waren die Chloridkonzentrationen bei den Fischen in $0 - 9 \text{ g NaCl l}^{-1}$ ab dem 3. Versuchstag nahezu ausgeglichen, was im Vergleich zu den stufenweisen Konzentrationsanstiegen der Vortage für eine erfolgreiche Regulation dieser Ionen spricht.

Mit Blick auf die hohe Mortalität bei den mit 12 g NaCl l^{-1} exponierten Zandern und den dabei deutlich erhöhten Ionenkonzentrationen im Plasma kann von einer toxischen Wirkung der Ionen ausgegangen werden. Die Toxizität von Salzen mit einem Natriumkation ist zwar primär auf das korrespondierende Anion zurückzuführen (MOUNT u. a. 1997), dennoch kann sich sowohl der Zustand einer Hyperchlorämie als auch Hybernatriämie auf vielfältige Weise negativ auf den Organismus ausgewirkt haben (CASTILLA-GUERRA u. a. 2006, DE BOECK u. a. 2000).

negativen Effekte im Hinblick auf die Konditions- und Organindizes und Hämatologie zu erwarten. Jedoch scheint bei wiederholtem Handling der Tiere eine mindestens 36-tägige Adaptationsphase an die neuen Umweltbedingungen notwendig zu sein. Das schrittweise Aufsalzen der Anlagen mit maximal 3 g NaCl l^{-1} und Tag hat bei den Fischen keine Stressreaktion ausgelöst, die über hämatologische Parameter wie Cortisol oder Glukose abbildbar gewesen wäre. Aus diesem Grund wird bei Zielkonzentrationen $> 3 \text{ g NaCl l}^{-1}$ eine schrittweise Erhöhung um maximal 3 g NaCl l^{-1} und Tag empfoh-

len. Von den Zandern wurden interessanterweise bereits NaCl-Konzentrationen von $\geq 6 \text{ g l}^{-1}$ nur eingeschränkt toleriert, weshalb sich NaCl bei unsachgemäßer Anwendung als ein Stressor darstellt. Die Bestimmung der Osmolalität sowie der Ionen im Blutplasma belegen, dass Zander in bis zu 9 g NaCl l^{-1} erfolgreich osmoregulieren, allerdings zeichnete sich bei den Fischen in 6 und 9 g NaCl l^{-1} eine ausgeprägte Wachstumsdepression und eine deutlich verschlechterte Futtermittelverwertung ab.

Zusätzlich deuten die Konditions- und Organindizes daraufhin, dass sich eine Haltung unter diesen Konzentrationen für die Fische als energiezehrend darstellt. Eine NaCl-Konzentration von 12 g l^{-1} tolerierten die juvenilen Zander unter den Versuchsbedingungen nicht. Innerhalb von acht Tagen wurden Stückmasserverluste und eine ausgeprägte Mortalität festgestellt. Die Unverträglichkeit gegenüber 12 g NaCl l^{-1} wurde dabei anhand aller erhobenen Parameter bestätigt.

3.5 Die Aufzucht von Zandersetzlingen unter Zugabe von NaCl

Um die Effekte einer aufgesalzene Haltungsumwelt (Zugabe von $0, 3$ und 6 g NaCl l^{-1}) auf die Wachstumsparameter von Zandersetzlingen mit einer

Startstückmasse von etwa 100 g zu untersuchen wurden vier 30-tägige Versuche durchgeführt.

3.5.1 Materialien und Methoden

Die verwendeten Aquarien-Kreislaufanlagen hatten ein Gesamtvolumen von $1,03 \text{ m}^3$ und setzten sich zusammen aus: Fischhaltung ($0,81 \text{ m}^3$), Pumpensumpf inkl. mechanischer Reinigungsstufe ($0,22 \text{ m}^3$) und einer Füllkörperkaskade ($0,23 \text{ m}^3$) zur Sauerstoffanreicherung, Kohlenstoffdioxidentgasung und Nitrifikation von Ammonium/Ammoniak. Die Pumpe im Pumpensumpf hatte eine Förderleistung von bis zu 6500 l h^{-1} (AquaMedic OR6500). Über eine zentrale Druckluftleitung wurde der Sauerstoffeintrag mit Hilfe von zwei Keramikausströmern ($D = 30 \text{ mm}$) realisiert.

Die Zander wurden jeweils in zwei unterschiedlich aufgesalzene Aquarien-Kreislaufanlagen eingewogen, und konnten sich zunächst für zwei Wochen an die jeweilige NaCl-Konzentration gewöhnen. Zum Beginn und am Ende der Mastperiode wurden die individuellen Stückmassen der Fische ermittelt (Kern, $440\text{-}53\text{N}$, $\pm 1 \text{ g}$). Die Fütterung erfolgte mit Hilfe von SPS-Brutfutterautomaten (Pflanzer) nach einem von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (pers. Mitt.) ermitteltem Protokoll. Es wurde ein Allein-

futtermittel (Rohprotein: 54% , Rohfett: 18% ; NFE: 12% ; Rohasche: 8% ; Rohfaser: $1,0 \%$; Phosphor: $1,4 \%$; Gesamtenergie: $22,0 \text{ MJ}$; Verdauliche Energie: $19,1 \text{ MJ}$) verabreicht.

Mit Hilfe von Einzelfischwägungen konnten die durchschnittlichen Stückmassezuwächse (g) ermittelt werden und hiernach die spezifischen Wachstumsraten ($\text{SGR } \% \text{ d}^{-1}$) sowie die Futtermittelverwertung (FQ) für die Haltungseinrichtung kalkuliert werden (Formel 1 u. Formel 3).

Die Wasserparameter in den Aquarien-Kreislaufanlagen wurden mindestens einmal wöchentlich ermittelt. Die Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung ($\%$) (WTW Oxi 340i), der pH-Wert (Merck MColorTest $5,0 - 9,0$) und die Salinität ($\%$, WTW LF 197) wurden täglich erfasst. Die Zander wurden im Anschluss an den Versuch, sofern notwendig, erneut schrittweise an Süßwasser gewöhnt und in die institutseigene Netzgehegeanlage überführt.

Statistische Auswertung. Es fand keine statistische Auswertung der Versuchsergebnisse statt.

3.5.2 Ergebnisse

Die Wasserwerte während und zwischen den Versuchen unterschieden sich, mit Ausnahme der Leitfähigkeit, nicht wesentlich voneinander (Daten nicht dargestellt). Weder die spezifischen Wachstumsraten noch die Futterverwertung während der vier

konsekutiven Versuchsansätze ließen eindeutige Rückschlüsse auf die Performance der Zander zu (Tabelle 3.9). In dem Versuchsansatz mit 6 g NaCl⁻¹ wuchs die Kontrollgruppe auf einem vergleichbaren Niveau.

Tabelle 3.9: Übersicht über die mittleren Startstückmassen und Wachstumsleistungen von Zandern in verschiedenen NaCl-Konzentrationen (Zugabe von 0, 3 und 6 g l⁻¹). Pro Durchgang wurden 43 – 45 Fische in den Aquarien-Kreislaufanlagen gehalten. / = Ergebnis 1. Versuch / Ergebnis 2. Versuch; – = von bis.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹
Mittlere Startstückmassen (g)	99 – 129	106 / 121	96 / 112
SGR (% d ⁻¹)	0,82 – 0,91	0,78 / 0,85	0,89 / 1,01
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	0,86 – 1,40	1,18 / 1,38	0,83 / 1,01
n (Anzahl der Versuche)	4	2	2

3.5.3 Diskussion

Die Wachstumsperformance der Zander mit Startstückmassen zwischen 96 und 129 g aller untersuchten NaCl-Konzentrationen (Zugabe von 0, 3 und 6 g l⁻¹) waren sehr ähnlich. Fische dieser Stückmasse können problemlos in bis zu 6 g NaCl l⁻¹ gehalten werden. Dies wurde auch im Rahmen des Ektoparasitenversuches bestätigt (s. Kapitel 3.7). Die Versuchsansätze waren mit etwa 30 Futtertagen relativ kurz. Daher können insbesondere zur langfristigen Haltung von Zandersetzlingen bei 6 g NaCl l⁻¹ keine Aussagen getroffen werden. Eine kontinuierliche Haltung von Zandern (251 g) bei > 5 g l⁻¹ Salzkonzentration in Kreislaufanlagen während eines 57-tägigen Versuches wurde aber bspw. von ZIMMERMANN u. a. (2019) praktiziert. Auch VON PLESSEN u. MÜLLER-BELECKE (pers. Mitt.) war es möglich Zander mit Stückmassen von 200 – 500 g für mehrere Wochen erfolgreich unter 6 g NaCl l⁻¹ in Kleinkreislaufanlagen zu halten; im Vergleich zur Süßwasserkontrolle allerdings ohne nennenswerte Wachstumsvorsprünge oder verbesserte Futterverwertungen. Die Ergebnisse des Langzeitversuches zur Haltung von Zandern mit Stückmassen von 30 – 460 g unter NaCl-Bedingungen (3 g l⁻¹), resul-

tierten in signifikant gesteigerten Endstückmassen der Zander (s. Kapitel 3.6). Eine längerfristige Haltung von Zandern in salinen Umwelten ist demnach möglich, wobei 3 g NaCl l⁻¹ als optimal angesehen werden können.

Aus Studienergebnissen von SADOK u. a. (2004) lässt sich zudem ableiten, dass eine Haltung von Zandern mit Stückmassen von 137 g auch bis 12 g l⁻¹ für mindestens 11 Tage möglich ist. Allerdings ist die Wassertemperatur des Versuches mit 10 °C als niedrig einzustufen und spiegelt die Aufzuchtbedingungen in der Warmwasser-Aquakultur nicht wider.

Auch in natürlichen Habitaten präferieren adulte Tiere niedrigere Salzkonzentrationen unterhalb von 12 g l⁻¹ (ABDOLMALAKI u. PSUTY 2007, GHARIBKHANI u. a. 2014). Rückschlüsse aus Fängen deuten ebenso darauf hin, dass 9 bis 10 ‰ Salinität von adulten Tieren durchaus toleriert werden (LEHTONEN u. a. 1996), höhere Konzentrationen allerdings gemieden werden und es zu einem Rückgang der fischereilichen Anlandungen kommen kann (TYUTYUNOV u. a. 2002).

Die kurzfristige Salztoleranz von Zandern ist jedoch ausgeprägter. Tiere mit Stückmassen zwischen 150 – 450 g können einen direkten Transfer in bis zu 16 g l⁻¹ für mindestens 6 Tage tolerieren und sogar 29 – 33 g l⁻¹ während eines nachempfundenen, sechsständigen Tidenhubes. Hierbei traten

dann allerdings physiologische Imbalancen, wie z. B. erhöhte Cortisolkonzentrationen und auch Plasmaosmolalitäten, auf. Einen unmittelbaren Transfer von Süßwasser in 26 – 35 g l⁻¹ überleben Zander dieser Stückmassen hingegen nicht (vgl. BROWN u. a. 2001).

3.5.4 Fazit

Im Gegensatz zu Zandern mit 0,5 bis etwa 50 g Stückmasse können größere Zander auch unter höheren NaCl-Konzentrationen von 6 g l⁻¹ gehalten werden. Allerdings wurde dabei weder eine Steigerung oder aber eine deutliche Reduktion der Wachstumsperformance beobachtet. Diese Ergebnisse lassen, unter Berücksichtigung weiterer

Studien (ABDOLMALAKI u. PSUTY 2007, BROWN u. a. 2001, GHARIBKHANI u. a. 2014, LEHTONEN u. a. 1996, SADOK u. a. 2004, TYUTYUNOV u. a. 2002, ZIMMERMANN u. a. 2019), den zusätzlich Rückschluss zu, dass sich die Toleranz von Zandern gegenüber NaCl mit zunehmender Stückmasse bzw. Lebensalter erhöht.

3.6 Langzeitversuch unter praxisnahen Bedingungen zur Aufzucht von Zandern zu Speisefischanwärttern unter der Zugabe von NaCl

In der Aquakulturforschung werden Versuchsfische häufig nur über einen sehr begrenzten Zeitraum gehalten, um innerhalb eines übersichtlichen Zeitabschnittes (< 100 d) Daten zügig und kosteneffektiv generieren zu können. Zudem wird sehr häufig auf Jungfische zurückgegriffen, sodass auf der einen Seite die Haltungskapazitäten gering und zum anderen die erhobenen Performanceparameter (bspw. Wachstum, Futtermittelverwertung) positiver ausfallen können. Wohl auch deshalb stehen für die Langzeithaltung (> 100 d) von Amerikanischen und Europäischen Zandern sowie Flussbarschen in Aquakultur (RÓNYAI u. CSENGERI 2008, SIEGWARTH u. SUMMERFELT 1993) und insbesondere unter Bedingungen geschlossener Kreislaufanlagen nur

eine limitierte Anzahl publizierter Untersuchungsergebnisse zur Verfügung (DAVIDSON u. a. 2016, HARDER u. a. 2012, OVERTON u. a. 2008, PYANOV u. a. 2016, ZARNOCH u. a. 2010). Dieser Umstand gilt ebenso für die zeitlich ausgedehnte Haltung (> 100 d) verschiedener Süßwasserfische unter salinen Bedingungen (DUSTON u. a. 2007, KILAMBI 1980, OVERTON u. a. 2008). Mit dem Ziel die langfristigen Effekte bei der Anwendung von Kochsalz (NaCl) während der Zanderaufzucht im halbtechnischen Maßstab zu untersuchen wurde ein 252 Tage andauernder Versuch unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt. Die Festlegung der NaCl-Konzentration von 3 g l⁻¹ basierte auf den Ergebnissen des Versuches in Kapitel 3.4

3.6.1 Materialien und Methoden

Versuchskreislaufanlagen: Für die Versuchsdurchführung wurden zwei identische Kreislaufanlagen verwendet (vgl. MÜLLER-BELECKE u. a. 2013, 2018). Beide geschlossenen Kreislaufsysteme befinden sich in dem isolierten und klimatisierten ULRICH-GÖTHLING-HAUS auf dem Gelände des IfB. Jede Anlage verfügt über sechs bzw. sieben Rundbecken mit je einem Haltungsvolumen von 1,3 m³. In je

einem Becken pro Anlage wurde die Aufbereitung und Speicherung von Frischwasser (Abbildung 3.19). Für die Zulaufwasserkonditionierung wurden ein GazeNetz (100 µm) zur Filterung sowie ein UV-C Brenner (Trop-Elektronik, 85 W) zur Inaktivierung von Keimen und Druckluft zur Belüftung eingesetzt. Frischwassergaben (Ziel: ≤ 600 l kg Futter⁻¹) wurden über den Pumpensumpf eingespeist. Im Pumpen-

sumpf fand eine kontinuierliche Wassertemperatur- und pH-Wert-Anpassung (Natriumhydrogencarbonat) statt. Das aus den Haltung Becken ablaufende Wasser floss zur mechanischen Reinigungsstufe (Hydrotech HDF 800-Serie, 60 μm Gaze, 30 l s^{-1} , 0,25 kW) und anschließend in den Pumpensumpf (1,0 m^3). Die Rückspülung der Filtergaze (Grundfos CR1⁻¹⁵, 0,5 l s^{-1} , 0,75 kW) wurde mit Prozesswasser realisiert. Mit Hilfe eines redundanten Pumpensystems (KBS PumpDriveS, max. 33 m h^{-1} , 0,97 kW, inkl. Frequenzumrichter) wurde das Wasser aus dem Pumpensumpf durch ein Sauerstoffanreicherungs system (Füllkörperkaskade, 90 mm PAL-Ringe, 75 $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$) zurück in die Haltungseinrichtungen gefördert. In jedem mit Fischen besetzten Becken befand sich eine Notbegasungseinheit (Linde, Sauerstoffschlauch). Eine Pumpe (Wiltec Teichpumpen) förderte im Bypass Wasser in einen Bewegtbettbiofilter (2,0 m^3), welcher mit 1,3 m^3 Füllkörpern (RK Plast, 750 $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$, 1,0 g cm^{-3}) befüllt war. Die Biofilter wurden durch je einen Membrankompressor (Thomas, Air Pump, 200 l min^{-1}) versorgt. Beide Anlagen verfügten über einen mit Methanol betriebenen Denitrifikations-Reaktor (Selbstreinigender Inertgas Denitrifikations Reak-

tor, 0,65 m^3 Wasservolumen, 45%ige Füllung, Helix, 824 $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$, 0,9 g cm^{-3}) zur Entfernung von Nitrat aus dem Haltungswasser (MÜLLER-BELECKE u. a. 2013, TORNO u. a. 2018). Die üblicherweise zur Keimreduzierung genutzten und am Pumpensumpf im Bypass betriebenen UV-C Brenner wurden während des Versuches nicht betrieben. Durch die vorhandene computergestützte Mess- und Regeltechnik (Siemens) wurden zentrale Parameter des Haltungswassers (pH-Wert, O_2 in %, Wassertemperatur in $^\circ\text{C}$) kontinuierlich visualisiert und dokumentiert. Im Falle von Grenzwertüber- oder -unterschreitungen benachrichtigte ein Alarmierungssystem den Bereitschaftsdienst (24 h, 7 d). Das Lichtregime (16 h hell : 8 h dunkel) wurde mit vier dimmbaren Lampen (max. 60 W) realisiert, sodass sich auf der Wasseroberfläche während der Hellphase eine Lichtstärke von etwa 1,5 Lux einstellte.

Routinearbeiten: Die täglichen Routinearbeiten in den KLA umfassten die folgenden Arbeitsschritte: Sichtung des Fischbestandes, zweimalige Sichtkontrolle Futter- und Kotreste in Haltungseinrichtungen und Ablaufrinnen, Spülen der Ablaufrinnen, Reinigung der stationären Messsonden,

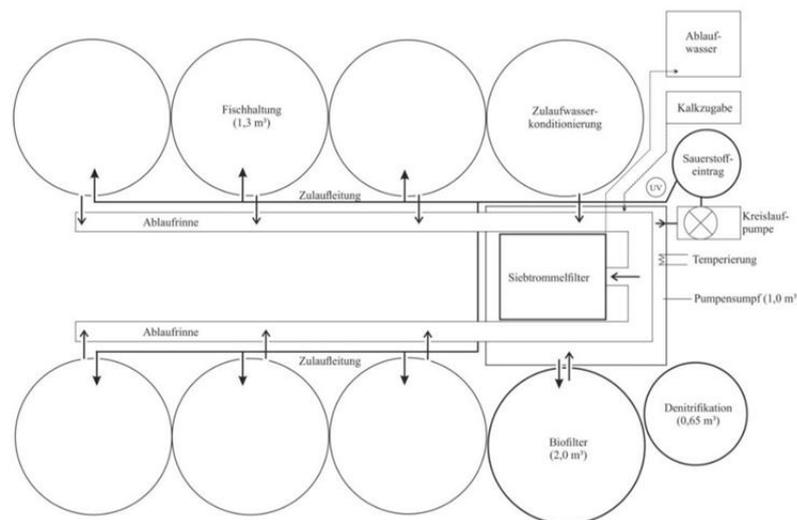


Abbildung 3.19: Darstellung der KLA (0 g NaCl l^{-1} ; Süßwasserkontrolle) mit einem max. Gesamtvolumen von 12 m^3 inkl. des siebten Beckens für die Zulaufwasserkonditionierung.

Kontrolle der Wasserparameter (Temperatur (°C), Sauerstoffkonzentration (mg l⁻¹), pH-Wert), Ermittlung der Salinität (‰, Hach HQ40d multi) und der Trübung (FNU, Hach Lange 2100 Q is), Applikation von NaCl in der entsprechenden Anlage, Methanolzufuhr in Denitrifikations-Reaktor und Fütterung.

Fütterung: Zur Fütterung der Fische wurden SPS-basierte Brutfutterautomaten (Pflanzer) genutzt. Während des Versuches wurden Alleinfuttermittel verabreicht (< 45 g Stückmasse: Granulat, Rohprotein: 64 %, Rohfett: 12,5 %; Stickstofffreie Extraktstoffe: 2 %; Rohasche: 13 %; Rohfaser: 1,0 %; Phosphor: 1,5 %; Gesamtenergie: 20,4 MJ; Verdauliche Energie: 19,0 MJ; > 45 g Stückmasse: Schwimmfutter 3 bzw. 4,5 mm Pellet, Rohprotein: 54 %, Rohfett: 18 %; Stickstofffreie Extraktstoffe: 12 %; Rohasche: 8 %; Rohfaser: 1,0 %; Phosphor: 1,4 %; Gesamtenergie: 22,0 MJ; Verdauliche Energie: 19,1 MJ). Die biomasse- und zuwachsbezogene Fütterung erfolgte nach einem von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (mdl. Mitt.) entwickelten Protokolls für Zander mit Stückmassen von 1,0 bis 1 000 g. Anpassungen der Futtermenge erfolgten täglich. Der Wechsel von einem Alleinfuttermittel zum anderen wurde abrupt durchgeführt, da die Zander ansonsten das Futter selektiv aufnehmen und es zu hohen Futterverlusten kommen kann.

Wasseranalysen: Die Analysen von Wasserproben aus dem Pumpensumpf erfolgten mindestens einmal wöchentlichen. An sechs weiteren Zeitpunkten wurden Wasserproben zur Analyse der Ionenzusammensetzung (Chlorid, Natrium, Sulfat, Magnesium, Kalium, Calcium) gezogen, aufbereitet (0,22 µm gefiltert) und bei -20 °C zwischengelagert. Die Analyse mittels Ionenchromatographie (IC Shimadzu) sowie optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) erfolgte am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Berlin).

Versuchsfische: Die Zander für den Versuch stammten aus eigener Vermehrung und Aufzucht des IfB. In jede KLA wurden am Tag des Versuchsstarts 550 Stück Zander (*Sander lucioperca*) mit einer mittleren Startstückmasse von 30 g erst händisch nach Größenklassen sortiert, dann gewogen und

anschließend in die jeweilige Anlage eingezählt. Zusätzlich wurden 60 der insgesamt 550 Zander jeder KLA im Anschluss nochmals einzeln gewogen (Kern, 440-53N, ± 1,0 g) und deren Totallänge (± 0,5 cm) bestimmt. Die Besatzdichten bei Versuchsstart betrugen 13,0 kg m⁻³ in der 0 g NaCl l⁻¹ Anlage bzw. 12,7 kg m⁻³ in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage.

NaCl-Applikation: Im Anschluss an den Besatz wurde ein jodfreies Siede-Speisesalz (ESCO, Trennmittel: E500, E535) mit einem Natriumchloridgehalt von 99,8 % appliziert. Die NaCl-Zugabe erfolgte über den Biofilter. Die Aufsalzung der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage erfolgte zweistufig innerhalb von 48 Stunden auf die nominale NaCl-Konzentration. Um Verpilzungen im Anschluss an den händischen Sortiervorgang vorzubeugen (ZIENERT, mdl. Mitt.), wurde die Kontrollanlage (0 g NaCl l⁻¹) am Versuchsstart einmalig auf 1,5 g NaCl l⁻¹ aufgesalzen. Durch einen Zwangswasserwechsel wurde das NaCl in kurzer Zeit wieder verdünnt. Der Wasserwechsel während dieser Zeit wurde auch in der anderen Anlage realisiert, allerdings bei kontinuierlicher Aufrechterhaltung der NaCl-Konzentration.

Fischperformance und -gesundheit: Am Versuchsstart und anschließend im etwa monatlichen Rhythmus, wurden die spezifischen Wachstumsraten (SGR) und Futterquotienten (FQ) für jede Haltungseinheit durch Einzelfischwägungen von ≥ 60 Zandern je Anlage erfasst und dokumentiert (Formel 1 u. Formel 4).

Zur Einschätzung des Gesundheitszustandes wurde am Ende des Versuches von den zu schlachtenden Tieren der Konditionsfaktor (g cm⁻³) (Formel 5) sowie die Lebermasse (g), der hepatosomatischer Index (HSI, Formel 6), die Leberhelligkeit L* und Leberfarben a* und b* erhoben. Die Ermittlung der Helligkeit bzw. Farbe des Lebergewebes erfolgte mit Hilfe eines Chromameters (Minolta CR-300) im CIE-L*a*b*-Farbraum. Dieser Farbraum stellt Helligkeit und Farbanteile nach einem definierten Standard im dreidimensionalen Raum dar (L* = Helligkeit, von 0 (schwarz) bis 100 (weiß); a* = rot-grün; erstreckt sich von -a* (grün) bis +a* (rot); b* = gelbblau; erstreckt sich von -b* (blau) bis +b* (gelb)). Zusätzlich wurde die Milzmasse und der spleno-

somatische Index (SSI, Formel 7) sowie der Hämatokritwert (%) von Blutproben bestimmt.

Produktqualität und Sensorik: Am Ende des Versuches wurden der Wassergehalt (%) und die Bruttoenergie (MJ kg^{-1}) von Zander nach SCHRECKENBACH u. a. (2001) bestimmt. Hierfür wurden tierschutzgerecht betäubte und getötete Zander einzeln ($n = 12$) mit einem Fleischwolf (Krefft, 0,60 kW, 2 mm Lochscheibe) homogenisiert. Die Lagerung der Fische bis zur Bestimmung erfolgte vakuumiert bei -20°C . Die jeweilige Frischmasse (FM) wurde in einer Dreifachbestimmung in einem Trockenschrank bei 105°C bis zur Massekonstanz getrocknet. Im Anschluss erfolgte eine gravimetrische Bestimmung der Trockenmasse (TM) und folglich eine rechnerische Bestimmung des Wassergehaltes. Mit Hilfe der ermittelten Trockenmasse (TM) kann die Bruttoenergie bestimmt werden ($\text{Energie (MJ/kg)} = 0,0253 \cdot \text{TM}^{1,6783}$) (SCHRECKENBACH u. a. 2001).

Zur Bestimmung der Produktqualität wurden am Versuchsende an 24 Zandern je NaCl-Konzentration (je 8 Zander aus 3 verschiedenen Haltungseinrichtungen) folgende Parameter ermittelt bzw. berechnet: Stückmasse (g), Totallänge (cm), Filetmasse mit Haut (g), Filetmasse ohne Haut (g), Filetanteil (%; Basis: Filet ohne Haut), Filethelligkeit L^* , Filetfarbe a^* und b^* , Visceralfettmasse (g) sowie der Visceralfettindex (Formel 8). Alle Zander wurden von derselben Person verarbeitet. Im Anschluss an

die Verarbeitung der Zander wurden deren Filets vakuumverpackt und bei -20°C gelagert. Die Ermittlung der jeweiligen Helligkeit bzw. Farbe der Filets erfolgte mit Hilfe eines Chromameters (Minolta CR-300) im CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraum.

Des Weiteren wurde eine sensorische Beurteilung der Fleischqualität (Geruch, Farbe, Festigkeit und Geschmack der Filets), insbesondere zum Feststellen von Fehlparfums, über eine paarweise Verkostung in Anlehnung an DIN EN ISO 5495 (2007) vorgenommen. Dafür wurden Panels aus Prüfpersonen die zu vergleichenden, bei 190°C für 10 min im Backofen gegarten Zanderfiletstücke in vier Durchgängen (24 Prüfungen pro paarweisem Vergleich) zur sensorischen Beurteilung gereicht. Bei der Anzahl von 24 Prüfungen muss eine Mindestzahl von 18 Entscheidungen für eine der beiden Vergleichsgruppen vorhanden sein, um einen gesicherten, statistisch signifikanten Unterschied ($P = 0,05$; zweiseitiger Vergleich) vorliegen zu haben. Konnte von einer Prüfperson in einem der vier Prüfmerkmale kein Unterschied detektiert werden, erfolgte eine Zuordnung der Entscheidungen zu gleichen Anteilen zu beiden Gruppen.

Statistische Auswertung: Die weitere Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung des Versuches kann im Anhang dieser Arbeit gefunden werden.

$$\text{SSI} = \text{Milzmasse (g)} \cdot 100 / \text{Stückmasse (g)} [\%] \quad \text{Formel 7}$$

$$\text{VFI} = \text{Visceralfettmasse (g)} \cdot 100 / \text{Stückmasse (g)} [\%] \quad \text{Formel 8}$$

3.6.2 Ergebnisse

Wasseranalysen: Nach insgesamt 252 Versuchstagen wurde die Langzeitapplikation von Kochsalz (NaCl) in KLA mit Zanderbesatz unter praxisnahen Bedingungen beendet. Die ermittelten Wasserparameter sind in Tabelle 3.10 dargestellt.

Insgesamt wurden während des Versuches 234 kg NaCl für die Aufrechterhaltung einer Zielkonzentration von 3 g l^{-1} in die entsprechende KLA appliziert. Demgegenüber steht die einmalige NaCl Anwendung von 14 kg in der Kontrollanlage zum Start des

Versuches. Die Ionenzusammensetzung des Wassers der zwei Versuchskreislaufanlagen ist in Tabelle 3.11 dargestellt. In der mit 3 g NaCl l^{-1} aufgesalzenen Anlage waren Natrium und Chlorid die dominierenden Ionen. Zusammen machten diese Ionen einen Anteil von 97 % aus. Beide Ionen waren zu etwa gleichen Teilen im Wasser vorhanden. Im Vergleich dazu waren Natrium und Chlorid in der Kontrollanlage zwar ebenfalls zu etwa gleichen Teilen

vorhanden, allerdings stellten diese beide Ionen nur rund 53 % der Ionen dar.

Fischperformance: Die im Anschluss an den Besatz der Anlagen (Gruppenwägung und Einzählen der Zander) durch Einzelfischwägungen ermittelten Startstückmassen (MW ± SD) von 60 Tieren betragen in der Kontrollanlage 30 ± 5 g bzw. 30 ± 6 g in der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹ (P = 0,986). Nach 252 Versuchstagen erfolgte die Abfischung und Vermessung der Zander aus den beiden Versuchsanlagen. Die Endstückmasse (MW ± SD) der Zander in der Kontrollanlage betrug im Mittel 389 ± 91 g (n = 464) und in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage 410 ± 104 g (n = 460). Die mittleren Endstückmassen der in 3 g NaCl l⁻¹ aufgezogenen Zander waren signifikant höher (P =

0,005, Abbildung 3.20). In der Anlage ohne NaCl Applikationen wurden 180 513 g und in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage 188 411 g Zanderbiomasse abgefischt (Tabelle 3.12). Bezogen auf die Gesamtfischmasse war dies äquivalent mit einem Wachstumsvorsprung von 4,4 % in der mit 3 g NaCl l⁻¹ aufgesalzenen Anlage. Während des Versuches wurde das Wachstum der Zander über die Verabreichung von Alleinfuttermitteln sichergestellt. Insgesamt erfolgten ein Gesamtfuttermiteinsatz von 199 029 g in der Kontrollanlage und ein Einsatz von 199 467 g in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage (Tabelle 3.12). Dies entspricht einer um 0,2 % höheren Futtergabe in der mit 3 g NaCl l⁻¹ aufgesalzenen KLA.

Tabelle 3.10: Wasserparameter (MW ± SD) der Kreislaufanlagen mit 0 und 3 g NaCl l⁻¹ Zugabe während des Versuches. Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
pH-Wert *	7,0 ± 0,2	7,0 ± 0,2	0,877
Temp. (°C) *	23,1 ± 0,4 ^a	23,2 ± 0,4 ^b	≤ 0,001
O ₂ (mg l ⁻¹) *	8,3 ± 0,6	8,5 ± 1,0	0,097
SBV (mmol l ⁻¹)	0,8 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,3 ^b	0,001
NH ₄ ⁺ -N (mg l ⁻¹)	0,5 ± 0,1 ^a	0,4 ± 0,1 ^b	0,005
NO ₂ ⁻ -N (mg l ⁻¹)	0,1 ± 0,0 ^a	0,0 ± 0,0 ^b	0,001
NO ₃ ⁻ -N (mg l ⁻¹)	19 ± 6	19 ± 7	0,912
LF (µS cm ⁻¹)	767 ± 226 ^a	5 524 ± 405 ^b	0,001
Trübung (FNU)	2,4 ± 1,3 ^a	3,7 ± 1,9 ^b	0,001
n	39	39	

* n = 252 (Tagesmittelwerte)

Tabelle 3.11: Ionenzusammensetzung (MW ± SD, in mOsmol l⁻¹ und %) im Wasser der zwei Kreislaufanlagen mit Zugabe von 0 und 3 g NaCl l⁻¹. Signifikante Unterschiede der Osmolarität sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	0 g NaCl l ⁻¹		3 g NaCl l ⁻¹		p-Wert
	mOsmol l ⁻¹	%	mOsmol l ⁻¹	%	
Natrium	1,9 ± 0,4 ^a	29,1 ± 2,4	43,8 ± 2,4 ^b	47,9 ± 0,5	≤ 0,001
Kalium	0,4 ± 0,1 ^a	6,2 ± 0,3	0,5 ± 0,04 ^b	0,5 ± 0,04	0,010
Calcium	1,3 ± 0,2	20,3 ± 1,0	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,230
Magnesium	0,4 ± 0,1	5,8 ± 0,2	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,03	0,240
Chlorid	1,6 ± 0,3 ^a	24,4 ± 1,3	44,7 ± 2,9 ^b	48,9 ± 0,5	≤ 0,001
Sulfat	0,9 ± 0,2	14,1 ± 0,4	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,741
n	6		6		

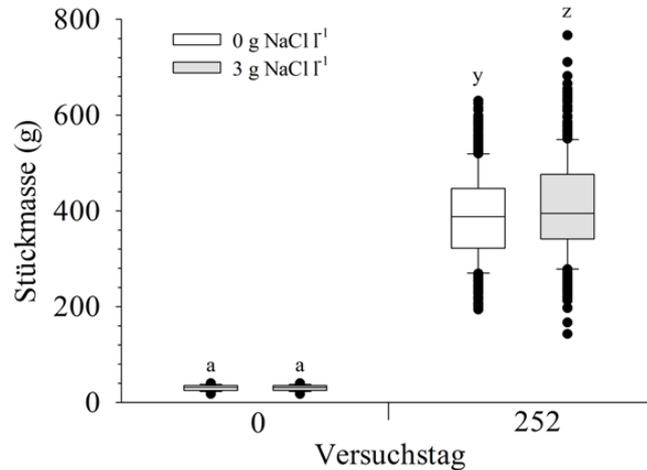


Abbildung 3.20: Stückmasse (g) der Zander bei Versuchsstart (0 d, n = 60 pro Konzentration) und Versuchsende (252 d: 0 g NaCl l⁻¹: n = 464; 3 g NaCl l⁻¹: n = 460). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Wägungen sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

Tabelle 3.12: Zusammenfassung der wesentlichen Parameter der Fischperformance während des Versuches (Start- und Endbiomassen, Futtermitteleinsatz, Futterverwertung (FQ), spezifische Wachstumsraten (SGR), Besatzdichten (MW ± SD) sowie Überlebensraten.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹
Biomasse (g)		
Start	19 940	19 445
Ende	180 513	188 411
Futtermitteleinsatz (g)	199 029	199 467
FQ (kg Futter kg Zuwachs ⁻¹)	1,08	1,02
SGR (% d ⁻¹)	1,01	1,04
Startbesatzdichte (kg m ⁻³)	13,0	12,7
Endbesatzdichte (kg m ⁻³) *	34,7 ± 2,9	36,3 ± 3,3
Überlebensrate (%)	96,7	97,3

* n = 4

Resultierend aus den Futtermitteleinsätzen sowie den Abfischungsmassen (unter Berücksichtigung der Startmasse, etwaiger Entnahmen und Verluste), wurde für die 3 g NaCl l⁻¹ Anlage ein geringerer Futterquotient ermittelt. Analog dazu wiesen die Zander in der aufgesalzene Anlagen eine um 0,03 % bessere spezifische Wachstumsrate (SGR) auf. Die Besatzdichten am Versuchsstart von 13,0 kg m⁻³ (0 g NaCl l⁻¹) bzw. 12,7 kg m⁻³ (3 g NaCl l⁻¹) erhöhten sich bis zum Versuchsende auf bis zu 32,7 – 39,7 kg m⁻³ (0 g NaCl l⁻¹) bzw. 30,9 – 38,9 kg m⁻³ (3 g

NaCl l⁻¹). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Endbesatzdichten der Anlagen bei der Versuchsauflösung (P = 0,551). Die maximalen Besatzdichten (41,4 kg m⁻³) wurden bereits am Ende des 2. Monats erreicht. Die Überlebensraten während des Versuches waren nahezu identisch und betragen 96,7 % für die Fische in der 0 g NaCl l⁻¹ Anlage und 97,3 % in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage. Eine vollständige Übersicht über die einzelnen Versuchsabschnitte, verwendeten Haltungseinrichtungen, den Start- und Endstückmassen, dem

Zuwachs, den spezifischen Wachstumsraten (SGR), den Überlebensraten sind in Tabelle 3.13 dargestellt. den Futterquotienten (FQ), den Besatzdichten und stellt.

Tabelle 3.13: Übersicht über die Wachstumsleistung, Besatzdichten und Überlebensraten der Zander in zwei Kreislaufanlagen mit unterschiedlicher NaCl-Applikation (0 und 3 g l⁻¹) während des 252-tägigen Versuches.

Versuchsgruppe	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹
Anlage	I	II
Haltungseinheit	<i>B2</i>	<i>B2</i>
Versuchszeitraum (d)	27	27
Aug.-Sept. 2018		
Startstückmasse (g)	30,8	29,9
Endstückmasse (g)	48,5	48,5
Zuwachs (g)	17,7	18,6
SGR (% d ⁻¹)	1,68	1,79
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	0,99	0,91
Besatzdichte (kg m ⁻³)		
Start	13,0	12,7
Ende 1. Monat	20,4	20,4
Überlebensrate (%)	99,5	99,5
<i>n (Gruppenwägung + Einzählen)</i>	<i>60 (550)</i>	<i>60 (550)</i>
<hr/>		
Versuchszeitraum (d)	35	35
Sept.-Okt. 2018 (62 d)		
Startstückmasse (g)	48,5	48,5
Endstückmasse (g)	99,0	100,2
Zuwachs (g)	50,5	51,7
SGR (% d ⁻¹)	2,04	2,07
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	0,84	0,82
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	40,4	41,4
Überlebensrate (%)	98,5	99,6
<i>n (Einzelfischwägung)</i>	<i>60</i>	<i>60</i>

Tabelle 3.13: Fortsetzung.

Versuchsgruppe	0 g NaCl l ⁻¹			3 g NaCl l ⁻¹		
Anlage	I			II		
Haltungseinheit	<i>B2</i>	<i>B3</i>		<i>B1</i>	<i>B2</i>	
Versuchszeitraum (d)						
Okt.-Nov. 2018 (99 d)	37	37		37	37	
Startstückmasse (g)	77,1	111,3		115,6	81,7	
Endstückmasse (g)	126,8	167,7		167,5	131,3	
Haltungseinheit	<i>B2</i>	<i>B3</i>		<i>B1</i>	<i>B2</i>	
Zuwachs (g)	49,8	56,3		51,9	49,6	
SGR (% d ⁻¹)	1,35	1,11		1,00	1,28	
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	0,97	0,91		1,05	0,96	
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	20,2	40,4		33,8	26,1	
Überlebensrate (%)	100	100		100	98,8	
n (Einzelfischwägung)	30	30		30	30	
Haltungseinheit	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>
Versuchszeitraum (d)						
Nov.-Dez. 2018 (127 d)	28	28	28	28	28	28
Startstückmasse (g)	126,8	170,7	163,8	131,8	168,7	164,0
Endstückmasse (g)	164,1	209,0	213,1	165,4	219,0	216,8
Zuwachs (g)	37,3	38,3	49,3	33,6	50,4	52,9
SGR (% d ⁻¹)	0,92	0,72	0,94	0,81	0,93	1,00
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	1,08	1,25	0,99	1,12	0,95	0,92
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	26,1	23,6	25,9	32,7	21,2	21,3
Überlebensrate (%)	99,5	100	100	100	100	100
n (Einzelfischwägung)	30	20	20	30	20	20

Tabelle 3.13: Fortsetzung.

Versuchsgruppe	0 g NaCl l ⁻¹				3 g NaCl l ⁻¹			
Anlage	I				II			
Haltungseinheit	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>B4</i>	<i>B5</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>B5</i>	<i>B6</i>
Versuchszeitraum (d)								
Dez. 2018.-Jan. 2019 (163 d)	36	36	36	36	36	36	36	36
Startstückmasse (g)	168,8	160,0	212,0	211,2	166,3	164,7	215,1	221,5
Endstückmasse (g)	228,7	215,0	279,7	270,4	225,6	232,7	295,2	302,1
Zuwachs (g)	60,0	55,0	67,7	59,2	59,3	68,0	80,2	80,6
SGR (% d ⁻¹)	0,87	0,84	0,79	0,71	0,87	0,99	0,91	0,89
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	1,17	1,12	1,13	1,24	1,07	0,93	0,97	0,99
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	16,7	18,2	31,4	31,6	21,3	23,8	28,6	28,1
Überlebensrate (%)	99,0	100	100	100	100	100	100	100
n (Einzelfischwägung)	20	20	20	20	20	20	20	20
Haltungseinheit	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B4</i>	<i>B5</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B5</i>	<i>B6</i>
Versuchszeitraum (d)								
Jan.-Feb. 2019 (195 d)	32	32	32	32	32	32	32	32
Startstückmasse (g)	199,7	281,3	279,5	282,2	270,8	196,7	311,9	312,4
Endstückmasse (g)	229,1	366,7	342,2	357,9	313,7	243,1	380,6	380,3
Zuwachs (g)	29,3	85,3	62,6	75,7	42,9	46,4	68,7	67,9
SGR (% d ⁻¹)	0,44	0,85	0,65	0,77	0,47	0,68	0,64	0,63
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	1,77	0,91	1,23	1,03	1,73	1,10	1,25	1,28
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	30,5	27,9	27,6	28,6	29,9	29,9	28,4	28,1
Überlebensrate (%)	97,7	100	100	100	99,2	97,0	100	100
n (Einzelfischwägung)	20	20	20	20	20	20	20	20
Versuchszeitraum (d)								
Feb.-Mrz. 2019 (223 d)	28	28	28	28	28	28	28	28
Startstückmasse (g)	229,1	366,7	342,2	357,9	313,7	243,1	380,6	380,3
Endstückmasse (g)	277,9	404,7	375,4	390,4	366,8	283,4	444,6	450,1
Zuwachs (g)	48,8	38,0	33,2	32,5	53,1	40,3	64,0	69,8
SGR (% d ⁻¹)	0,69	0,35	0,33	0,31	0,56	0,55	0,56	0,60
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	0,83	1,50	1,71	1,65	1,05	0,97	0,99	0,87
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	36,5	30,8	30,3	31,2	34,7	34,9	33,1	33,2
Überlebensrate (%)	98,8	100	100	100	99,2	100	100	100
n (Einzelfischwägung)	20	20	20	20	20	20	20	20
Versuchszeitraum (d)								
Mrz.-Apr. 2019 (252 d)	29	29	29	29	29	29	29	29
Startstückmasse (g)	277,9	404,7	375,4	390,4	366,8	283,4	444,6	450,1
Endstückmasse (g)	303,5	434,5	440,2	438,8	411,4	315,7	486,3	501,5
Zuwachs (g)	25,6	29,8	64,8	48,4	44,6	32,3	41,7	51,4
SGR (% d ⁻¹)	0,30	0,24	0,55	0,40	0,40	0,37	0,31	0,37
FQ (kg Futter / kg Zuwachs)	1,85	2,30	1,04	1,31	1,47	1,45	1,81	1,54
Endbesatzdichte (kg m ⁻³)	39,9	33,4	32,8	32,7	38,9	38,9	36,3	30,9
Überlebensrate (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
n (Einzelfischwägung)	170	100	97	97	123	160	97	80

Fischgesundheit: Die erhobenen Gesundheitsindikatoren am Ende des Versuches sind in Tabelle 3.14 dargestellt. Die Konditionsfaktoren beider Expositionsgruppen unterschieden sich statistisch signifikant voneinander. Die Lebermasse der Zander aus dem Kontrollkreislauf war signifikant geringer als die der Fische aus der mit 3 g NaCl l⁻¹ ausgesetzten Anlage. Während sich der hepatosomatische Index (HSI) der beiden Gruppen signifikant voneinander unterschied, wurden für die Leberhelligkeit (L*) und die Leberfarben (a* und b*) keine Unterschiede festgestellt. Die Milzmasse der Zander in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage war höher als bei den der Kontrollfischen, allerdings bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des splenosomatischen

Indexes (SSI). Der mittlere Hämatokritwert der Zander variierte zwischen 31 und 32 % und es bestanden keine signifikanten Unterschiede.

Produktqualität und Sensorik der speisefähigen Zander: Die Ergebnisse der Wassergehalts- und Bruttoenergiebestimmungen am Ende des Versuches sind in Tabelle 3.15 dargestellt. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Im Anschluss an die Einzelfischwägungen wurden die Fische für weitere zwei Tage in der jeweiligen Kreislaufanlage gehalten (insgesamt vier futterfreie Tage). Hiernach wurden aus beiden Anlagen jeweils zufällig 24 Fische für eine Schlachtkörperanalyse entnommen. Einen Überblick über die gewonnenen Daten bietet Tabelle 3.16.

Tabelle 3.14: Gesundheitsindikatoren (MW ± SD) von Zandern aus Kreislaufanlagen mit einer NaCl-Zugabe von 0 und 3 g l⁻¹. Je Konzentration gilt n = 24 (*: n = 8). Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
Konditionsfaktor (g cm ⁻³)	0,91 ± 0,06 ^a	0,86 ± 0,04 ^b	0,002
Leber (g)	3,4 ± 0,8 ^a	4,4 ± 1,0 ^b	≤ 0,001
HSI (%)	0,8 ± 0,2 ^a	1,0 ± 0,2 ^b	0,001
Leberhelligkeit L*	43,4 ± 8,2	44,5 ± 6,5	0,617
Leberfarbe a*	15,8 ± 4,1	15,4 ± 3,3	0,680
Leberfarbe b*	9,8 ± 4,8	10,3 ± 3,7	0,746
Milz (g) [#]	0,39 ± 0,2	0,45 ± 0,2	0,605
SSI (%) [#]	0,09 ± 0,04	0,09 ± 0,04	0,978
Hämatokritwert (%) [#]	31 ± 5	32 ± 4	0,697

HSI = Hepatosomatischer Index; SSI = Splenosomatischer Index

Tabelle 3.15: Wassergehalt und Bruttoenergie (MW ± SD) von Zandern in 0 und 3 g NaCl l⁻¹ nach 252 Versuchstagen. Dreifachbestimmungen von Einzelfischen (n = 12). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
Wassergehalt (%)	67,7 ± 1,5	68,1 ± 0,8	0,422
Bruttoenergie (MJ kg ⁻¹)	8,7 ± 0,7	8,5 ± 0,3	0,403

Die mittlere Stückmasse der Zander in dem Kontrollkreislauf (0 g NaCl l⁻¹) war 18 g geringer als die Stückmasse der Zander aus der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹. Im Gegensatz zur vollständigen Einzelfischwägung konnten bei dieser stichprobenartigen Entnahme keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Die Totallänge der Zander in 0 g NaCl l⁻¹ war signifikant geringer als die Totallänge der Fische in 3 g NaCl l⁻¹. Bei der Filetmasse mit Haut, der Filetmasse ohne Haut und dem Filetanteil auf Basis der Filetmasse ohne Haut bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Auch für die Filethelligkeit L*, die Filetfarbe a* und die Filetfarbe b* bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen (Abbildung 3.21).

Die Visceralfettmasse der beiden Versuchsgruppen unterschied sich signifikant voneinander, wobei jedoch die mittlere Visceralfettmasse der Süß-

wasserkontrolle um 3,7 g höher war als die Masse der 3 g NaCl l⁻¹ Fische. Auch der Visceralfettindex der Fische unterschied sich signifikant voneinander. Der mittlere VFI in der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹ war um etwa ein Viertel geringer als der der Fische in 0 g NaCl l⁻¹.

Die paarweise Vergleichsprüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 5495 (2007) wurde bei einer Raumtemperatur von 22 °C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.17 dargestellt. In vier Durchläufen mit jeweils sechs Prüfenden wurde im Hinblick auf die Ausgeprägtheit der Prüfparameter Geruch, Farbe, Festigkeit und Geschmack der Filets kein signifikanter Unterschied ausgemacht. Im Hinblick auf die Bevorzugung einer der beiden Prüfgruppen wurde für den Faktor Geschmack ein signifikanter Unterschied (P < 0,05) zwischen den Gruppen ausgemacht. Die Filets aus der mit 3 g NaCl l⁻¹ aufgesalzenen Kreislaufanlage wurden bevorzugt.

Tabelle 3.16: Fisch- und Schlachtkörperparameter (MW ± SD) von Zandern aus Kreislaufanlagen mit einer Zugabe von 0 und 3 g NaCl l⁻¹. Je NaCl-Konzentration gilt n = 24. Signifikante Unterschiede sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	p-Wert
Stückmasse (g)	442 ± 69	460 ± 81	0,409
Totallänge (cm)	36,4 ± 1,5 ^a	37,5 ± 2,0 ^b	0,037
Filet m. H. (g)	226 ± 35	235 ± 42	0,420
Filet o. H. (g)	192 ± 29	198 ± 36	0,510
Filetanteil (%) [#]	43,4 ± 1,3	43,0 ± 1,1	0,238
Filethelligkeit L*	38,2 ± 2,0	38,7 ± 2,1	0,408
Filetfarbe a*	2,8 ± 1,5	2,7 ± 1,1	0,725
Filetfarbe b*	- 1,6 ± 0,5	- 1,6 ± 0,8	0,924
VF (g)	17,5 ± 6,4 ^a	13,8 ± 5,4 ^b	0,034
VFI (%)	3,9 ± 1,0 ^a	2,9 ± 0,8 ^b	0,001

m. H. = mit Haut; o. H. = ohne Haut; VF(l) = Visceralfett(index); [#] Basis: Filet o. H.

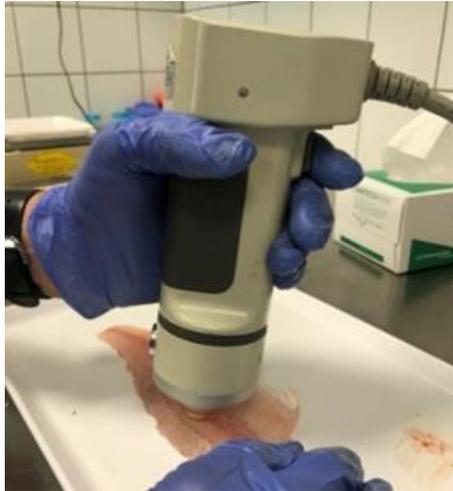


Abbildung 3.21: Ermittlung der Helligkeit und Farbe von Zanderfilets mit Hilfe des Chromameters „Minolta CR-300“ im CIE-L*a*b*-Farbraum.

Tabelle 3.17: Paarweise Vergleichsprüfung sensorischer Parameter in Anlehnung an DIN EN ISO 5495 (2007) von Zanderfilets der aus den Versuchskreislaufanlagen (Zugabe: 0 bzw. 3 g NaCl l⁻¹, je Konzentration n = 24). k. U.: kein Unterschied. Signifikante Unterschiede sind mit einem Stern gekennzeichnet.

	ausgeprägter (n Entscheidungen)			bevorzugt (n Entscheidungen)		
	0 g NaCl l ⁻¹	k. U.	3 g NaCl l ⁻¹	0 g NaCl l ⁻¹	k. U.	3 g NaCl l ⁻¹
Geruch	14	2	8	7	4	13
Farbe	8	7	9	6	7	11
Festigkeit	10	6	8	8	6	10
Geschmack	15	5	4	1	5	18 *

3.6.3 Diskussion

Wasseranalysen: Mit zunehmender Dauer eines Versuches steigt die Herausforderung alle Umweltparameter identisch zu halten. Ein Teil der Wasserparameter war trotz der deckungsgleichen Bewirtschaftung der Anlagen nicht identisch. Hierbei handelt es sich um die Parameter Wassertemperatur, Säurebindungsvermögen, Ammonium- und Nitritkonzentration, der NaCl-induzierten Leitfähigkeit sowie der Trübung beider Anlagen. Die durchschnittliche Wassertemperatur in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage war mit 23,21 °C höher als die in der Anlage ohne NaCl-Applikation (23,13 °C). Laut Industrie-

standard ist bei einer Temperatur von 23 °C mit einer Messtoleranz der verwendeten Temperaturfühler (PT 100 Klasse B) von ± 0,4 °C (= 0,30 + (0,005 * Temperatur °C)) auszugehen. Die Messungenauigkeit der Sensoren ist somit um ein Fünffaches höher als die Abweichung der mittleren Durchschnittstemperaturen der beiden Versuchsanlagen. Auf dieser Grundlage wird die festgestellte Temperaturdifferenz als vernachlässigbar eingestuft.

Das Säurebindungsvermögen in der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹ war signifikant höher als in der Anlage ohne NaCl-Applikation. Da die Denitrifikationsstufen

identisch arbeiteten (Daten nicht dargestellt), kann die Ursache für diesen Unterschied durch die Zugabe des Speise-Siedesalzes und dessen Additiv E500 (Natriumcarbonate; ZZuV 2017) erklärt werden (s. Kapitel 3.4.3).

Dem verwendeten Kochsalz war der Lebensmittelzusatzstoff E535 (Natriumferrocyanid) zugesetzt (ZZuV 2017). E535 ist ein stabiler Komplex, der jedoch unter Lichteinwirkung (< 420 nm) potentiell zu Cyanid zerfallen kann (YOUNG u. JORDAN 1995) und dann toxisch für Fische wäre (NOGA 2010). Aus diesem Grund waren die UV-C-Einheiten während des Versuches inaktiviert.

Die Trübungswerte beider Anlagen waren auf einem niedrigen Niveau, unterschieden sich allerdings signifikant voneinander. Die höhere Trübung in der 3 g NaCl l^{-1} Anlage könnte hierbei sowohl das Resultat veränderter Schleimhautcharakteristika als auch einer veränderten Schleimproduktion sowie dessen Abgabe in die Wassersäule sein (SHEPHARD 1994, TACCHI u. a. 2015).

Die Ammonium- und Nitritkonzentrationen in der 0 g NaCl l^{-1} Anlage waren signifikant höher als die Konzentrationen in der aufgesalzenen Anlage. In beiden Anlagen waren dennoch alle Konzentrationen der Stickstoffverbindungen in für Zander physiologisch tolerierbaren Bereichen. Dies gilt ebenso für die ermittelten Nitratkonzentrationen der Versuchsanlagen (vgl. STEINBERG u. a. 2018). Demnach ist nicht von einer Beeinträchtigung der Fische durch die gelösten Stickstoffkomponenten auszugehen.

In der Anlage mit der kontinuierlichen NaCl-Applikation ist ein oligohalines, brackisch-limnisches Haltungswasser realisiert worden (CASPERS 1959, HERBST 2013). Die prozentualen Ionenzusammensetzungen der Kontrollanlage und des Haltungswassers der aufgesalzenen Anlage stimmten dabei weitgehend mit der Zusammensetzung von Trinkwasser bzw. natürlichem Brackwasser der Ostsee überein (LAHDES u. KARJALA 2007). Die dominierenden Ionen der 3 g NaCl l^{-1} Anlage waren, ähnlich dem beispielhaften Brackwasser, Chlorid (49 %) und Natrium (48 %).

Fischperformance: Mit Hilfe von NaCl-Applikationen von 3 g l^{-1} können bei, in geschlossenen Kreislaufanlagen gehaltenen, Zandern signifikant gesteigerte Endstückmassen, verbesserte spezifische Wachstumsraten und eine bessere Futtermittelverwertung erzielt werden. Nach 252 Versuchstagen war die mittlere Stückmasse der Zander in der 3 g NaCl l^{-1} Anlage (410 g) signifikant höher als die der Fische in der Kontrollanlage (389 g). Bezogen auf die Gesamtfischmasse entsprach dies einem Wachstumsvorsprung von 4,4 % in der mit 3 g NaCl l^{-1} aufgesalzenen Anlage. Neben Zandern und Flussbarschen (LOŽYS 2004) weisen auch andere Vertreter der Familie der Perciden ein gesteigertes Wachstum und verbesserte Futtermittelverwertungen bei der Haltung unter leicht salinen Bedingungen auf (CHOTI-PUNTU u. AVAKUL 2011, KIBRIA u. a. 1999, LUO u. a. 2012, MAHON u. a. 2015). Vergleichbare Untersuchungsergebnisse zur Langzeithaltung von europäischen Zandern unter Brackwasserbedingungen liegen derzeit für einen direkten Vergleich mit dieser Studie nicht vor (DALSGAARD u. a. 2013).

Die Fische in beiden Versuchsanlagen haben sich nahezu ideal entwickelt und das von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (pers. Mitt.) erarbeitete Protokoll zur bestandsbiomasseabhängigen Zanderfütterung wurde über weite Abschnitte des Versuches eingehalten. Allerdings musste die täglich verabreichte Futtermenge ab Monat 6 um etwa $0,2 - 0,3 \text{ \% d}^{-1}$ nach unten korrigiert werden, da die Fische in beiden Anlagen nahezu zeitgleich die Futteraufnahme reduzierten bzw. verweigerten. Die Futtergaben wurden immer identisch für beide Gruppen angepasst. Eine externe Ursache für die veränderte Futteraufnahme konnte nicht ausgemacht werden. Mit Blick auf die signifikant höheren Endstückmassen der Zander aus der 3 g NaCl l^{-1} Kreislaufanlage sollen allerdings noch zwei wesentliche Parameter angesprochen werden. Zum einen wurden während der 252 Versuchstage in der aufgesalzenen Anlage 438 g mehr Alleinfuttermittel verabreicht. Allerdings lässt sich mit dieser erhöhten Futtermittelverabreichung auch unter optimalen Aufzuchtbedingungen die um 7 898 g höhere Abfischungsbiomasse in der aufgesalzenen Anlage nicht erklären.

Zum anderen müssen die signifikant verschiedenen Durchschnittstemperaturen der beiden Anlagen berücksichtigt werden, da es eine starke Abhängigkeit zwischen Fischwachstum und Wassertemperatur gibt (CHO 1992, DUMAS u. a. 2010, IWAMA u. TAUTZ 1981). Wie bereits erwähnt, unterschieden sich die mittleren Temperaturen zwischen den Anlagen um 0,08 °C. Dabei war die Anlage, in der die höhere Endbiomasse geerntet wurde, auch jene die die höheren durchschnittlichen Wassertemperaturen aufwies. Unabhängig von der Messungenauigkeit der Temperaturfühler bestand auf Basis von Tagesgraden ein Unterschied von 20 d° zwischen den Anlagen. Die 20 d° entsprechen einer Temperatursummindifferenz von weniger als einem Aufzuchtstag während der 252 Versuchstage. Etwa die Hälfte der Differenz ist wiederum auf einen dreitägigen Ausfall der Klima- bzw. Heizungsanlage zurückzuführen, während dessen ein Temperaturrückgang von bis zu 3,2 °C vom Zielwert (23,0 °C) in der Anlage ohne NaCl-Applikation aufgetreten ist. Aufgrund dieser Umstände, und unter Berücksichtigung der Wachstumsergebnisse der anderen Versuche, werden weder die höhere Futtergabe noch die geringfügige Temperaturdifferenz für das volle Maß des beobachteten Wachstumsunterschieds verantwortlich gemacht, sondern maßgeblich die Veränderung der Haltungsumwelt durch Aufsalzung sowie dessen positive Effekte auf die Physiologie und das Wachstum von Fischen (vgl. BOEUF u. PAYAN 2001).

Fischgesundheit: Die Spannweite der ermittelten Konditionsfaktoren deckt sich mit anderen aktuellen Untersuchungsergebnissen zur Haltung von Zandern in Kreislaufanlagen (STEINBERG u. a. 2017, ZIMMERMANN u. a. 2019) und können als regulär für Zander eingeordnet werden. Die etwas höheren Totallängen der Zander in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage resultierten in einem geringeren Konditionsfaktor dieser Gruppe.

Es wurden signifikant höhere Lebermassen und hepatosomatische Indizes bei den Zandern aus der aufgesalzene Anlage festgestellt. Eine steigende Lebermasse ist ein Hinweis auf einen veränderten Leberstoffwechsel (LUZ u. a. 2008). Allerdings

bestanden weder zwischen der Leberhelligkeit L* noch der Leberfarbe a* und b* signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen, die einen ersten Anhaltspunkt geliefert hätten. Für detaillierte Aussagen sollten daher in zukünftigen Studien die Nährstoffzusammensetzungen von Zanderlebern unter verschiedenen Salzkonzentrationen berücksichtigt werden.

Der splenosomatische Index (SSI) kann als Indikator für den Immunität sowie dessen Veränderungen auf mögliche Infektionen und Krankheiten hindeuten (DEKIĆ u. a. 2016). Zwar war die Milzmasse der Fische in 3 g NaCl l⁻¹ höher, dennoch unterschieden sich der SSI der Zander beider Anlagen nicht signifikant voneinander. Die SSI Werte variierten im Mittel um 0,09 % und stimmen mit anderen Untersuchungsergebnissen von Zandern überein (STEINBERG u. a. 2017, ZIMMERMANN u. a. 2019). Eine Veränderung des SSI durch die Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ ist demnach nicht zu erwarten.

Die Hämatokritwerte der Zander aus beiden Versuchsgruppen waren nahezu identisch. Die ermittelten Werte deckten sich zudem mit anderen Untersuchungen von Zandern (LUCCHIARI u. a. 2009, SIWICKI u. a. 2003, STEINBERG u. a. 2017).

Anhand der erhobenen Parameter kann abgeleitet werden, dass die langfristige Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ den Gesundheitszustand der Zander nicht beeinflusst hat.

Produktqualität und Sensorik der speisefähigen Zander: Bei der Exposition von Süßwasserfischen mit Salzen werden Veränderungen des Körperwasseranteils (ARUNACHALAM u. REDDY 1979) und Energiegehaltes (MATTIOLI u. a. 2017) festgestellt. Am Ende des Versuches wurde deshalb eine Wassergehalts- und eine Bruttoenergiebestimmung nach SCHRECKENBACH u. a. (2001) durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse stimmen generell mit anderen Studien natürlicher oder auch aquakulturbasierter Zander- und Barschherkünfte überein (JANKOWSKA u. a. 2007, OVERTON u. a. 2008, PYANOV u. a. 2017, SCHULZ u. a. 2006, SCHRECKENBACH u. a. 2001, STEINBERG u. a. 2017). Die Langzeitapplikation von 3 g NaCl l⁻¹ unter Aufzuchtbedingungen geschlossener Warmwasser-Kreislauf-

anlagen führte weder zu Veränderungen des Wassergehaltes noch der Bruttoenergie der Zander im Vergleich mit den Fischen der Süßwasserkontrolle. Neben etwaigen physiologischen Konsequenzen, die bei einer Veränderung der Salzkonzentration und -zusammensetzung des Haltungswassers hätten auftreten können, sind der sich nicht ändernde Wassergehalt und die Bruttoenergie bereits ein Indikator dafür, dass auch die Schlacht- bzw. Produktqualitätsparameter durch den Einsatz von Kochsalz (NaCl) nicht maßgeblich beeinflusst wurden.

Das primäre Ziel eines Aufzuchtzyklus von Fischen bis zur Speisefähigkeit ist es ein vermarktbare Produkt (Größe, Filetanteil, Färbung, Geschmack, etc.) zu generieren, das letztendlich von Verbrauchern akzeptiert, erworben und konsumiert wird. Zander genießen aufgrund ihres geringen Fettanteils, der geringen Anzahl intramuskulärer Gräten und insbesondere dem weißen Filet ein hohes Ansehen bei Verbrauchern.

Am Ende des Langzeitversuches wurden die Fische für einen Zeitraum von drei Tagen direkt in der jeweiligen Anlage gehältert, d. h. die Anlage regulär bewirtschaftet, den Zandern jedoch kein Futter angeboten. Aus jeder Anlage wurden danach 24 Fische entnommen. Die Fische in der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage wiesen eine signifikant höhere Totallänge auf als die Fische der Süßwasserkontrolle und ebenso einen deutlichen Trend zu höheren durchschnittlichen Stückmassen. Darauf basierend wurde ebenfalls ein Trend zu einer höheren Filetausbeute bei den Zandern in 3 g NaCl l⁻¹ festgestellt. Der rechnerisch ermittelte Filetanteil (ohne Haut) von rund 43 % deckt sich mit anderen Untersuchungsergebnissen von Zandern aus Kreislaufanlagen mit nahezu identischen Stückmassen (42 – 48 % Filetanteil; KOWALSKA u. a. (2011) sowie kalkulatorischen Annahmen bei der Zandervermarktung (45 %; MEYER u. a. 2016).

Die Bestimmung der Filethelligkeit L* sowie der Filetfarben a* und b* ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zandern aus 0 und 3 g NaCl l⁻¹. Demzufolge hatte die Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ während des Produktionszyklus im

Vergleich zur Kontrolle keine Effekte auf die Farbeigenschaften von Zanderfilets. Hinsichtlich dieses Parameters kann also von einer problemlosen Vermarktung ausgegangen werden (s. a. ERDÖS u. a. 2017). Im Gegensatz zu Studien von LOŽYS (2004) konnte kein signifikanter Anstieg des Fettgehaltes von Zander unter salinen Bedingungen beobachtet werden. Die durchschnittliche Visceralfettmasse der Zander aus der Kontrolle war signifikant höher als die der Fische aus der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹ und folglich auch die somatischen Visceralfett-Indizes. Dies könnte auf eine veränderte Nährstoffverwertung unter salinen Bedingungen hinweisen (s. a. KIBRIA u. a. 1999). Mit Ausnahme der potentiellen Reduktion des Schlachtkörperanteils hat dies jedoch, mit Blick auf die Produktqualität, keine weiteren Konsequenzen.

Die Langzeitapplikation von 3 g NaCl l⁻¹ zur Haltungsumwelt von Zandern in geschlossenen Kreislaufanlagen hatte keine Effekte. Die Verwendung von NaCl in niedrigen Konzentrationen (3 g l⁻¹) kann daher problemlos in der Praxis zur Anwendung kommen.

Die paarweise Verkostung der Zanderfilets in Anlehnung an DIN EN ISO 5495 (2007) ergab mit Blick auf die Ausprägtheit der Merkmale (Geruch, Farbe, Festigkeit und Geschmack) keine signifikanten Unterschiede. Auf die Frage welche Filetherkunft vom Prüfpanel bevorzugt wird, bestanden für die Parameter Geruch, Farbe und Festigkeit ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Hinsichtlich des Merkmals Geschmack wurden die Filets aus der 3 g NaCl l⁻¹ Anlage jedoch signifikant bevorzugt. Die Fische aus der aufgesalzene Anlage besaßen demzufolge bessere geschmackliche Eigenschaften, als die identisch aufgezogenen, gehälterten und zubereiteten Kontrollfische.

Dies kann zwei mögliche Ursachen haben. Zum einen reichern sich Fehlgerüche wie z. B. Geosmin und Methylisoborneol bevorzugt im Fettgewebe von Fischen an. In Versuchen mit Afrikanischen Welsen (*Ictalurus punctatus*) stellten JOHNSEN u. LLOYD (1992) fest, dass jene Fische mit einem Muskelfettanteil von > 2,5 % höhere Konzentrationen von Fehlgerüchen (hier: Methylisoborneol) in einer

kürzeren Zeit aufnahmen als Fische mit Fettanteilen von $< 2,5\%$. Methylisoborneol und Geosmin sind bei einer Anreicherung im Fischgewebe für den „erdig-muffigen“ Geschmack verantwortlich (TUCKER 2000). Der Aufnahmeweg dieser s. g. Fehl-aromen findet über die permeablen Oberflächen Kieme, Haut und Darm statt (HOWGATE 2004). Fehl-aromen im Endprodukt können zum einen die Ernte und damit den Verkauf verzögern, zum anderen, und im schlimmsten Fall, die Fische in Gänze unverkäuflich werden lassen (RURANGWA u. VERDEGEM 2015).

Mit Blick auf die bevorzugte Akkumulation von Fehl-aromen in lipidhaltigen Geweben ist festzuhalten, dass jene Fische die geschmacklich bevorzugt wurden (3 g NaCl l^{-1}) auch jene Fische waren, die den geringeren (Körper-)Fettanteil aufwiesen. Da weder der Fettanteil im Filet selbst noch die Konzentration von Fehl-aromen labortechnisch bestimmt wurden, kann nur vermutet werden, dass der Fettanteil einen Effekt auf die Bevorzugung durch das Prüfpanel hatte. Zum anderen haben, neben den Eigenschaften des verabreichten Futters (GONZALEZ ARTOLA 2004b), was jedoch für beide Anlagen immer identisch war, die Umweltbedingungen während der Aufzucht Auswirkungen auf die Qualitätseigenschaften des jeweiligen Endproduktes von Perciden (vgl. GONZALEZ ARTOLA 2004a). Denn trotz der deckungsgleichen Bewirtschaftung war die Umwelt in den beiden Versuchskreislaufanlagen nicht identisch. Mit Blick auf das Bevorzugen der Filets aus der 3 g NaCl l^{-1} Anlage muss daher berücksichtigt werden, dass die mittleren Konzentrationen der gelösten Stickstofffraktionen (Ammonium/Ammoniak und Nitrit) unterschiedlich waren. Die Umwandlung des von den Fischen abgegeben Ammoniums/Ammoniak wurde in den Versuchsanlagen mit Hilfe von aeroben Biofiltern und die Nitratentfernung mittels Denitrifikationsreaktoren sichergestellt. In der kreislaufbasierten Zanderaquakultur sind aber gerade Biofilter und Denitrifikationsstufen als explizite Quellen von Fehl-aromen (Geosmin und Methylisoborneol) ausgemacht worden (PODDUTURI u. a. 2020). Trotz der deckungsgleichen Futtergaben war im langfristigen

Trend die Umwandlung von Ammonium und Nitrit in der Anlage 0 g NaCl l^{-1} im Vergleich zur Anlage mit 3 g NaCl l^{-1} nicht identisch. Da sich die Filter in ihrer Bauweise und Bewirtschaftung nicht unterscheiden, deutet dies möglicherweise auf eine veränderte Bakteriengemeinschaft in den Biofiltereinheiten hin. Bakteriengemeinschaften von aeroben und anaeroben Biofiltern sind u. a. vom vorliegenden Salzgehalt geprägt (GONZALEZ-SILVA u. a. 2016, VON AHNEN u. a. 2019). Einige der in den Filtern der Fischhaltungssysteme vorkommenden Bakterien- und Pilzarten bilden Geosmin und Methylisoborneol als Metabolite ihres Stoffwechsels, mit den oben beschriebenen negativen Effekten auf fische-reiche Endprodukte. Im speziellen werden Bakterien der Gattung *Streptomyces* für die Bildung von Geosmin in Kreislaufanlagen verantwortlich gemacht (AUFFRET u. a. 2011, LUKASSEN u. a. 2017). Das Bakterium *Streptomyces avermitilis* reagierte in Laborversuchen bei steigenden NaCl-Konzentrationen mit einer reduzierten Bildung von Geosmin. Ab Konzentrationen von $\sim 3\text{ g NaCl l}^{-1}$ war dabei die Geosminbildung durch *S. avermitilis* nahezu eingestellt (ŘEZANKA u. VOTRUBA 1998). Sehr wahrscheinlich hat die Applikation von 3 g NaCl l^{-1} also zu einer Hemmung bzw. deutlichen Verringerung der Produktion von Fehl-aromen geführt. Andere Untersuchungsergebnisse stützen diese Vermutung. So weisen Lachse (*Salmo salar*) aus dem Meer, im Vergleich zu in Flüssen gefangenen Tieren, geringere Konzentrationen unerwünschter Fehl-aromen auf (FARMER u. a. 1995). Und auch aus der teichbasierten Garnelenaquakultur mit Salzwasser gibt es ähnliche Hinweise. Hier wurden nur dann Fehl-aromen in den Tieren festgestellt, wenn die Salzkonzentration des Haltungswassers im Jahresverlauf unter eine Grenze von 10 g l^{-1} fiel (LOVELL u. BROCE 1985). Beim Vergleich von Fehl-aromen im Filet von Tilapien (*Oreochromis niloticus*) aus Süß- ($\sim 0 - 1\text{ g l}^{-1}$) und Brackwasserteichen ($\sim 10\text{ g l}^{-1}$) machen YAMPRAYOON u. NOOMHORM (2000) die Beobachtung, dass das Prüfpanel in den Brackwasser-Tilapien keine Fehl-aromen feststellte. Zusätzlich zum Prüfpanel wurden auch labortechnisch bei den Tilapien aus der salinen Umwelt signifikant geringere

Konzentrationen von Geosmin ($1,5 - 2,6 \mu\text{g kg}^{-1}$), als bei den Fischen aus einer limnischen Haltungsumwelt ($7,5 - 9,8 \mu\text{g kg}^{-1}$), festgestellt.

Die Ergebnisse der sensorischen Verköstigung der Zanderfilets unterstreichen somit zum einen, dass die Langzeitapplikation von NaCl keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Produkteigenschaften Geruch, Festigkeit und Färbung bei Zandern herbeiführt. Zum anderen wird aber anhand der signifikanten Bevorzugung der Filets beim Parameter Geschmack aus der aufgesalzene Anlage deutlich, dass die NaCl-Applikation von 3 g l^{-1} ein Potential zur Verringerung/Vermeidung von unerwünschten Fehlparomen hat. Zur finalen Verifizierung der Verköstigungen wäre zusätzlich die Konzentrationsbestimmung von Fehlparomen eine sinnvolle Ergänzung des Datensatzes gewesen.

3.6.4 Fazit

Die Aufzucht von Zandersetzlingen zu einer vermarktungsfähigen Stückmasse in oligohalinem, brackisch-limnischem Haltungswasser im halbertechnischen Maßstab ist gelungen. Nach 252 Versuchstagen waren die Stückmassen der Zander in der 3 g NaCl l^{-1} Anlage signifikant höher als die der Fische in der Kontrollanlage. Die Fische in der NaCl-Anlage wiesen dabei eine um $4,4 \%$ höhere Gesamtfischmasse auf. Die spezifischen Wachstumsraten und die Futterverwertung waren entsprechend verbessert.

Bei der Erhebung des Gesundheitsstatus konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Auch die Entwicklung der Zander verlief normal und war mit aus der Literatur bekannten Werten vergleichbar.

3.7 Die Behandlung von Ektoparasiten mit NaCl bei Zandern in geschlossenen Kreislaufanlagen

Über kontaminiertes Zulaufwasser oder auch Besatzmaterial kann eine Einschleppung von Krankheitserregern wie z. B. Ektoparasiten in KLA erfolgen. Im Rahmen eines 21-tägigen Versuches wurde

Die Anreicherung von Fehlparomen in Fischen ist reversibel, weshalb mit zunehmender Hälterungsdauer diese im Fisch wieder abnehmen (YAMPRAYOON u. NOOMHORM 2000). Aus diesem Grund lässt sich ein für die Praxis wichtiges Fazit ziehen. Die Applikation von NaCl hat, im Vergleich zur Kontrolle, einen verkürzenden Effekt auf die Dauer der Hälterung, was sich für Fischzüchter wiederum als ein ökonomischer Vorteil darstellt (LINDHOLM-LEHTO u. VIELMA 2019). Um zu überprüfen, ob gegen eine Anreicherung mit Fehlparomen eine Langzeitapplikation von NaCl notwendig ist oder aber bereits die NaCl-Applikation am Ende der Mastphase ausreichend ist, sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Langzeitapplikation von 3 g NaCl l^{-1} unter Produktionsbedingungen geschlossener Warmwasser-Kreislaufanlagen führte weder zu Veränderungen des Wasser- noch des Bruttoenergiegehaltes der Zander. Der HSI war bei den mit 3 g NaCl l^{-1} exponierten Zandern im Mittel höher als der HSI der Kontrollfische, was auf eine Veränderung des Energiestoffwechsels hinweist. Unter Berücksichtigung des geringeren VFI und dem signifikant besseren Wachstum deutet dies auf eine verbesserte Nährstoffverwertung unter leicht salinen Bedingungen hin. Die erhobenen Schlachtkörperparameter waren nicht beeinflusst. Die abschließende sensorische Verköstigung zeigte, dass die Zander aus der aufgesalzene Anlage hinsichtlich des Geschmacks signifikant bevorzugt wurden.

deshalb die NaCl-Behandlung von auf natürlicher Weise mit Trichodinidae befallenen Zandern untersucht. Es fand eine NaCl-Zugabe von $0, 3$ und 6 g l^{-1} statt.

3.7.1 Materialien und Methoden

Für den Versuch wurden vier identische KLA verwendet (Aufbau vgl. Abbildung 3.9). Das Biofiltermaterial wurde vor dem Versuchsbeginn für 47 Tage in zwei KLA angeimpft. Die initiale Füllung der KLA wurde mit Wasser des Sacrower Sees vorgenommen. Mit Hilfe eines Gazenetzes (100 µm) wurde das Wasser während der Befüllung gefiltert. Die als *Interne Kontrolle* verwendete KLA wurde hingegen mit gefiltertem (100 µm) und mittels UV-C-Strahlung (Trop-Electronic GmbH, UV-C-Entkeimer 42 W Amalgam, mittlere Wellenlänge 254 nm, 1,4 – 4,0 m³ h⁻¹) vorkonditionierten Wassers des Sacrower Sees gefüllt. Diese Vorkonditionierung wurde für vier Tage in einem separaten 1,3 m³ Becken durchgeführt.

Die Zander für den Versuch wurden bereits im August 2018 bei isothermischen Bedingungen aus einer institutseigenen KLA in ein Netzgehege überführt und sind dort gewintert worden (Abbildung 3.22).

Ende Mai 2019 wurden die Zander nach Stückmasse (g) und Totallänge (cm) sortiert und zu je 57 Stück in drei identische KLA überführt. Zeitgleich wurde die vierte KLA mit 57 ektoparasitenfreien Zandern (*Interne Kontrolle*) besetzt. Die Fische (n = 228) wiesen zu Versuchsbeginn eine mittlere Stückmasse von 120 ± 16 g und eine Totallänge von 24 ± 1 cm auf (MW ± SD). Am Tag nach dem Besatz der KLA

wurden diese mit jodfreiem Siede-Speisesalz (ESCO, Trennmittel: E500, E535, Natriumchloridgehalt: 99,8 %) aufgesalzen:

KLA I:	0 g NaCl l ⁻¹ (Kontrolle)
KLA II:	3 g NaCl l ⁻¹
KLA III:	6 g NaCl l ⁻¹
KLA IV:	0 g NaCl l ⁻¹ (<i>Interne Kontrolle</i>).

Die Aufsalzung der KLA mit 6 g NaCl l⁻¹ wurde in zwei Schritten von jeweils 3 g NaCl l⁻¹ und Tag realisiert. Die Fütterung der Zander erfolgte mittels Uhrwerkfütterautomaten (24 h) nach einem Protokoll von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (mdl. Mitt.) (Alleinfuttermittel, 4,5 mm Pellet, Rohprotein: 49 %, Rohfett: 10 %, Rohfaser: 1,5 %, Asche: 7,9 %, Phosphor: 1,27 %). Pro Kilogramm verabreichtem Futter wurden am Folgetag 600 l Wasser gewechselt. Der Wasserwechsel wurde über die mechanische Reinigungsstufe/Biofilter realisiert. Um auszuschließen, dass mit dem Frischwasser Ektoparasiten in die Anlagen gelangen, wurde ausschließlich gefiltertes (100 µm) und mit UV-C-Strahlung konditioniertes Wasser des Sacrower Sees verwendet (vgl. Befüllung KLA IV – *Interne Kontrolle*). Während des Versuches wurden die Wasserparameter in regelmäßigen Abständen erhoben.



Abbildung 3.22: Netzgehegeanlage des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow im Sacrower See.

Die Zander wurden am Versuchsstart (Tag 0) sowie an Tag 7 und 21 auf Ektoparasiten untersucht. Die Untersuchungen erfolgten dabei in Anlehnung an Fachliteratur (AMLACHER 1986, HOFFMANN 2005, SCHÄPERCLAUS 1990). Es wurde jeweils vier Zander pro Becken (12 Zander pro KLA) verwendet. Im Anschluss an die tierschutzgerechte Betäubung und Tötung wurde die linke Körperseite untersucht. An insgesamt drei Stellen wurden mittels Deckgläschen (24 x 24 mm) Schleimhautabstriche in Richtung der Beschuppung und an zwei Stellen Organproben genommen:

- Rücken: Abstrich beginnend unterhalb der
1. Rückenflosse bis zum Ende der
2. Rückenflosse
- Afterflosse: Abstrich der Haut oberhalb der
Afterflosse auf vollständiger Länge
- Bauchflosse: Vollständiger Abstrich des von der
Bauchflosse bedeckten
Hautbereiches
- Brustflosse: komplette Flosse, links
- Kiemebogen: zweiter Kiemebogen, links.

Die Schleimhautabstriche wurden mit einem Tropfen Wasser auf Objektträger (76 x 26 x 1 mm) überführt und ausgestrichen. Ebenso wurden die Organproben auf Objektträger überführt, mit Wasser benetzt und mit Deckgläschen bedeckt. Im Anschluss erfolgte eine Untersuchung der Proben

unter einem Lichtmikroskop (Leitz, Laborlux S; Okular: 10x/20). Bei der gewählten Vergrößerung von 100x wurden an sechs zufällig ausgewählten Sichtfenstern die Ektoparasiten bestimmt und deren Anzahl ermittelt. Bei der Datenaufnahme wurden nur vollständig mit Schleim- bzw. Organproben bedeckte Sichtfelder berücksichtigt.

Die Berechnung der Leistungsparameter (spezifische Wachstumsrate (SGR, % d⁻¹ und Futterquotient (FQ) für jede Haltungseinheit sowie Kondition und Mortalität der Fische) wurde mit Hilfe der Formel 1, Formel 3, Formel 4 und Formel 5 durchgeführt. Die Prävalenz der Ektoparasiten wurde unter Berücksichtigung von BUSH u. a. (1997) für jede KLA mit Hilfe der Formel 9 berechnet.

Da es sich bei einer KLA um ein System handelt, in dem jedes Becken zumindest indirekt miteinander verbunden ist, wurde die Prävalenz der Ektoparasiten für die gesamte Anlage dargestellt. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Dichte der Parasiten berechnet. In Anlehnung an BUSH u. a. (1997) wurde die durchschnittliche Trichodinidae-Dichte pro Sichtfenster und Fisch (TDSF) mit Formel 10 berechnet. Da in jeder der fünf Schleim- bzw. Organproben eine 6-fach-Bestimmung der Anzahl der Parasiten stattgefunden hatte, wurde für jeden untersuchten Fisch zunächst ein Mittelwert (\bar{X}) gebildet. Bei der Berechnung wurde zudem die Anzahl aller untersuchten Wirte berücksichtigt.

Statistische Auswertung: Die Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung des Versuches kann im Anhang gefunden werden.

$$\text{Prävalenz} = (\text{Anzahl infizierter Fische} * 100) / \text{Anzahl untersuchter Fische} [\%] \quad \text{Formel 9}$$

$$\text{TDSF} = (\bar{X}_{\text{Fisch 1}} + \bar{X}_{\text{Fisch 2}} + \dots + \bar{X}_{\text{Fisch n}}) / \text{Anzahl untersuchter Fische} [\text{Stk.}] \quad \text{Formel 10}$$

3.7.2 Ergebnisse

Eine Übersicht über die Stückmassen der Zander, deren spezifische Wachstumsraten (SGR), Futterverwertung (FQ) und Überlebensraten ist in Tabelle 3.18 dargestellt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. *Ektoparasiten:* Im Laufe des Versuches wurden 144

Zander untersucht. Dabei konnten während des 21-tägigen Versuches in der *Internen Kontrolle* an keinem Probenahmetermin Ektoparasiten im Rahmen der lichtmikroskopischen Untersuchungen detektiert werden. Auf den Fischen in den KLA wurden zu Versuchsstart zwei verschiedene Ektoparasiten

mikroskopisch erfasst. Zum einen wurden Hakensaugwürmer auf den Kiemen der Zander festgestellt, die unter Berücksichtigung des Bestimmungsschlüssels von BAUER (1985) der Familie der Dactylogyridae zugeordnet werden konnten. Insgesamt wurden über alle Sichtfenster, Behandlungen und Untersuchungstage jedoch lediglich 30 Individuen nachgewiesen. Zum anderen wurden auf den Fischen zahlreiche Ciliaten festgestellt, die unter Berücksichtigung der Klassifikation von LOM u. DYKOVÁ (1992) der Familie der Trichodinidae zugeordnet werden konnten. Insgesamt wurden über alle Sichtfenster, Behandlungen und Untersu-

chungstage 4 565 Trichodinidae ermittelt (Abbildung 3.23).

Zu Versuchsbeginn bestand keine Korrelation zwischen der ermittelten Dichte der Ektoparasiten und den Konditionsfaktoren der infizierten Fische (Daten nicht dargestellt) aus den drei KLA ($r = 0,279$; $P = 0,099$; $n = 36$). Die Korrelation beinhaltet dabei sowohl den Befall der Fische mit Vertretern der Trichodinidae als auch zwei Individuen eines Vertreters der Dactylogyridae. Aufgrund des sehr geringen Befalls der Fische mit Hakensaugwürmer findet im Folgenden keine weitere Betrachtung dieser Ektoparasiten statt.

Tabelle 3.18: Start- und Endstückmassen, spezifische Wachstumsraten (SGR), Futterquotienten (FQ) und die Überlebensraten (MW \pm SD) der Zander in 0, 3 und 6 g NaCl l⁻¹ sowie der *Internen Kontrolle*. Startstückmassen: $n = 57$; Endstückmassen: $n = 33$; SGR und FQ: $n = 3$. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	<i>Interne Kontrolle</i>	p-Wert
Startstückmasse (g)	120 \pm 16	120 \pm 17	121 \pm 15	121 \pm 14	0,869
Endstückmasse (g)	134 \pm 21	125 \pm 24	132 \pm 24	134 \pm 26	0,425
SGR (% d ⁻¹)	0,37 \pm 0,05	0,27 \pm 0,21	0,39 \pm 0,03	0,51 \pm 0,05	0,284
FQ (kg Futter kg Zuwachs ⁻¹)	2,29 \pm 0,48	2,43 \pm 0,39	1,95 \pm 0,13	1,56 \pm 0,07	0,092
Überlebensrate (%)	100	100	100	100	-

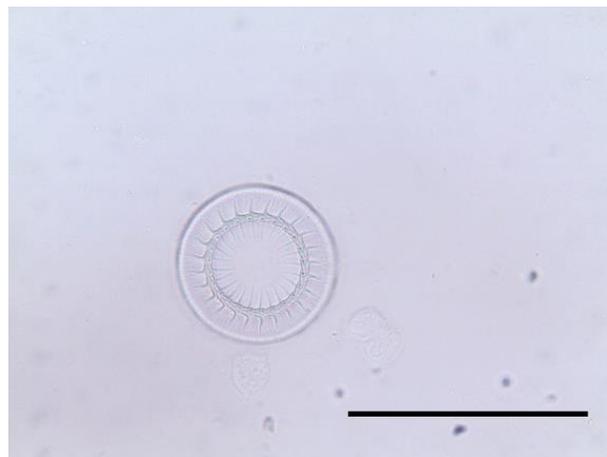


Abbildung 3.23: Photographische Aufnahmen eines Vertreters der Trichodinidae unter einem Lichtmikroskop bei 40facher Vergrößerung. Der Maßstabsbalken entspricht 100 µm.

In Tabelle 3.19 ist die Prävalenz pro KLA und Probenahmetag dargestellt. Zu Beginn des Versuches waren alle Zander in den drei Versuchsgruppen mit Trichodinidae infiziert. Im weiteren Versuchsverlauf änderte sich die Prävalenz der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹) nicht. Bis zum 7. Versuchstag war auch die Prävalenz bei den mit NaCl exponierten Zandern unverändert, ging jedoch bis zur Versuchsauflösung (21 d) deutlich zurück. Während in der Gruppe mit 3 g NaCl l⁻¹ weiterhin Fische infiziert waren, konnte bei den Zandern in 6 g NaCl l⁻¹ kein Vertreter der Trichodinidae mehr festgestellt werden. In Abbildung 3.24 ist die durchschnittliche Trichodinidae-Dichte pro Sichtfenster und Fisch (TDSF) in Abhängigkeit der Zeit und der NaCl-Zugabe dargestellt. Obwohl die durchschnittliche Dichte (MW ± SD) in der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹) mit 2,9 ± 1,9 TDSF im Mittel höher war als in den Expositionsgruppen mit 3 g

NaCl l⁻¹ (2,2 ± 1,1 TDSF) und 6 g NaCl l⁻¹ (2,1 ± 1,0 TDSF), bestanden keine signifikanten Unterschiede am Versuchstart (P = 0,648). Die ausgeprägtere Streuung der TDSF in der Kontrolle ist im Wesentlichen auf die hohe Stückzahl der auf den Kiemen lokalisierten Trichodinidae zurückzuführen (bis zu 60 Individuen pro Sichtfenster; Daten nicht separat dargestellt). Nach einer einwöchigen Haltung der Fische unter Kreislaufanlagenbedingungen nahmen die mittleren TDSF-Werte in der Kontrolle mit -6,4 % zwar geringfügig ab (2,7 ± 1,2 TDSF) waren jedoch signifikant höher als in der Expositionsgruppe mit 3 g NaCl l⁻¹ (0,6 ± 0,3 TDSF) und 6 g NaCl l⁻¹ (0,3 ± 0,5 TDSF) (P ≤ 0,001). In der Versuchskreislaufanlage mit 3 g NaCl l⁻¹ wurden nach einer Woche 71,4 % weniger TDSF ermittelt. Der höchste prozentuale TDSF Rückgang von -83,8 % fand in der Versuchskreislaufanlage mit 6 g NaCl l⁻¹ statt

Tabelle 3.19: Prävalenz der Trichodinidae (%) in Abhängigkeit der Kreislaufanlagen und Probenahmetagen. Pro Kreislaufanlage und Tag wurden 12 Zander entnommen und untersucht.

	Tag (d)	0 g NaCl l ⁻¹	3 g NaCl l ⁻¹	6 g NaCl l ⁻¹	Interne Kontrolle
Prävalenz (%)	0	100	100	100	0,0
Trichodinidae	7	100	100	100	0,0
	21	100	16,7	0,0	0,0

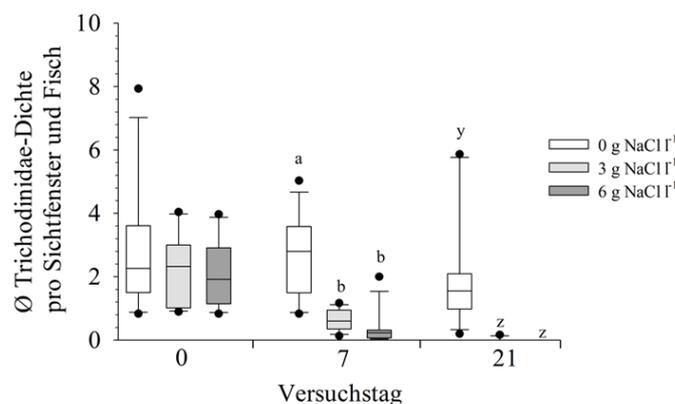


Abbildung 3.24: Durchschnittliche Trichodinidae-Dichte pro Sichtfenster und Fisch (TDSF) im Laufe des Versuches und in Abhängigkeit der NaCl-Zugabe zu den Kreislaufanlagen. Pro Kreislaufanlage und Tag wurden 12 Fische untersucht. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme sind mit einem Buchstaben gekennzeichnet.

Bei der Beendigung des Versuches (21 Tag) wurden in der Kontrolle $2,04 \pm 1,7$ TDSF ermittelt. Dieser Wert war signifikant höher als der der Fische in 3 g NaCl l⁻¹ ($0,02 \pm 0,05$ TDSF) und 6 g NaCl l⁻¹ (0 TDSF) ($P \leq 0,001$). Unter Berücksichtigung der vollständigen Versuchsdauer erfolgte ein prozentualer

3.7.3 Diskussion

Alle während des Versuches ermittelten Wasserwerte (Daten nicht dargestellt) befanden sich in einem für Zander optimalen physiologischen Bereich und sollen deshalb an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Das Wachstum aller Versuchsgruppen befand sich auf einem niedrigen Niveau. Das von MÜLLER-BELECKE u. ZIENERT (mdl. Mitt.) entwickelte Protokoll für die Zanderfütterung in KLA sieht für diese Fischgröße eine Futterverwertung von etwa 1,0 kg Futter kg Zuwachs⁻¹ und spezifische Wachstumsraten von 1,2 – 1,4 % d⁻¹ vor.

Das Wachstum ist einer der wichtigsten physiologischen Prozesse bei der Aufzucht von Fischen in der Aquakultur. Intensive Produktionsbedingungen können jedoch den Befall mit Parasiten und anderen Erregern begünstigen, die ihrerseits Einfluss auf das Wachstum nehmen. Ektoparasiten sind in der Lage, die individuelle Fitness von Fischen zu beeinträchtigen, indem sie das Verhalten, aber auch morphologische und physiologische Merkmale beeinflussen (BINNING u. a. 2013). Eine Infestation mit Ektoparasiten kann in einem reduzierten Wachstum der Fische resultieren (SANMARTIN DURAN u. a. 1991, YIN u. a. 2014). Zudem ist bei infizierten Fischen ein Rückgang der Futterverwertung beschrieben worden (YIN u. a. 2014). Die Effekte des reduzierten Wachstums bzw. der verringerten Futterverwertung in diesem Versuch können dabei neben dem versuchsbedingt unumgänglichen Handling der Tiere und dem spezifischen Aufbau der Versuchsanlagen (schmale Becken, hohe Wassersäule, geringe Besatzdichten) insbesondere der NaCl-Applikation und der notwendigen Adaptationsphase an die osmotischen Bedingungen zugeschrieben werden sowie auch dem Ektoparasitenvorkommen auf den Fischen. Eine exakte Trennung der Effekte

Rückgang der TDSF um 28,6 % in der Kontrolle, um 99,1 % in der 3 g NaCl l⁻¹ Behandlung und um 100 % in der 6 g NaCl l⁻¹ Behandlung. Trotz des Rückganges der TDSF um 28,6 % in der Kontrolle bestand in dieser Gruppe kein signifikanter Unterschied der TDSF an den Tagen 0, 7 und 21 ($P = 0,368$).

„NaCl“ und „Parasit“ ist an dieser Stelle nicht möglich. Dafür hätte der Versuch ausgeweitet und weitere Anlagen mit nichtinfizierten Zandern unter identischen Bedingungen geführt werden müssen.

Ektoparasiten: Auf den Fischen der *Internen Kontrolle* wurden zu keinem Zeitpunkt Ektoparasiten festgestellt. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass weder eine Kreuzkontamination zwischen den Anlagen, noch eine Kontamination mit Ektoparasiten über das täglich gewechselte Frischwasser stattgefunden hat.

Auf den Zandern der Anlagen mit 0, 3 und 6 g NaCl l⁻¹ wurden während des Versuches Vertreter der Familie der Trichodinidae festgestellt. Vertreter dieser Familie wurden sowohl bei in künstlichen Teichen aufgezogenen Jungzandern (RAHKONEN 1994) als auch bei adulten Zandern aus natürlichen Gewässern beobachtet (MOVAHED u. a. 2016) und können beim Transfer der Fische in KLA ein Problem hinsichtlich der Anlagenhygiene und damit für die Fischgesundheit darstellen (vgl. NÉMETH u. a. 2013).

Im Gegensatz zu Ergebnissen von kontrollierten Infestationsversuchen (BARKER u. a. 2002) konnte zu Versuchsbeginn kein Zusammenhang zwischen der Ektoparasitendichte und dem Konditionsfaktor der Fische festgestellt werden. Dies deutet auf einen Ektoparasitenbefall der Versuchsfische hin, der unabhängig vom individuellen Konditionsfaktor stattgefunden hat.

Trichodinidae sind einzellige Fischparasiten (AMLA-CHER 1986), die bei Draufsicht einen runden Körperbau und bei seitlicher Betrachtung eine glockenförmige Gestalt haben (SCHÄPERCLAUS 1990). Trichodinidae werden bis zu 100 µm groß (HOFFMANN 2005) und deren teilweise explosionsartige Vermehrung erfolgt asexuell durch einfache

Querteilung (AMLACHER 1986). Trichodinidae befallen die Haut und die Kiemen von Fischen. Mit ihrer Saugscheibe heften sie sich an ihren Wirt, ernähren sich aber nicht von diesem, sondern von Bakterien und organischem Material (COLLYMORE u. a. 2013). Frei im Wasser schwimmend, ist es den Ciliaten möglich, ihren Wirt zu wechseln (AMLACHER 1986). Trichodinosen, auch in Kombination mit anderen Ektoparasiten, können für Fischverluste verantwortlich gemacht werden (vgl. KHAN 1991, PEARSE 1972). Zur Behandlung von Trichodinosen ist neben der Verwendung von Chemikalien oder UV-C-Strahlung der Einsatz von Salz (NaCl) empfohlen (AMLACHER 1986, GRIGNARD u. a. 1996, SCHÄPERCLAUS 1990, SMITH u. SCHWARZ 2019). In der Regel kommen Kurzzeitbäder mit hohen NaCl-Konzentrationen zur Anwendung.

In der KLA ohne NaCl-Applikation wurden am Tag 0, 7 und 21 Trichodinidae auf den Zandern festgestellt. In den 21 Versuchstagen reduzierte sich die Trichodinidae-Dichte um insgesamt 28,6 %. Während eines 14-tägigen Versuches mit Zandern in KLA stellten NÉMETH u. a. (2013) ebenfalls einen Rückgang der Dichte von *Trichodina* sp. in der Kontrollgruppe (0 g NaCl l⁻¹) fest. Der beobachtete Rückgang in den Kontrollen lässt sich vermutlich auf die sich einstellenden Umweltverhältnisse in KLA zurückführen. Wasseruntersuchungen von mit *Trichodina jadratica* befallenen Aal-Aquakulturanlagen geben Hinweise darauf, dass bei höheren pH-Werten (6,2 – 7,4) und niedrigen Nitratkonzentrationen (33 – 113 mg NO₃⁻-N l⁻¹) häufiger Infestationen auftreten als in Anlagen mit niedrigeren pH-Werten (5,4 – 6,9) und hohen Nitratkonzentrationen (56 – 203 mg NO₃⁻-N l⁻¹) (vgl. MADSEN u. a. 2000). Damit kann der durch die Nitrifikation absinkende pH-Wert des Anlagenwassers mit dem gleichzeitigen Anstieg der Nitratkonzentration wahrscheinlich für den Rückgang der Trichodinidae in der Kontrolle (0 g NaCl l⁻¹) verantwortlich gemacht werden. In den mit 3 und 6 g NaCl l⁻¹ aufgesalzenen Anlagen könnten die sich im Versuchsverlauf ebenfalls veränderten Umweltparameter unterstützend zur NaCl-Applikation gewirkt haben.

Gegen Trichodinosen bei Süßwasserfischen kommt im Allgemeinen der Einsatz von 1,5 – 3 g NaCl l⁻¹ zur Anwendung (SMITH u. SCHWARZ 2019). Um Infestationen vorzubeugen und diese zu kurieren, werden in der intensiven Aufzucht von Flussbarschen (*Perca fluviatilis*) wiederholte Salzbäder mit 3 g l⁻¹ empfohlen (GRIGNARD u. a. 1996). In der hier vorliegenden Studie war ein 21-tägiges Dauerbad mit 3 g NaCl l⁻¹ zwar in der Lage, die Dichte der Ciliaten auf Zandern zu reduzieren (um 99,1 %), eine vollständige Elimination war jedoch nicht möglich. Wahrscheinlich ist die einmalige Anhebung der NaCl-Konzentration auf 3 g l⁻¹ bei Trichodinosen nicht ausreichend. Auch wenn sich die Ergebnisse der 3 und 6 g NaCl l⁻¹ Expositionsgruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden, kann es jedoch auch bei einer nur sehr geringen Prävalenz zu erneuten Infestationen kommen (vgl. JIMÉNEZ-GARCÍA u. a. 2012), insbesondere da sich Trichodinidae asexuell durch Querteilung vermehren. Ob stattdessen die von GRIGNARD u. a. (1996) wiederholten Expositionen mit 3 g NaCl l⁻¹ für die Abtötung von Trichodinidae auf Zandern ausreichen würden, sollte in weiteren Versuchen überprüft werden. Die Ergebnisse aus der Anlage mit 6 g NaCl l⁻¹ weisen jedoch darauf hin, dass eine höhere NaCl-Konzentration zur Inaktivierung von Trichodinidae benötigt wird.

In der KLA mit 6 g NaCl l⁻¹ wurde bereits an Tag 7 ein deutlicher Rückgang und am Tag 21 eine vollständige Reduktion festgestellt. Auch NÉMETH u. a. (2013) beschrieben eine vollständige Inaktivierung von *Trichodina* sp. auf juvenilen Zandern in KLA, allerdings bei einer geringeren NaCl-Konzentration (5 g l⁻¹) und in einem kürzeren Zeitraum (14 Tage). Um Kreuzkontaminationen zwischen den Becken zu verhindern, beinhaltete der Versuchsaufbau jedoch zwei in Reihe geschaltete 18 Watt UV-Strahler in der KLA. Der Effekt der Inaktivierung von *Trichodina* sp. von NÉMETH u. a. (2013) kann aus diesem Grund nicht ausschließlich auf die Salzapplikation im Dauerbad zurückgeführt werden, insbesondere, da sich in anderen Versuchen herausstellte, dass eine Übertragung von *Trichodina* (*Trichodina truttae*) von infizierten zu nicht infizierten

Salmoniden (*Oncorhynchus keta*) mit Hilfe von UV-C-Strahlung vollständig unterbinden lässt (MIZUNO u. a. 2019).

Eine wichtige, jedoch subjektive Beobachtung während der Probenahmen war zudem, dass die Zander in der 6 g NaCl l⁻¹ KLA eine wesentlich geringere Schleimhautdicke aufwiesen als die Fische aus der Kontrolle und der 3 g NaCl l⁻¹ KLA. Vielmehr fühlten sich die Fische sogar „trocken“ an. Auch SCHÄPERCLAUS (1990) beschreibt dieses Phänomen für in hypertonen NaCl-Lösungen behan-

delte Fische. Als Folge der erhöhten Natriumkonzentrationen schleimen Fische stark ab, wodurch dann die Ektoparasiten zusammen mit dem Schleim abgestoßen werden. Da sich die Parasiten dann allerdings immer noch in der KLA befinden und einen anderen Fisch befallen könnten (vgl. MIZUNO u. a. 2019), liegt die Vermutung nahe, dass 6 g NaCl l⁻¹ die Fische zum einen von einem Befall mit Trichodinidae befreit und zum anderen durch eine osmotische Druckdifferenz für eine effektive Reduzierung selbiger sorgt.

3.7.4 Fazit

Im Vergleich mit der *Internen Kontrolle* waren das Wachstum und die Futterverwertung der mit Ektoparasiten infizierten Zander in den Anlagen mit NaCl-Applikation reduziert. Es wird angenommen, dass sowohl der Befall mit Parasiten als auch die notwendige Anpassung an neue osmotische Bedingungen dafür verantwortlich waren. Von den mit Ektoparasiten befallenen Zandern wiesen die mit 6 g NaCl l⁻¹ behandelten Fische die beste Futterverwertung und die höchsten spezifischen Wachstumsraten auf.

Die Dichte der Trichodinidae in der Kontrolle reduzierte im Laufe der Zeit auch ohne die Zugabe von NaCl. Diese Abnahme der Trichodinidae-Dichte ist vermutlich auf die sich ändernden Umweltbedingungen in KLA (Absinken des pH-Wertes, Erhöhung der Nitratkonzentrationen) zurückzuführen.

Bei dem Einsatz von 3 g NaCl l⁻¹ wurde die Trichodinidae-Dichte zwar signifikant reduziert, jedoch

nicht vollständig eliminiert, weshalb es u. U. zu Reinfestationen kommen könnte (vgl. JIMÉNEZ-GARCÍA u. a. 2012). Demnach sind zur Bekämpfung von Trichodinidae bei der Zanderaufzucht in KLA 3 g NaCl l⁻¹ als Dauerbad für 21 Tage nicht ausreichend. Allerdings ist mit diesem Versuch der Nachweis gelungen, dass mit Hilfe von 6 g NaCl l⁻¹ die Trichodinidae-Dichte auf Zandern mit Stückmassen von 120 g unter Bedingungen der Kreislaufanlagenbewirtschaftung und ohne den Einsatz von Chemikalien / Medikamenten vollständig auf null gesenkt werden kann. Da zwischen dem 7. und 21. Tag keine weitere Beprobung stattgefunden hatte, muss vorsorglich davon ausgegangen werden, dass 6 g NaCl l⁻¹ im Dauerbad über einen Zeitraum von 21 Tagen bei Wassertemperaturen von 22 – 23 °C für die erfolgreiche Behandlung von Trichodinidae-Infestationen bei Zandern angesetzt werden müssen.

3.8 Eine ökonomische Betrachtung der Zanderaufzucht unter Brackwasserbedingungen in Kreislaufanlagen

3.8.1 Materialien und Methoden

Im Anschluss an die praktischen Versuchsdurchführungen wurde eine Modellierung des möglichen ökonomischen Einsparpotentials sowie des Ressourceneinsparpotentials vorgenommen. Auf Grundlage vorhandener ökonomischer Betrachtungen zur Zanderaufzucht in KLA von MÜLLER-BELECKE (2010, 2012, 2017, 2021a) sowie MEYER u. a.

(2016), SCHMIDT u. a. (2017) und TACKEN (2018) sollen die Kosten und Nutzen der kontinuierlichen NaCl-Applikation (3 g l⁻¹) berücksichtigt werden. Für die Kalkulationen wird eine Jahresproduktion von 100 t Zander angenommen. Die in der folgenden Tabelle 3.20 hinterlegten Parameter bilden die Grundlagen für die Modellierung.

Alle Preise verstehen sich netto zzgl. Umsatzsteuer. Der gewählte Risikoansatz geht von einem Totalausfall der Produktion alle sieben Jahre (6,25) aus. Die Kosten für das Kapital sind mit 3 % und Jahr angesetzt worden und unter dem Kostenpunkt „Sonstiges“ befinden sich monetäre Aufwendungen für Puffersubstanzen zur Stabilisierung des pH-Wertes, einer Kohlenstoffquelle für die Denitrifikationsstufe, Verbrauchsmitteln für die Anlagenhygiene, Tierarztkosten und sonstigen Beiträge (MÜLLER-BELECKE 2017, 2021a). Für das Jahr 2019 wurde vom Statistischen Bundesamt (DESTATIS 2020) folgende mittlere Preise für

Zander (lebend oder frisch geschlachtet - auch ausgenommen) in vier verschiedenen Vermarktungswegen angegeben:

Direktvermarktung:	18,42 €
Vermarktung an Großhandel:	14,04 €
Vermarktung an Einzelhandel:	10,22 €
Vermarktung an Sonstige:	16,90 €

Diese Preise werden als Grundlage für den Vergleich einer Aufzucht mit und ohne Zugabe von NaCl verwendet.

Tabelle 3.20: Annahmen zur Modellierung des NaCl Einsatzes bei einer jährlichen Zanderaufzucht von 100 t in einer geschlossenen KLA nach MÜLLER-BELECKE (2017, 2021a).

100 t Speisefischaufzucht			
Einsatz einer Denitrifikationsstufe			
150 l Frischwasser / kg Futter			
Kostenpunkt	Einheit	Menge	€/Einheit
KLA 900 m ³ ^I		1	1.800.000
Halle 2000 m ² ^{II}		1	1.200.000
Setzlinge (10g)	Stk.	120 000	1,20
Trockenfuttermittel ^{III}	t	110	1.600
Wasser/Abwasser	m ³	16 500	2,50
Elektroenergie (30 kW)	kWh	260 000	0,35
Heizenergie (7 kWh / kg)	kWh	700 000	0,07
Sauerstoff	t	100	200
NaCl ^{IV}	t	52,2	200
Arbeitskraft ^V	€	1	130.000
Kapital (3 %)	€	1	90.000
Abschreibung	€	1	220.000
Sonstiges	€	1	35.000
Risikoansatz	%	1	16

^I 10 Jahre Abschreibung

^{II} 30 Jahre Abschreibung

^{III} Futterquotient: 1,1

^{IV} Einmalige Aufsatzung der Anlage sowie Aufrechterhaltung von 3 g NaCl l⁻¹.

^V Betriebsleitung (72.000 €/a), Angestellte (50.000 €/a), Hilfskräfte (8.000 €/a)

3.8.2 Ergebnisse und Kommentare

In Tabelle 3.21 sind die anzunehmenden Gesteungskosten bei einer Zanderproduktion von 100 t in einer geschlossenen KLA ohne den kontinuierlichen Einsatz von NaCl dargestellt. Die Gesteungs-

kosten für 100 t Speisezander belaufen sich auf 1.155.650 € bzw. auf 11,56 € pro Kilogramm Zander. Bei diesen Gesteungskosten kann der wirtschaftlich sinnvolle Absatz also in der Direktvermarktung,

an den Großhandel sowie an Sonstige (Gastronomie, Angelparks, Aquakulturbetriebe und weiterverarbeitende Betriebe) erfolgen (vgl. Preise DESTATIS 2020). Die zu erzielenden mittleren Preise bei der Vermarktung an den Einzelhandel befinden sich unterhalb der Gesteungskosten.

Ökonomisches Einsparpotential: In den Versuchen wurde deutlich, dass beim Einsatz von NaCl während der Zanderaufzucht eine Wachstumssteigerung zu erwarten ist. Auf Grundlage der Ergebnisse des Langzeitversuches wird bei einer kontinuierlichen Applikation von 3 g NaCl l⁻¹ ein Wachstumsvorteil von 5 % angenommen. Tabelle 3.22 stellt die Gesteungskosten bei einer identischen Produktion dar, jedoch unter der Annahme, dass mit denselben Ressourcen sowie dem Zusatz von NaCl insgesamt 105 t Zander produziert werden können. Bei dem Einsatz von NaCl (3 g l⁻¹) und einer um 5 % höheren Produktion (105 t) sind die Gesteungskosten mit 1.167.760 € zwar höher, allerdings

reduzieren sich gleichzeitig die Kosten pro Kilogramm produziertem Fisch um 0,44 € auf 11,12 €. Das ökonomische Einsparpotential pro produziertem Kilogramm Fisch bei dem Einsatz von NaCl beträgt etwa 3,8 %. Mit Gesteungskosten von 11,12 € wäre ein kostendeckender Absatz von Zandern an den Einzelhandel nicht möglich (vgl. Preise DESTATIS 2020).

Einsparung von Ressourcen: Neben dem ökonomischen Einsparpotential kann ebenso eine Einsparung von Ressourcen kalkuliert werden. Hierfür wird durch den Einsatz von NaCl eine Einsparung von 5 % aller Produktionsressourcen angenommen. Wesentliche Inputfaktoren bzw. variable Kosten bei der Aufzucht von Fischen in der Aquakultur sind Futter, Setzlinge, Wasser und Energie. Tabelle 3.23 stellt die Gesteungskosten für 100 t Speisezander beim Einsatz von NaCl (3 g l⁻¹) und einer 5%igen Einsparung aller Ressourcen dar.

Tabelle 3.21: Gesteungskosten bei einer Produktion von 100 t Speisezander in einer geschlossenen KLA nach MÜLLER-BELECKE (2017, 2021a).

Kostenpunkt	Einheit	Menge	€/Einheit	Betrag €	Anteilig %
Setzlinge 10 g	Stk.	120 000	1,20	144.000	12,5
Trockenfuttermittel	t	110	1.600	176.000	15,2
Wasser/Abwasser	m ³	16 500	2,50	41.250	3,6
Elektroenergie	kWh	260 000	0,35	91.000	7,9
Heizenergie	kWh	700 000	0,07	49.000	4,2
Sauerstoff	t	100	200	20.000	1,7
NaCl	t	-	-	-	-
Arbeitskraft	€	1	130.000	130.000	11,2
Kapital	€	1	90.000	90.000	7,8
Abschreibung	€	1	220.000	220.000	19,0
Sonstiges	€	1	35.000	35.000	3,0
Summe Kosten	€			996.250	
Risikoansatz				159.400	13,8
Gesteungskosten 100 t Speisezander				1.155.650	100
Gesteungskosten pro kg Speisezander				11,56	

Tabelle 3.22: Gesteigungskosten bei einer Produktion von 105 t Speisezander in einer geschlossenen KLA nach MÜLLER-BELECKE (2017, 2021a) unter der Annahme einer kontinuierlichen NaCl-Applikation (3 g l⁻¹) und einem daraus resultierenden Wachstumsvorsprung von 5 %.

Kostenpunkt	Einheit	Menge	€/Einheit	Betrag €	Anteilig %
Setzlinge 10 g	Stk.	120 000	1,20	144.000	12,3
Trockenfuttermittel	t	110	1.600	176.000	15,1
Wasser/Abwasser	m ³	16 500	2,50	41.250	3,5
Elektroenergie	kWh	260 000	0,35	91.000	7,8
Heizenergie	kWh	700 000	0,07	49.000	4,2
Sauerstoff	t	100	200	20.000	1,7
NaCl	t	52,2	200	10.440	0,9
Arbeitskraft	€	1	130.000	130.000	11,1
Kapital	€	1	90.000	90.000	7,7
Abschreibung	€	1	220.000	220.000	18,8
Sonstiges	€	1	35.000	35.000	3,0
Summe Kosten	€			<u>1.006.690</u>	
Risikoansatz				161.070	13,8
Gesteigungskosten 105 t Speisezander				1.167.760	100
Gesteigungskosten pro kg Speisezander				11,12	

Tabelle 3.23: Gesteigungskosten bei einer Produktion von 100 t Speisezander nach MÜLLER-BELECKE (2017, 2021a) unter der Annahme einer Ressourceneinsparung von 5 %.

Kostenpunkt	Einheit	Menge	€/Einheit	Betrag €	Anteilig %
Setzlinge 10 g	Stk.	114 000	1,20	136.800	12,0
Trockenfuttermittel	t	105	1.600	167.200	14,7
Wasser/Abwasser	m ³	15 675	2,50	39.188	3,4
Elektroenergie	kWh	247 000	0,35	86.450	7,6
Heizenergie	kWh	665 000	0,07	46.550	4,1
Sauerstoff	t	95	200	19.000	1,7
NaCl	t	52,5	200	10.440	0,9
Arbeitskraft	€	1	130.000	130.000	11,4
Kapital	€	1	90.000	90.000	7,9
Abschreibung	€	1	220.000	220.000	19,3
Sonstiges	€	1	35.000	35.000	3,1
Summe Kosten	€			<u>980.628</u>	
Risikoansatz				156.900	13,8
Gesteigungskosten 100 t Speisezander				1.137.528	100
Gesteigungskosten pro kg Speisezander				11,38	

Bei einer angenommenen Ressourceneinsparung von 5 % reduzieren sich die Gesteungskosten im Vergleich zur Aufzucht von 100 t Speisezandern um etwa 2,6 %. Die Gesteungskosten pro Kilogramm Fisch sind mit 11,38 € um 0,18 € geringer als beim Verzicht auf den Einsatz von NaCl. Das modellierte, ökonomische Einsparpotential ist höher als das Ressourceneinsparpotential. Mit Blick auf das Einsparen von Ressourcen, ist die Zugabe von NaCl vorsichtig als positiv einzuschätzen. Allerdings kann auch bei dieser Modellierung die Vermarktung an den Einzelhandel nicht kostendeckend realisiert werden.

Bei den Modellierungen sind unbedingt Standort- und Skalierungseffekte zu berücksichtigen, die bei verschiedenen dimensionierten Anlagen auftreten können. Mit Blick auf die Ressource Wasser/Abwasser bedeutet dies, dass zunächst der Preis pro Kubikmeter standortabhängigen Schwankungen unterliegen kann (landwirtschaftliche Fläche vs.

Industriestandort im Gewerbegebiet). Zusätzlich zum Preis ist aber auch der Frischwasserverbrauch pro Kilogramm eingesetztem Futtermittel ein wichtiger Faktor. Je nach verwendeter Anlagentechnik (Siebtrommelfilter) kann der Spülwasserbedarf deutlich variieren. Die kleinskaligeren Siebtrommelfilter des Langzeitversuches führten zu einem Frischwasserbedarf von rund 0,4 m³ pro Kilogramm Futtermittel, bei der Verwendung großskaligerer Filter ist jedoch mit einem deutlich geringeren Spülwasserbedarf von rund 0,2 m³ pro Kilogramm Futter zu rechnen (MÜLLER-BELECKE u. a. 2021b). Zudem wird die Effektivität der Denitrifikationsstufe einen Einfluss darauf haben, wie viel Nitrat sich in der Haltungsumwelt anreichert und wie viel Wasser tatsächlich gewechselt werden muss. Eng mit der Frischwasserzufuhr ist dann wiederum der Faktor „Heizenergie“ verbunden, da das zulaufende Wasser auf die gewünschte Temperatur erwärmt werden muss.

4. Ableitung von Praxisempfehlungen

Die gewonnenen Ergebnisse lassen als den Rückschluss zu, dass die Aufzucht von Zandern unter Zugabe von NaCl in geschlossenen Kreislaufanlagen möglich ist. Auf Grundlage der Ergebnisse kann bei allen ontogenetischen Stadien des Zanders, von sich im Ei entwickelnden Embryos, schwimm- und fressfähigen Larven, trockenfutteradaptierten Jungzandern, Setzlingen und speisefähigen Fischen, von positiven Effekten durch den Einsatz von Kochsalz (NaCl) ausgegangen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Applikation von NaCl in der kreislaufbasierten Zanderaquakultur während des gesamten Produktionszyklus zur Anwendung kommen kann. Bei der Applikation von NaCl ist es jedoch wichtig zu berücksichtigen, dass sich die jeweils für die Zanderhaltung optimale NaCl-Konzentration im Laufe der Ontogenese verändert. Im

Süßwasser befruchteter Zanderlaich kann in Wasser mit bis zu 6 g NaCl l^{-1} transferiert und erbrütet werden, ohne dass es zu einer Veränderung der embryonalen Entwicklung oder zu erhöhten Mortalitäten kommt. Konzentrationen von 9 und 12 g NaCl l^{-1} werden hingegen nur eingeschränkt bzw. nicht toleriert. Schwimm- und fressfähige Zanderlarven, denen Lebendfutter verabreicht wird, wachsen unter einer NaCl-Konzentration von 6 g NaCl l^{-1} signifikant besser als unter Süßwasserbedingungen und 3 g NaCl l^{-1} . Für trockenfutteradaptierte Zander ab einer Stückmasse von $0,4 \text{ g}$ wurde ein optimale NaCl-Konzentration von 3 g l^{-1} festgestellt. Eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse ist als „Ampel für den NaCl-Einsatz bei der Aufzucht von Zandern in Kreislaufanlagen unter Berücksichtigung der Ontogenese“ in Abbildung 4.1 dargestellt.

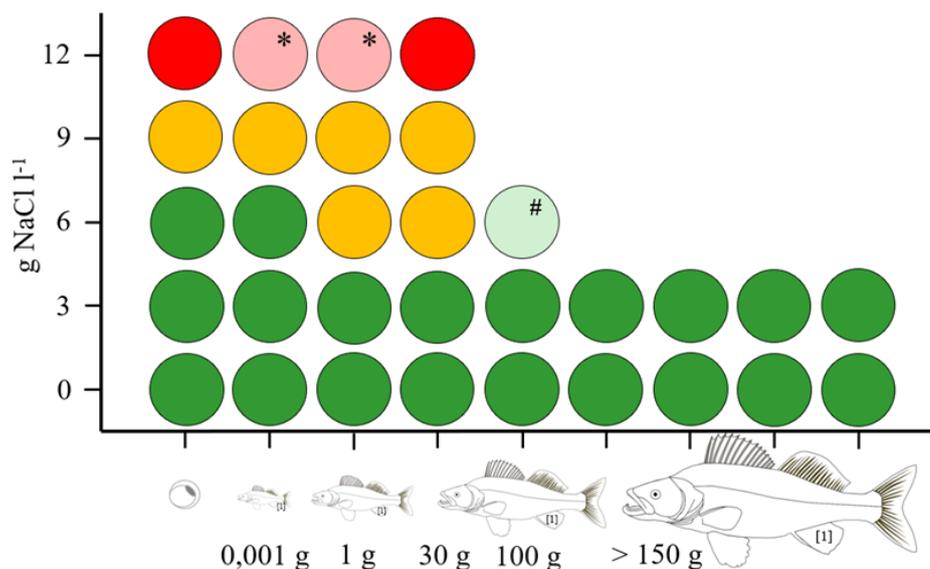


Abbildung 4.1: Die Ampel für den NaCl-Einsatz bei der Aufzucht von Zandern in Kreislaufanlagen unter Berücksichtigung der Ontogenese. Grün: Konzentrationen können eingesetzt werden. Orange: es wurde eine verringerte Performance beobachtet. Rot: nicht anzuwenden. * diese Konzentration wurde nicht experimentell untersucht: mit hoher Wahrscheinlichkeit wird die Konzentration von Zandern nicht toleriert. # zur abschließenden Evaluierung wären weiterführende Untersuchungen wünschenswert. Quelle: [1] Zander: www.pixabay.de.

Welche Ursachen für die Veränderung der optimalen NaCl-Konzentration im Laufe der Entwicklung zu Grunde liegen, kann nur vermutet werden. Es wird angenommen, dass dies mit der Ausdifferenzierung der an der Osmoregulation beteiligten Organe, einer einhergehenden Umstellung der Gesamtphysiologie sowie einer Veränderung der Ernährung zusammenhängt. Möglicherweise hat auch der Zeitpunkt der Adaptation an NaCl einen Einfluss auf die optimale NaCl-Konzentration. Zur abschließenden Beurteilung bedarf es weiterführender Untersuchungen.

Zusätzlich zu der Erkenntnis, dass sich die optimale NaCl-Konzentration bei Haltung und Aufzucht von Zandern während der Ontogenese verändert, weisen die gewonnenen Erkenntnisse darauf hin, dass eine Festlegung einer optimalen Salzkonzentration für eine Fischart nicht pauschal, sondern idealerweise immer in Abhängigkeit der Alters- bzw. Entwicklungsstufen stattfinden sollte. Ferner lassen die Versuchsergebnisse den Rückschluss zu, dass sich die Toleranz von Zandern gegenüber NaCl mit zunehmender Stückmasse bzw. steigendem Lebensalter erhöht.

Ferner benötigen die Tiere einen gewissen Zeitraum, um sich an die neuen Umweltbedingungen zu gewöhnen. Für juvenile Zander sollte bei wiederholtem Handling vorerst von einer Adaptationsphase von mindestens 36 Tagen ausgegangen werden.

Einsparung von Ressourcen: Die Wachstumsleistung von Fischen während ihrer Aufzucht in der Aquakultur ist einer der entscheidendsten Parameter. Wird während der Aufzucht von Zandern die jeweils optimale NaCl-Konzentration ($3 - 6 \text{ g l}^{-1}$) appliziert, so verbessern sich im Vergleich zur herkömmlichen Süßwasserhaltung das Wachstum und die Futtermittelverwertung. Auf Basis der mittleren Endstückmassen wurden in den Versuchen Wachstumsvorsprünge von 3 bis 24 % beobachtet.

Zur Entfernung von Fehlgerüchen in Fischen ist am Ende der Mastphase eine Hälterung in Frischwasser notwendig. Die gewonnenen Erkenntnisse der sensorischen Verkostigung lassen den Rückschluss zu, dass die Applikation von 3 g NaCl l^{-1} im Vergleich zur

Süßwasserkontrolle in einer geschmacklichen Verbesserung der Endprodukte resultiert hat. Bei identischer Hälterung, Verarbeitung und Zubereitung kann daher bei der Aufzucht mit NaCl mit einer verkürzten Zeitspanne für die Hälterung ausgegangen werden.

Sowohl die Verbesserung des Wachstums und der Futtermittelverwertung, als auch die sensorische Verbesserung und die Verkürzung der Hälterung in Frischwasser können als wichtige ökonomische Vorteile für die Aquakulturpraxis bewertet werden.

Verbesserung von Tierwohl Tiergesundheit und Anlagenshygiene: Die Applikation von Salzen ist in der Aquakultur mit einer Vielzahl von positiven Effekten verbunden. Mit Blick auf das Tierwohl und die Tiergesundheit von Zandern in Kreislaufanlagen, die mit einer NaCl-Zugabe betrieben werden, liefert die vorliegende Arbeit verschiedene Erkenntnisse.

Zunächst ist anzumerken, dass das Protokoll einer moderaten Aufsalzung (3 g NaCl l^{-1} und Tag) bei den juvenilen Zandern keinen Stress ausgelöst hat. Es konnten weder erhöhte Cortisol- noch erhöhte Glukosespiegel im Blutplasma der Tiere festgestellt werden. Insbesondere ein Anstieg der Glukosekonzentration wäre ein deutlicher Indikator für eine sekundäre Stressreaktion gewesen (BARTON u. IWAMA 1991, IWAMA 1998). Demzufolge ist eine stufenweise Erhöhung der NaCl-Konzentration von maximal 3 g l^{-1} und Tag, als für die Tiere unbedenklich einzustufen und wird deshalb für die Aquakulturpraxis empfohlen, wenn z. B. im Rahmen einer Ektoparasitenbehandlung höhere NaCl-Konzentrationen notwendig wären.

Zusätzlich ist aus den Cortisolwerten abzuleiten, dass eine Exposition von juvenilen Zandern mit 3 g NaCl l^{-1} für 24 Stunden den Cortisolspiegel und damit das Stresslevel der Tiere signifikant reduziert. Aus diesem Grund wird die Applikation von 3 g NaCl l^{-1} im Anschluss an Sortier- und Umsetzvorgängen empfohlen.

Anhand des Wachstums können Rückschlüsse auf das Wohlbefinden von Fischen gezogen werden. In den Versuchen wurde festgestellt, dass der Einsatz von NaCl zu einer Verbesserung des Wachstums und Steigerung der Futtermittelverwertung führte.

HUNTIGFORD u. a. (2006) beschreiben eine Verschlechterung der Futteraufnahme und des Wachstums als Anzeichen für eine Beeinträchtigung des Tierwohles. Bei Zulässigkeit des Umkehrschlusses, können die beobachteten Verbesserungen dieser Parameter beim Einsatz von NaCl als Anzeichen für eine Verbesserung des Tierwohls der Zander interpretiert werden.

Sowohl aus dem 78-tägigen Versuch mit juvenilen Zandersetzlingen als auch aus dem 252-tägigen Langzeitversuch kann geschlussfolgert werden, dass bei einer kontinuierlichen Exposition von Zandern mit 3 g NaCl l^{-1} keine, die Tiergesundheit betreffenden, negativen Effekte zu erwarten sind. Der Einsatz von NaCl kann demnach auch langfristig zur Anwendung kommen.

Mit Blick auf die Tiergesundheit von Zandern in KLA lassen die vorliegenden Untersuchungen den Rückschluss zu, dass NaCl erfolgreich zur Behandlung von Ektoparasiten eingesetzt werden kann. Mit Hilfe von 6 g NaCl l^{-1} war es möglich die Dichte eines Vertreters der Trichodinidae auf den Zandern auf null zu reduzieren. Somit kann bei einem Befall mit Trichodinidae auf eine Behandlung mit herkömmlichen Therapeutika verzichtet werden. Da die stufenweise Erhöhung der NaCl-Konzentration auf 6 g l^{-1} keinen Stress bei den Tieren ausgelöst haben dürfte, kann im Vergleich zu herkömmlichen Therapeutika von einer stressfreien Behandlung

ausgegangen werden (vgl. GRIFFIN u. a. 1999). Durch die prophylaktische Wirkung auf Parasiten und möglicherweise auch weiteren Pathogenen, ist unter Praxisbedingungen von einem verminderten Therapeutika- und Desinfektionsmitteleinsatz sowie geringeren Tierarztkosten auszugehen. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist die zu erwartende erhöhte Verbraucherakzeptanz gegenüber Kochsalz (NaCl) in Zeiten einer anhaltend erregten Diskussion über den Antibiotikaeinsatz bei der Tiermast sowie einer Emissionsvermeidung von Medikamentenrückständen oder Desinfektionsmitteln über das Ablaufwasser.

Ein weiterer positiver Effekt ist bei der Erbrütung der Zandereier unter der Zugabe von Salz beobachtet worden. Im Vergleich mit der Süßwasserkontrolle verringerten sowohl 3 als auch 6 g NaCl l^{-1} die Verpilzungsraten der Eier deutlich. Damit kann auch auf die Verwendung von Desinfektionsmitteln, wie Formaldehyd oder Peroxidverbindungen (LAHNSTEINER u. KLETZL 2016, RACH u. a. 1998), potentiell verzichtet werden.

Ein positiver Nebeneffekt einer kontinuierlich aufgesalzene Haltungsumwelt ist ein verringertes Risiko, dass, bei gelegentlich auftretenden Leistungsschwankungen der Biofilter, fischtoxische Stickstoffverbindungen (Ammoniak, Nitrit) die Tiere negativ beeinflussen können.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Studie war die systematische Untersuchung des Einsatzes von niedrigen, dem Brackwasser ähnlichen Natriumchloridkonzentrationen während der Haltung von Zandern (*Sander lucioperca*) in geschlossenen Kreislaufanlagen.

In Versuchen wurde die jeweils optimale Konzentration (0 – 12 g NaCl l⁻¹) von Zandern im Laufe ihrer ontogenetischen Entwicklung bestimmt. Dies geschah sowohl mit Embryonen im Ei als auch schwimm- und fressfähigen Larven, trockenfutteradaptierten Jungzandern, Setzlingen und speisefähigen Fischen. Die optimale NaCl-Konzentration variiert während der Ontogenese. In Süßwasser befruchteter Zanderlaich kann mit bis zu 6 g NaCl l⁻¹ inkubiert werden. Das Wachstum von Larven kann durch eine NaCl-Applikationen von 6 g l⁻¹ signifikant gegenüber der Aufzucht in 3 g NaCl l⁻¹ und Süßwasser gesteigert werden. Die trockenfutteradaptierten Jungzander (0,4 g Startstückmasse) wuchsen in Wasser mit 0 und 3 g NaCl l⁻¹ signifikant besser als in 6 und 9 g NaCl l⁻¹. Die Jungzander in 3 g NaCl l⁻¹ wiesen geringfügig höhere Endstückmassen sowie eine geringere Mortalität auf als die Fische der Süßwasserkontrolle. Für Zandersetzlinge mit 30 g Startstückmasse wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt. Die Tiere in 3 g NaCl l⁻¹ wiesen im Vergleich mit der Süßwasserkontrolle einen Wachstumsvorsprung von etwa 8 % auf; allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant. Die Zandersetzlinge waren in der Lage NaCl-Konzentrationen von 6 und 9 g l⁻¹ für mindestens 36 Tage tolerieren, reagierten allerdings mit einem stark verringerten Körperwachstum bzw. einer Wachstumsdepression. 12 g NaCl l⁻¹ war für diese Entwicklungsstufe toxisch.

Die Aufsäulung der Haltungsumwelt mit maximal 3 g NaCl l⁻¹ und Tag induzierte keine Stressantwort bei den juvenilen Zandersetzlingen und kann daher

für die Praxis empfohlen werden. Zusätzlich hatten 3 g NaCl l⁻¹ kurzfristig einen stressmindernden Effekt auf die Tiere, weshalb im Anschluss an Sortiervorgänge NaCl appliziert werden sollte.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Langzeitversuch (252 Tage) durchgeführt, in dem Zander in zwei identischen Kreislaufanlagen mit einer Zugabe von 0 bzw. 3 g NaCl l⁻¹ vom Setzling (30 g Stückmasse) bis zum speisefähigen Fisch aufgezogen wurden. Die Anwendung von NaCl unter praxisnahen Bedingungen war dabei problemlos möglich. Am Ende des Versuches wurde bei der identischen Bewirtschaftung eine signifikant höhere Fischbiomasse in der Anlage mit 3 g NaCl l⁻¹ festgestellt. Zudem konnten keine Effekte der kontinuierlichen NaCl-Applikation bei den erhobenen Gesundheits- und auch Schlachtkörperparametern festgestellt werden. Bei der sensorischen Verköstigung wurden die Filets von den Fischen aus der Anlage mit NaCl-Applikation hinsichtlich des Merkmals „Geschmack“ signifikant bevorzugt.

In einem weiteren Versuch wurden Zander aus einer Netzgehegeanlage des Sacrower Sees in Kreislaufanlagen überführt. Innerhalb eines 21-tägigen Zeitraumes wurde überprüft, ob die sich natürlicherweise auf den Zandern befindlichen Ektoparasiten mittels NaCl-Gaben (0, 3, 6 g l⁻¹) reduzieren bzw. sogar eliminieren lassen. Mit Hilfe einer kontinuierlichen Exposition von 6 g NaCl l⁻¹ konnte die Ektoparasitendichte eines Vertreters der Familie der Trichodidinae vollständig eliminiert werden.

Aus den dargestellten Untersuchungsergebnissen kann geschlossen werden, dass Kochsalz (NaCl) – bei einer sachgemäßen Anwendung – einen wichtigen Beitrag während der Aufzucht und Haltung von Zandern in geschlossenen Kreislaufanlagen leisten kann.

6. Danksagung

Die Autoren dieser Broschüre möchten sich zu allererst bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung des Projektes bedanken (Aktenzeichen 32098/01-34).

Für die finanzielle Unterstützung bei der Erstellung dieser Broschüre geht ein herzlicher Dank an die vier Trägerländer des IfB: Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen.

Sebastian von Plessen (geb. Kaufhold, 1982 – 2017), Du hast große Teile des Projektantrages formuliert, Forschungshypothesen aufgestellt und die Versuche vorgeplant. Dafür gebührt Dir ein ganz besonderer Dank!

Harish Muhammad hat im Rahmen dieses Projektes seine Studien- und Masterarbeit verfassen können. Vielen Dank für Deine Hilfe bei dem Ektoparasitenversuch sowie Deinen unermüdlichen Einsatz am Mikroskop.

Die Autoren vom IfB möchten sie zudem aufrichtig bei den Kolleginnen und Kollegen des Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) für die Hilfestellung bei den Probenahmen sowie den Laboranalysen bedanken.

7. Veröffentlichungen, Präsentationen und Beiträge im Rahmen des Projektes

Studien-, Masterarbeit und Dissertationsschrift:

MUHAMMAD, H. (2019). Gill integrity of juvenile pike-perch (*Sander lucioperca*) under saline conditions in the recirculating aquaculture system (RAS). Studienarbeit im Masterprogramm „Fish Biology, Fisheries and Aquaculture“ der Humboldt-Universität zu Berlin, 24 S.

MUHAMMAD, H. (2020). Examination of the effects of elevated NaCl concentrations on the burden of the ectoparasites Trichodinids and Dactylogyrids

for pikeperch (*Sander lucioperca*) maintained in recirculating aquaculture systems. Abschlussarbeit im Masterprogramm „Fish Biology, Fisheries and Aquaculture“ der Humboldt-Universität zu Berlin, 77 S.

NAAS, C. (2021). Die Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen in geschlossenen Kreislaufanlagen. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, 243 S.

Poster:

MUHAMMAD, H., NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2019): Gill integrity of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) under saline conditions in recirculating aquaculture system. Posterausstellung Deutscher Fischereitag, Magdeburg, 20.08.2019

MUHAMMAD, H., NAAS, C., MÜLLER-BELECKE, A., KLOAS, W. (2021). Examination of the effects of elevated NaCl concentrations on the burden of the ectoparasites Trichodinids and Dactylogyrids of pikeperch (*Sander lucioperca*) maintained in recirculating aquaculture systems (RAS). ePoster, Aquaculture Europe 2020 (online), 12.-14.04.2021.

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2018): Effekte von Brackwasser auf juvenile Zander (*Sander lucioperca*) in Kreislaufanlagen (KLA). Posterausstellung Deutscher Fischereitag, Lübeck, 28.08.2018

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2019): Individual growth performance of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) under saline conditions in recirculating aquaculture systems (RAS). Posterausstellung Aquaculture Europe 2019, Berlin, 07.-10.10.2019

Vorträge:

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2018). Production of pike-perch under brackish water condition in RAS. Doktoranden Kolloquium am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin, 18.10.2018

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2019): Short-term physiological effects of brackish water on juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) in recirculating aquaculture systems. International Symposium of the European Inland Fisheries and Aquaculture Advisory Commission (EIFAAC), Dresden, 10.09.2019

NAAS, C., MÜLLER-BELECKE, A. (2019). Die Haltung von Zandern (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen in geschlossenen Kreislaufanlagen. Eine Projektvorstellung für Mitarbeitende des Fischereiabgabenausschusses des Landes Schleswig-Holstein. Potsdam-Sacrow, 24.09.2019

NAAS, C., KLOAS, W. (2019): Meta-Analysis of growth performance of freshwater fishes under saline environments in aquaculture. Aquaculture Europe 2019, Berlin, 09.10.2019

NAAS, C., MÜLLER-BELECKE, A. (2019). Brackish water pike-perch (*Sander lucioperca*) in recirculating aquaculture systems. Potsdam-Sacrow, 11.10.2019

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2020). Cultivation of pike-perch (*Sander lucioperca*) under brackish water conditions in recirculating aquaculture systems. Doktoranden Kolloquium am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin, 13.02.2020

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2021). Physiological effects of NaCl application on juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) reared in recirculating aquaculture systems – A Pilot Study. Aquaculture Europe 2020 (online), 12.-14.04.2021

Projektbericht:

NAAS, C., MÜLLER-BELECKE, A. (2020). Aufzucht europäischer Zander (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen: Verbesserung von Nachhaltigkeit, Tierschutz und Ökonomie in geschlossenen

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2021). NaCl-Einsatz in der Zanderaquakultur unter Berücksichtigung der Ontogenese. 12. Büsumer Fischtag (online), 10.06.2021

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2021). Der Einsatz von Salz in Kreislaufanlagen bei der Aufzucht von Zandern – Möglichkeiten und Grenzen. Fortbildungsveranstaltung des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Seddin, 02.09.2021

NAAS, C., KLOAS, W., MÜLLER-BELECKE, A. (2021). The application of NaCl in pike-perch aquaculture taking into account ontogeny. Aquaculture Europe 2021, Madeira (Portugal), 04.-07.10.2021

Kreislaufanlagen. Projektabschlussbericht für den Berichtszeitraum 04.2017-04.2020, DBU-Aktenzeichen: 32098/01-34, 137 S.

8. Literaturverzeichnis

- AARTS, T. W. P. M., BREUKELAAR, A. W. (2017). Migration patterns and home range of pike-perch (*Sander lucioperca*, Linnaeus, 1758) in Dutch river systems. *Journal of Applied Ichthyology*, 33 (5), 907-913.
- ABDOLMALAKI, S., PSUTY, I. (2007). The effects of stock enhancement of pikeperch (*Sander lucioperca*) in Iranian coastal waters of the Caspian Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 64 (5), 973-980.
- AHMADNEZHAD, M., ORYAN, S., BAHMANI, M., SAYAD BOURANI, M. (2014). Osmoregulatory capabilities of Zander (*Sander lucioperca*) fingerlings in different salinities of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13 (2), 247-261.
- AIHUA, L., BUCHMANN, K. (2001). Temperature- and salinity-dependent development of a Nordic strain of *Ichthyophthirius multifiliis* from rainbow trout. *Journal of Applied Ichthyology*, 17 (6), 273-276.
- ALLEN, P. J., MCENROE, M., FOROSTYAN, T., COLE, S., NICHOLL, M. M., HODGE, B., CECH, J. J. (2011). Ontogeny of salinity tolerance and evidence for seawater-entry preparation in juvenile green sturgeon, *Acipenser medirostris*. *Journal of Comparative Physiology B*, 181 (8), 1045-1062.
- ALTINOK, I., GRIZZLE, J. M. (2001). Effects of brackish water on growth, feed conversion and energy absorption efficiency by juvenile euryhaline and freshwater stenohaline fishes. *Journal of Fish Biology*, 59 (5), 1142-1152.
- AMLACHER, E. (1986): Taschenbuch der Fischkrankheiten - Grundlagen der Fischpathologie, 5., überarbeitete Auflage, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 478 S.
- ARJONA, F. J., VARGAS-CHACOFF, L., RUIZ-JARABO, I., GONÇALVES, O., PÁSCOA, I., DEL RÍO, M. P. M., MANCERA, J. M. (2009). Tertiary stress responses in Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858) to osmotic challenge: Implications for osmoregulation, energy metabolism and growth. *Aquaculture*, 287 (3-4), 419-426.
- ARUNACHALAM, S., REDDY, S. R. (1979). Food intake, growth, food conversion, and body composition of catfish exposed to different salinities. *Aquaculture*, 16 (2), 163-171.
- AUFFRET, M., PILOTE, A., PROULX, É., PROULX, D., VANDENBERG, G., VILLEMUR, R. (2011). Establishment of a real-time PCR method for quantification of geosmin-producing *Streptomyces* spp. in recirculating aquaculture systems. *Water research*, 45 (20), 6753-6762.
- AVELLA, M., BORNANCIN, M. (1989). A new analysis of ammonia and sodium transport through the gills of the freshwater rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Experimental Biology*, 142 (1), 155-175.
- BARBER, I. (2007). Parasites, behaviour and welfare in fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 104 (3-4), 251-264.
- BARKER, D. E., CONE, D. K., BURT, M. D. B. (2002). *Trichodina murmanica* (Ciliophora) and *Gyrodactylus pleuronecti* (Monogenea) parasitizing hatchery-reared winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum): effects on host growth and assessment of parasite interaction. *Journal of Fish Diseases*, 25 (2), 81-89.
- BARTON, B. A., HAUKENES, A. H., PARSONS, B. G., REED, J. R. (2003). Plasma cortisol and chloride stress responses in juvenile walleyes during capture, transport, and stocking procedures. *North American Journal of Aquaculture*, 65 (3), 210-219.
- BARTON, B. A., IWAMA, G. K. (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases*, 1, 3-26.
- BARTON, B. A., ZITZOW, R. E. (1995). Physiological responses of juvenile walleyes to handling stress with recovery in saline water. *The Progressive Fish-Culturist*, 57 (4), 267-276.
- BATH, R. N., EDDY, F. B. (1979). Salt and water balance in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) rapidly

- transferred from fresh water to sea water. *Journal of Experimental Biology*, 83 (1), 193-202.
- BAUER, O. N. (1985). Key to the parasites of freshwater fishes of the USSR (in Russian). Teil 2. Nauka, Leningrad, 776 S.
- BEIN, R., RIBI, G. (1994). Effects of larval density and salinity on the development of perch larvae (*Perca fluviatilis* L.). *Aquatic Sciences*, 56 (2), 97-105.
- BENZO, Z., ESCALONA, A., SALAS, J., GÓMEZ, C., QUINTAL, M., MARCANO, E., RUIZ, F., GARABOTO, A. BARTOLI, F. (2002). Evaluation of Select Variables in the Ion Chromatographic Determination of F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, and PO₄³⁻ in Serum Samples. *Journal of Chromatographic Science*, 40 (2), 101-106.
- BERLINER WASSERBETRIEBE (2020). Berliner Wasser: Inhaltsstoffe. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 18.07.2020: <https://www.bwb.de/de/inhaltsstoffe.php>
- BINNING, S. A., ROCHE, D. G., LAYTON, C. (2013). Ectoparasites increase swimming costs in a coral reef fish. *Biology Letters*, 9 (1), 1-4.
- BOEUF, G., PAYAN, P. (2001). How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130 (4), 411-423.
- BRÄMICK, U. (2017). Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei 2016. Institut für Binnenfischerei e. V., Potsdam-Sacrow. Hrsg: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 53 S.
- BRÄMICK, U. (2018). Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei 2017. Institut für Binnenfischerei e. V., Potsdam-Sacrow. Hrsg: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 57 S.
- BRÄMICK, U. (2020). Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei 2019. Institut für Binnenfischerei e. V., Potsdam-Sacrow. Hrsg: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 61 S.
- BRAUNER, J.C., GONZALES, R.J., WILSON, J.M. (2013). Chapter 9: Extreme Environments: Hyper-saline, Alkaline, and Ion-Poor Waters. In: MCCORMICK, S.D., FARRELL, A.P., BRAUNER, C.J. (Hrsg.). *Euryhaline Fishes*, Elsevier, Academic Press, ISBN: 9780123969514, 436-465.
- BROWN, J. A., MOORE, W. M., QUABIUS, E. S. (2001). Physiological effects of saline waters on zander. *Journal of Fish Biology*, 59 (6), 1544-555.
- BUSACKER, G. P., ADELMAN, I. R., GOOLISH, E. M. (1990). Growth. In: Schreck, C. B., Moyle, P. B. (Hrsg). *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, ISBN: 091323558X, 363-387.
- BUSH, A. O., LAFFERTY, K. D., LOTZ, J. M., SHOSTAK, A. W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *The Journal of Parasitology*, 575-583.
- CASPERS, H. (1959). Vorschläge einer Brackwassernomenklatur („The Venice System“). *Hydrobiologia* (44) 1-4, 313-315.
- CASTILLA-GUERRA, L., FERNÁNDEZ-MORENO, M. D. C., LÓPEZ-CHOZAS, J. M., FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, R. (2006). Electrolytes disturbances and seizures. *Epilepsia*, 47(12), 1990-1998.
- CHELLAPPA, S., HUNTINGFORD, F. A., STRANG, R. H. C., THOMSON, R. Y. (1995). Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback. *Journal of Fish Biology*, 47 (5), 775-787.
- CHO, C. Y. (1992). Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture*, 100 (1-3), 107-123.
- CHOTIPUNTU, P., AVAKUL, P. (2011). Aquaculture potential of climbing perch, *Anabas testudineus*, in brackish water. *Walailak Journal of Science and Technology*, 7 (1), 15-21.
- CNAANI, A., BARKI, A., SLOSMAN, T., SCHARCANSKI, A., MILSTEIN, A., HARPAZ, S. (2010). Dietary salt supplement increases the growth rate in freshwater cultured tilapia hybrids. *Aquaculture Research*, 41 (10), 1545-1548.
- COLLYMORE, C., WHITE, J. R., LIEGGI, C. (2013). *Trichodina xenopodus*, a ciliated protozoan, in a

- laboratory-maintained *Xenopus laevis*. *Comparative Medicine*, 63(4), 310-312.
- CRAIG, J.F. (2000). *Percid Fishes: Systematics, Ecology and Exploitation*. Oxford, Blackwell Science, ISBN: 0632056169, 111-113.
- DALSGAARD, J., LUND, I., THORARINSDOTTIR, R., DRENGSTIG, A., ARVONEN, K., PEDERSEN, P. B. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*, 53, 2-13.
- DAVIDSON, J., SUMMERFELT, R., BARROWS, F., GOTTSACKER, B., GOOD, C., FISCHER, G., SUMMERFELT, S. (2016). Walleye *Sander vitreus* performance, water quality, and waste production in replicated recirculation aquaculture systems when feeding a low phosphorus diet without fishmeal versus a traditional fishmeal-based diet. *Aquacultural Engineering*, 75, 1-13.
- DE BOECK, G., VLAEMINCK, A., VAN DER LINDEN, A., BLUST, R. (2000). The energy metabolism of common carp (*Cyprinus carpio*) when exposed to salt stress: an increase in energy expenditure or effects of starvation? *Physiological and Biochemical Zoology*, 73 (1), 102-111.
- DEKIĆ, R., SAVIĆ, N., MANOJLOVIĆ, M., GOLUB, D., PAVLIČEVIĆ, J. (2016). Condition factor and organosomatic indices of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*, Wal.) from different brood stock. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 32 (2), 229-237.
- DESTATIS (2020). Preise für ausgewählte Fischarten im Jahr 2019 nach Vermarktungswegen. Stand: 15.07.2020. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 16.11.2021: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Fischerei/Tabellen/preise-ausgewaehlte-fischarten.html>
- DIN EN ISO 5495 (2007). *Sensorische Analyse – Prüfverfahren – Paarweise Vergleichsprüfung (ISO 5495:2005 und ISO 5495:2005/Cor 1:2006)*; Deutsche Fassung EN ISO 5495:2007. Normenausschuss Lebensmittel und landwirtschaftliche Produkte (NAL) im DIN. Deutsches Institut für Normung e. V., 25 S.
- DIN EN ISO 15088 (2009). *Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der akuten Toxizität von Abwasser auf Zebrafisch-Eier (*Danio rerio*) (ISO 15088:2007)*; Deutsche Fassung EN ISO 15088:2008, 20 S.
- DIOUF, B., RIOUX, P., BLIER, P. U., RAJOTTE, D. (2000). Use of brook char (*Salvelinus fontinalis*) physiological responses to stress as a teaching exercise. *Advances in Physiology Education*, 23 (1), 18-23.
- DUMAS, A., FRANCE, J., BUREAU, D. (2010). Modeling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research*, 41 (2), 161-181.
- DUSTON, J., ASTATKIE, T., MURRAY, S. B. (2007). Effect of salinity at constant 10°C on grow-out of anadromous Arctic charr from Labrador. *Aquaculture*, 273 (4), 679-686.
- EDWARDS, S. L., MARSHALL, W. S. (2013). Chapter 1: Principles and Patterns of Osmoregulation and Euryhalinity in Fishes. In: McCormick, S.D., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (Hrsg.). *Euryhaline Fishes*, Elsevier, Academic Press, ISBN: 9780123969514, 1-44.
- ERDÖS, A. K., BORCHERT, N., VALBUENA, R., TSCHUIKOWA, S., MÜLLER-BELECKE, A., ZIENERT, S., HENNICKE, M. (2017). Praxisgerechte Erzeugung extrudierter Alleinfuttermittel aus Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Einsatz in nachhaltiger Aufzucht karnivorer Wirtschaftsfischarten. Abschlussbericht Az 32041/01, 95 S.
- EVANS, D. H. (2008). Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295 (2), 704-713.
- FALAHATKAR, B., AKHAVAN, S. R., EFATPANAHI, I., MEKNATKHAH, B. (2012). Primary and secondary responses of juveniles of a teleostean, pikeperch *Sander lucioperca*, and a chondrosteian, Persian sturgeon *Acipenser persicus*, to handling during

- transport. North American Journal of Aquaculture, 74 (2), 241-250.
- FAO (2020a). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Rom, 224 S. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 18.07.2020: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>
- FAO (2020b). Species Fact Sheet - *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). Online verfügbar mit letztem Zugriff am 18.07.2020: <http://www.fao.org/fishery/species/3098/en>
- FAO (2020c). Cultured Aquatic Species Information Programme. *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, 13 S. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 18.07.2020: http://www.fao.org/fishery/cultured-species/Sander_lucioperca/en
- FARMER, L. J., MCCONNELL, J. M., HAGAN, T. D. J., HARPER, D. B. (1995). Flavour and off-flavour in wild and farmed Atlantic salmon from locations around Northern Ireland. Water Science and Technology, 31 (11), 259-264.
- FIZ (2021). Fisch-Informationszentrum e. V., Thema: Versorgung und Verbrauch. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 17.11.2021: <https://www.fischinfo.de/index.php/markt/92-datenfakten/5063-versorgung-und-verbrauchneu>
- FONTAÍNHAS-FERNANDES, A., RUSSELL-PINTO, F., GOMES, E., REIS-HENRIQUES, M. A., COIMBRA, J. (2000). The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from freshwater to seawater. Fish Physiology and Biochemistry, 23 (4), 307-316.
- FORSBERG, J. A., SUMMERFELT, R. C., BARTON, B. A. (2001). Physiological and behavioral stress responses of walleyes transported in salt and buffered salt solutions. North American Journal of Aquaculture, 63 (3), 191-200.
- FREYHOF, J. KOTTELAT, M. (2008). *Sander lucioperca*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 16.07.2020: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T2.0860A9231839>
- GALLAUGHER, P., FARRELL, A. P. (1998). Chapter 6: Hematocrit and blood oxygen-carrying capacity. In: Perry, S. F., Tufts, B. (Hrsg.). Fish respiration. Academic Press, ISBN: 012350441, 185-227.
- GARCIA ROMEU, F., MAETZ, J. (1964). The mechanism of sodium and chloride uptake by the gills of a fresh-water fish, *Carassius auratus*. I. Evidence for an independent uptake of sodium and chloride ions. The Journal of General Physiology, 47 (6), 1195-1207.
- GHARIBKHANI, M., POURKAZEMI, M., REZVANI GILKOLAI, S., TATINA, M., AZIZZADE, L. (2014). Genetic analysis of pike-perch, *Sander lucioperca* L., populations revealed by microsatellite DNA markers in Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 12 (1), 99-108.
- GONZALEZ ARTOLA, S. (2004a). Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*). Chapter III, Dissertation, Virginia Tech, 32-51.
- GONZALEZ ARTOLA, S. (2004b). Chemical, physical and sensorial differences between farmed yellow perch (*Perca flavescens*) fed diets varying in protein concentration. Chapter IV, Dissertation, Virginia Tech, 52-74.
- GONZALEZ-SILVA, B. M., JONASSEN, K. R., BAKKE, I., ØSTGAARD, K., VADSTEIN, O. (2016). Nitrification at different salinities: biofilm community composition and physiological plasticity. Water Research, 95, 48-58.
- GREENWELL, M. G., SHERRILL, J., CLAYTON, L. A. (2003). Osmoregulation in fish. Mechanisms and clinical implications. The veterinary clinics of North America. Exotic Animal Practice, 6 (1), 169-189.
- GRIFFIN, B. R., DAVIS, K. B., SCHLENK, D. (1999). Effect of simulated copper sulfate therapy on stress indicators in channel catfish. Journal of Aquatic Animal Health, 11 (3), 231-236.
- GRIGNARD, J. C., MÉLARD, C., KESTEMONT, P. (1996). A preliminary study of parasites and

- diseases of perch in an intensive culture system. *Journal of Applied Ichthyology*, 12 (3-4), 195-199.
- GÜRALP, H., POCHERNIAIEVA, K., BLECHA, M., POLICAR, T., PŠENIČKA, M., SAITO, T. (2017). Development, and effect of water temperature on development rate, of pikeperch *Sander lucioperca* embryos. *Theriogenology*, 104, 94-104.
- HANSSON, S., ARRHENIUS, F., NELLBRING, S. (1997). Diet and growth of pikeperch (*Stizostedion lucioperca* L.) in a Baltic Sea area. *Fisheries Research*, 31 (1-2), 163-167.
- HARDER, T. M., GOTSCH, G. G., SUMMERFELT, R. C. (2012). Effect of photoperiod on growth and feed efficiency of fingerling Walleye. *North American Journal of Aquaculture*, 74 (4), 547-552.
- HEGAB, S. A., HANKE, W. (1982). Electrolyte changes and volume regulatory processes in the carp (*Cyprinus carpio*) during osmotic stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 71 (2), 157-164.
- HENN, K. (2011). Limits of the fish embryo toxicity test with *Danio rerio* as an alternative to the acute fish toxicity test. Dissertation, Ruperto-Carola-Universität, Heidelberg, 103 S.
- HERBST, V. (2013). Versalzung von Gewässern. In: Guderian, R., Gunkel, G. (Hrsg.) *Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie*. Band 3A. *Aquatische Systeme: Grundlagen-Physikalische Belastungsfaktoren-Anorganische Stoffeinträge*. Springer, ISBN: 9783540661870, 380-398.
- HOFFMANN, R. W. (2005): *Fischkrankheiten*, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, ISBN: 3825282411, 224 S.
- HOPKO, M., ZAKĘŚ, Z., KOWALSKA, A., PARTYKA, K. (2010). Impact of intraperitoneal and intramuscular PIT tags on survival, growth, and tag retention in juvenile pikeperch, *Sander lucioperca* (L.). *Archives of Polish Fisheries*, 18 (2), 85-92.
- HOWGATE, P. (2004). Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol: a review of sensory aspects and of uptake/depuration. *Aquaculture*, 234 (1-4), 155-181.
- HUNTINGFORD, F. A., ADAMS, C., BRAITHWAITE, V. A., KADRI, S., POTTINGER, T. G., SANDØE, P., TURNBULL, J. F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, 68 (2), 332-372.
- HWANG, P. P., WU, S. M. (1993). Role of cortisol in hypoosmoregulation in larvae of the tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *General and Comparative Endocrinology*, 92 (2), 318-324.
- IMENTAI, A., YANES-ROCA, C., STEINBACH, C., POLICAR, T. (2019). Optimized application of rotifers *Brachionus plicatilis* for rearing pikeperch *Sander lucioperca* L. larvae. *Aquaculture International*, 27 (4), 1137-1149.
- IWAMA, G. K. (1998). Stress in fish. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851 (1), 304-310.
- IWAMA, G. K., TAUTZ, A. F. (1981). A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38 (6), 649-656.
- JANKOWSKA, B., ZAKES, Z., ZMIJEWSKI, T., SZCZEPKOWSKI, M., KOWALSKA, A. (2007). Slaughter yield, proximate composition, and flesh colour of cultivated and wild perch (*Perca fluviatilis* L.). *Czech Journal of Animal Science*, 52 (8), 260-267.
- JIMÉNEZ-GARCÍA, I., ROJAS-GARCÍA, C. R., CASTRO-JOSÉ, C. N., PAVÓN-SURIANO, S., LANGO-REYNOSO, F., DEL REFUGIO CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M. (2012). Growth enhancement, survival and decrease of ectoparasitic infections in masculinized Nile tilapia fry in a recirculating aquaculture system. *Tropical and Sub-tropical Agroecosystems*, 15 (2), 51-56.
- JOHNSON, P. B., LLOYD, S. W. (1992). Influence of fat content on uptake and depuration of the off-flavor 2-methylisoborneol by channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49 (11), 2406-2411.
- JOMORI, R. K., LUZ, R. K., CÉLIA PORTELLA, M. (2012). Effect of salinity on larval rearing of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a freshwater species. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43 (3), 423-432.

- JØRGENSEN, A. T., HANSEN, B. W., VISMANN, B., JACOBSEN, L., SKOV, C., BERG, S., BEKKEVOLD, D. (2010). High salinity tolerance in eggs and fry of a brackish *Esox lucius* population. *Fisheries Management and Ecology*, 17 (6), 554-560.
- KANEKO, T., HASEGAWA, S., TAKAGI, Y., TAGAWA, M., HIRANO, T. (1995). Hypoosmoregulatory ability of eyed-stage embryos of chum salmon. *Marine Biology*, 122 (1), 165-170.
- KANEKO, T., HIROI, J. (2008). Chapter 6: Osmo- and Ionoregulation. In: Finn, R. N., Kapoor, B. G. (Hrsg). *Fish Larval Physiology*. Science Publisher, ISBN: 9781578083886, 163-183.
- KANG'OMBE, J., BROWN, J. A. (2008). Effect of salinity on growth, feed utilization, and survival of *Tilapia rendalli* under laboratory conditions. *Journal of Applied Aquaculture*, 20 (4), 256-271.
- KHAN, R. A. (1991). Mortality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) associated with trichodinid ciliates. *Journal of Wildlife Diseases*, 27 (1), 153-155.
- KIBRIA, B. G., NUGEGODA, D., FAIRCLOUGH, R., LAM, P. (1999). Effects of salinity on the growth and nutrient retention in silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell 1838) (Teraponidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 15 (3), 132-134.
- KILAMBI, R. V. (1980). Food consumption, growth and survival of grass carp *Ctenopharyngodon idella* Val at four salinities. *Journal of Fish Biology*, 17 (6), 613-618.
- KLINKHARDT, M.B., WINKLER, H.M. (1989). Einfluß der Salinität auf die Befruchtungs- und Entwicklungsfähigkeit der Eier von vier Süßwasserfischarten Plötze (*Rutilus rutilus*), Barsch (*Perca fluviatilis*), Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernua*) und Zander (*Stizostedion lucioperca*). *Wissenschaftliche Zeitung der Universität Rostock*, 38 (5), 23-30.
- KLOAS, W., WÜRTZ, S., RENNERT, B. (2011). Quo vadis Aquakultur? Aus: Welchen Beitrag kann die Aquakultur in Deutschland zur Bioökonomie leisten? - Berichte aus dem BioÖkonomieRat 05. Herausgeber: Geschäftsstelle des Forschungs- und Technologierates Bioökonomie (BÖR) und Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 12-13.
- KOTTELAT, M., FREYHOF, J. (2007). *Handbook of European Freshwater Fishes*. Publikation Kottelat, ISBN: 9782839902984, 646 S.
- KOWALSKA, A., ZAKĘŚ, Z., JANKOWSKA, B., DEMSKA-ZAKĘŚ, K. (2011). Effect of different dietary lipid levels on growth performance, slaughter yield, chemical composition, and histology of liver and intestine of pikeperch, *Sander lucioperca*. *Czech Journal of Animal Science*, 56 (3), 136-149.
- KREJSZEFF, S., ŻARSKI, D., PALIŃSKA-ŻARSKA, K., TRĄBSKA, I., KUPREN, K., TARGOŃSKA, K., BOWSZYS, M., KUCHARCZYK, D. (2013). Procedure for harmless estimation of fish larvae weight. *Italian Journal of Animal Science*, 12 (2), 270-274.
- KÜLTZ, D. (2015). Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress. *Journal of Experimental Biology*, 218 (12), 1907-1914.
- LAHDES, E.O., KARJALA, L.A. (2007). Implications of water ionic composition for invasion of euryhaline species in inland waters—an experimental study with *Cercopagis pengoi* from the Northern Baltic Sea. *Aquatic Invasions*, 2 (4), 422-430.
- LAHNSTEINER, F., KLETZL, M. (2016). Investigations on the effect of formalin and iodophor on embryo and larvae development in pikeperch, *Sander lucioperca*. *Journal of Applied Aquaculture*, 28 (1), 47-51.
- LAPPALAINEN, A., SAKS, L., ŠUŠTAR, M., HEIKINHEIMO, O., JÜRGENS, K., KOKKONEN, E., KURKILAHTI, M., VERLIIN, A., VETEMAA, M. (2016). Length at maturity as a potential indicator of fishing pressure effects on coastal pikeperch (*Sander lucioperca*) stocks in the northern Baltic Sea. *Fisheries Research*, 174, 47-57.
- LEHTONEN, H., HANSSON, S., WINKLER, H. (1996). Biology and exploitation of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.), in the Baltic Sea area. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 525-535.

- LFA (2021). Der Zander – Beiträge zur Produktion in Aquakultur. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Band 63, ISSN 1618-7938, 148 S.
- LIM, C., YILDIRIM-AKSOY, M., WELKER, T., VEVERICA, K. (2006). Effect of feeding duration of sodium chloride-containing diets on growth performance and some osmoregulatory parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, after transfer to water of different salinities. *Journal of Applied Aquaculture*, 18 (4), 1-17.
- LINDHOLM-LEHTO, P. C., VIELMA, J. (2019). Controlling of geosmin and 2-methylisoborneol induced off-flavours in recirculating aquaculture system farmed fish - A review. *Aquaculture Research*, 50 (1), 9-28.
- LOM, J., U. DYKOVÁ, I. (1992). Protozoan parasites of fishes. In: *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* (26), Elsevier Science Publishers, ISBN: 0444894349, 316 S.
- LOVELL, R. T., BROCE, D. (1985). Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp. *Aquaculture*, 50 (1-2), 169-174.
- LOŽYS, L. (2003). Seasonal migrations of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) from the Curonian Lagoon to the Baltic Sea and advantages of the phenomenon. *Acta Zoologica Lituanica*, 13 (2), 188-194.
- LOŽYS, L. (2004). The growth of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.) under different water temperature and salinity conditions in the Curonian Lagoon and Lithuanian coastal waters of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 514 (1-3), 105-113.
- LUCHIARI, A. C., DE MORAIS FREIRE, F. A., PIRHONEN, J., KOSKELA, J. (2009). Longer wavelengths of light improve the growth, intake and feed efficiency of individually reared juvenile pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Aquaculture Research*, 40(8), 880-886.
- LUKASSEN, M. B., SAUNDERS, A. M., SINDILARIU, P. D., NIELSEN, J. L. (2017). Quantification of novel geosmin-producing bacteria in aquaculture systems. *Aquaculture*, 479, 304-310.
- LUO, G., ZHANG, N., TAN, H. (2012). Effect of Low Salinity on Jade Perch *Scortum barcoo* Performance in a Recirculating Aquaculture System. *North American Journal of Aquaculture*, 74 (3), 395-399.
- LUTZ, P. L. (1972). Ionic and body compartment responses to increasing salinity in the perch *Perca fluviatilis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 42 (3), 711-717.
- LUZ, R. K., MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, R. M., DE PEDRO, N., DELGADO, M. J. (2008). Growth, food intake regulation and metabolic adaptations in goldfish (*Carassius auratus*) exposed to different salinities. *Aquaculture*, 276 (1-4), 171-178.
- MACEINA, M. J., SHIREMAN, J. V. (1979). Grass carp: effects of salinity on survival, weight loss, and muscle tissue water content. *The Progressive Fish-Culturist*, 41 (2), 69-73.
- MADSEN, H. C., BUCHMANN, K., MELLERGAARD, S. (2000). Association between trichodiniasis in eel (*Anguilla anguilla*) and water quality in recirculation systems. *Aquaculture*, 187 (3-4), 275-281.
- MAETZ, J. (1973). $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$, Na^+/H^+ exchanges and NH_3 movement across the gill of *Carassius auratus*. *Journal of Experimental Biology*, 58 (1), 255-275.
- MAHON, H. C., HAMMER, M. P., HARRIS, J. O. (2015). Effect of salinity on growth of juvenile Yarra pygmy perch (*Nannoperca obscura*: Percichthyidae). *Environmental Biology of Fishes*, 98 (6), 1491-1500.
- MALAKPOUR KOLBADINEZHAD, S., HAJ-IMORADLOO, A., GHORBANI, R., JOSHAGHANI, H., WILSON, J. M. (2012). Effects of gradual salinity increase on osmoregulation in Caspian roach *Rutilus caspicus*. *Journal of Fish Biology*, 81 (1), 125-134.
- MANGOR-JENSEN, A. (1987). Water balance in developing eggs of the cod *Gadus morhua* L. *Fish physiology and Biochemistry*, 3 (1), 17-24.
- MARSHALL, W. S. (1995). Transport processes in isolated teleost epithelia: opercular epithelium and urinary bladder. In: Wood, C. M., Shuttleworth, T. J.

- (Hrsg.). Cellular and Molecular Approaches to Fish Ionic Regulation, Academic Press, ISBN: 9780080585383, 1-23.
- MARSHALL, W. S., GROSELL, M. (2006). Chapter 6: Ion transport, osmoregulation, and acid-base balance. In: Evans, D. H., Claiborne, J. B. (Hrsg.): The physiology of fishes, Taylor & Francis, 3. Auflage, ISBN: 9780849320224, 177-230.
- MARTINS, C. I. M., EDING, E. H., VERDEGEM, M. C. J., HEINSBROEK, L. T. N., SCHNEIDER, O., BLANCHETON, J. P., D'ORBCASTEL, E. R., VERRETH, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* (43), 83-93.
- MATTIOLI, C. C., TAKATA, R., LEME, F. D. O. P., COSTA, D. C., MELILLO FILHO, R., E SILVA, W. D. S., LUZ, R. K. (2017). The effects of acute and chronic exposure to water salinity on juveniles of the carnivorous freshwater catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture*, 481, 255-266.
- MCCORMICK, S. D. (2001). Endocrine control of osmoregulation in teleost fish. *American Zoologist*, 41 (4), 781-794.
- MCCORMICK, S.D., FARRELL, A.P., BRAUNER, C.J. (2013). *Euryhaline Fishes*, Academic Press, ISBN: 9780123969514, 559 S.
- MEYER, S., GRIESE, M., SCHLACHTER, M., GEHLERT, G., SCHULZ, C. (2016). Konzeptstudie zur Nutzung der Synergieeffekte zwischen Industrieparks und Ernährungswirtschaft insbesondere der Aquakultur in der Region Unterelbe. Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) mbH, 71 S. Online verfügbar mit letztem Zugriff am 06.08.2018: http://www.dafa.de/fileadmin/dam_uploads/images/Fachforen/FF_Aquakultur/Konzeptstudie_Metropolregio%20HH_2016.pdf
- MIZUNO, S., URAWA, S., MIYAMOTO, M., HATAKEYAMA, M., KOIDE, N., UEDA, H. (2019). Experimental evidence on prevention of infection by the ectoparasitic protozoans *Ichthyobodo salmonis* and *Trichodina truttae* in juvenile chum salmon using ultraviolet disinfection of rearing water. *Journal of Fish Diseases*, 42 (1), 129-140.
- MOMMSEN, T. P., VIJAYAN, M. M., MOON, T. W. (1999). Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9 (3), 211-268.
- MORGAN, J. D., IWAMA, G. K. (1991). Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48 (11), 2083-2094.
- MORGAN, J. D., SAKAMOTO, T., GRAU, E. G., IWAMA, G. K. (1997). Physiological and respiratory responses of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to salinity acclimation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 117 (3), 391-398.
- MOUNT, D. R., GULLEY, D. D., HOCKETT, J. R., GARRISON, T. D., EVANS, J. M. (1997). Statistical models to predict the toxicity of major ions to *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* and *Pimephales promelas* (Fathead minnows). *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 16 (10), 2009-2019.
- MOVAHED, R., KHARA, H., AHMADNEZHAD, M., SAYADBOORANI, M. (2016). Hematological characteristics associated with parasitism in pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae) from Anzali Wetland. *Journal of Parasitic Diseases*, 40 (4), 1337-1341.
- MÜLLER-BELECKE, A. (2010). IfB Zanderworkshop V: Produktqualität, Betrachtung zur Wirtschaftlichkeit. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 02.05.2010.
- MÜLLER-BELECKE, A. (2012). Aufzucht von Zandern in Warmwasser-Kreislaufanlagen: Technische Möglichkeiten und ökonomische Rentabilität. Fortbildungsveranstaltung des Instituts für Binnenfischerei e.V., Seddin, 19.09.2012.
- MÜLLER-BELECKE, A. (2017). Zandereuzeugung in Kreislaufanlagen: Ableitung von Gestehungskosten

- und Vermarktungsoptionen. Fokusgruppe Aquakultur, Wietzendorf, 09.02.2017.
- MÜLLER-BELECKE, A. (2021a). Wirtschaftlichkeit: Grobkalkulation von Gestehungskosten bei der Zandererzeugung. Webseminar „Digitaler Tag der Aquakultur in Kreislaufanlagen“, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 07.10.2021
- MÜLLER-BELECKE, A., SPRANGER, A., DIRNBACH, D., KNOLL, S. (2021b): Entwicklung einer effizienten Alternative zur Siebfiltration für kleinskalige Kreislaufanlagen – Feststoffabscheidung im fluidisierten Lamellenpaket. Zeitschrift für Fischerei, 1, Artikel 2, 1-11.
- MÜLLER-BELECKE, A. VON PLESSEN, S., SCHMIDT, G., KÜHN, C., SPRANGER, A. (2018): Design and practical test of a compact phosphorus elimination module for freshwater RAS discharge water. Aquaculture INTERNATIONAL, 26 (4), 1135-1145.
- MÜLLER-BELECKE, A., ZIENERT, S. (2008). Out-of-season spawning of pike perch (*Sander lucioperca* L.) without the need for hormonal treatments. Aquaculture Research, 39 (12), 1279-1285.
- MÜLLER-BELECKE, A., ZIENERT, S., THÜRMER, C., KAUFHOLD, S., SPRANGER, U. (2013). The “self cleaning inherent gas denitrification reactor” for nitrate elimination in RAS for pike perch (*Sander lucioperca*) production. Aquacultural Engineering (57), 18-23.
- NAAS, C. (2021). Die Aufzucht von Zandern (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen in geschlossenen Kreislaufanlagen. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, 243 S.
- NAAS, C., MÜLLER-BELECKE, A. (2020). Aufzucht europäischer Zander (*Sander lucioperca*) unter Brackwasserbedingungen: Verbesserung von Nachhaltigkeit, Tierschutz und Ökonomie in geschlossenen Kreislaufanlagen. Projektabschlussbericht für den Berichtszeitraum 04.2017-04.2020, DBU-Aktenzeichen: 32098/01-34, 137 S.
- NASH, R. D., VALENCIA, A. H., GEFFEN, A. J. (2006). The origin of Fulton’s condition factor - setting the record straight. Fisheries, 31 (5), 236-238.
- NÉMETH, S., HORVÁTH, Z., FELFÖLDI, Z., BELICZKY, G., DEMETER, K. (2013). The use of permitted ectoparasite disinfection methods on young pike-perch (*Sander lucioperca*) after transition from over-wintering lake to RAS. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation, 6 (1), 1-11.
- NGUYEN, P. T. H., DO, H. T. T., MATHER, P. B., HURWOOD, D. A. (2014). Experimental assessment of the effects of sublethal salinities on growth performance and stress in cultured tra catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). Fish Physiology and Biochemistry, 40 (6), 1839-1848.
- NOGA, E. J. (2010). Fish disease: diagnosis and treatment. 2. Auflage, Wiley-Blackwell, ISBN: 97808138 06976, 536 S.
- OVERTON, J. L., BAYLEY, M., PAULSEN, H., WANG, T. (2008). Salinity tolerance of cultured Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L.: effects on growth and on survival as a function of temperature. Aquaculture, 277 (3-4), 282-286.
- PEARSE, L. (1972). A note on a marine trichodinid ciliate parasitic on the skin of captive flatfish. Aquaculture, 1, 261-266.
- PERRY, S. F. (1997). The chloride cell: structure and function in the gills of freshwater fishes. Annual Review of Physiology, 59 (1), 325-347.
- PETERKA, J., MATÍNA, J., LIPKA, J. (2003). The diet and growth of larval and juvenile pikeperch (*Stizostedion lucioperca* (L.)): A comparative study of fishponds and a reservoir. Aquaculture International, 11 (4), 337-348.
- PEYGHAN, R., KHADJEH, G. H., ENAYATI, A. (2014). Effect of water salinity on total protein and electrophoretic pattern of serum proteins of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. Veterinary Research Forum 5 (3), 225-229.
- PODDUTURI, R., PETERSEN, M. A., VESTERGAARD, M., JØRGENSEN, N. O. (2020). Geosmin fluctuations and potential hotspots for elevated levels in recirculated aquaculture system (RAS): A case study from pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) production in Denmark. Aquaculture, 514, 1-8.

- POLICAR, T., SCHAEFER, F. J., PANANA, E., MEYER, S., TEERLINCK, S., TONER, D., ŽARSKI, D. (2019). Recent progress in European percid fish culture production technology - tackling bottlenecks. *Aquaculture International*, 27 (5), 1-24.
- PYANOV, D. S., DELMUKHAMEDOV, A. B., KHRUSTALYOV, E. I. (2016). The results of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) cultivation in the ras complete cycle conditions (in Russisch). *KSTU News*, 49-58.
- PYANOV, D., MOLCHANOVA, K., KHRUSTALEV, E., DELMUKHAMEDOV, A. (2017). The chemical composition of two commercial fish species – pikeperch (*Sander lucioperca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultivated in artificial conditions. *Foodbalt 2017*, 66-69.
- RACH, J. J., GAIKOWSKI, M. P., HOWE, G. E., SCHREIER, T. M. (1998). Evaluation of the toxicity and efficacy of hydrogen peroxide treatments on eggs of warm- and coolwater fishes. *Aquaculture*, 165 (1-2), 11-25.
- RAHKONEN, R. (1994). Parasites of pike perch *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus 1758) fry reared in two different types of natural food ponds in southern Finland. *Aquaculture*, 122 (4), 279-293.
- REMANE, A. (1971). Ecology of Brackish Water. In: Elster, H. J., Ohle, W. (Hrsg.) *Die Binnengewässer* - Band XXV, 2. Auflage, E. Schwarzbart'sche Verlagsbuchhandlung, ISBN: 3510400348, 1-7.
- ŘEZANKA, T., VOTRUBA, J. (1998). Effect of salinity on the formation of avermectins, odor compounds and fatty acids by *Streptomyces avermitilis*. *Folia Microbiologica*, 43 (1), 47-50.
- RIBI, G. (1992). Perch larvae (*Perca fluviatilis* L.) survive better in dilute sea water. *Aquatic Sciences*, 54 (1), 85-90.
- RICHE, M. (2007). Analysis of refractometry for determining total plasma protein in hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) at various salinities. *Aquaculture*, 264 (1-4), 279-284.
- RIIS-VESTERGAARD, J. (1987). Physiology of teleost embryos related to environmental challenges. *Sarsia*, 72 (3-4), 351-358.
- RÓNYAI, A., CSENGERI, I. (2008). Effect of feeding regime and temperature on ongrowing results of pikeperch (*Sander lucioperca* L.). *Aquaculture Research*, 39 (8), 820-827.
- ROŻYŃSKI, M., KAPUSTA, A., DEMSKA-ZAKĘŚ, K., HOPKO, M., SIKORA, A., ZAKĘŚ, Z. (2017). The effects of surgically implanted dummy tags on the survival, growth performance, and physiology of pikeperch (*Sander lucioperca*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 43 (4), 999-1010.
- RÜMMLER, F. (2020). Untersuchungen zur Aufbereitung des Ablauf- bzw. Reinigungswassers geschlossener Warmwasser-Kreislaufanlagen. *Schriften des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow*, Band 58, ISSN 1438-4876, 79 S.
- RURANGWA, E., VERDEGEM, M. C. (2015). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture*, 7 (2), 117-130.
- RUSSLER, D., MANGOS, J. (1978). Micropuncture studies of the osmoregulation in the nauplius of *Artemia salina*. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 234 (5), 216-222.
- SADOK, S., M'HETLI, M., EL ABED, A., UGLOW, R. F. (2004). Changes in some nitrogenous compounds in the blood and tissues of freshwater pikeperch (*Sander lucioperca*) during salinity acclimation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 138 (1), 9-15.
- SADOUL, B., GEFFROY, B. (2019). Measuring cortisol, the major stress hormone in fishes. *Journal of Fish Biology*, 94 (4), 540-555.
- SANMARTIN DURAN, M. L., FERNANDEZ CASAL, J., TOJO, J. L., SANTAMARINA, M. T., ESTEVEZ, J., UBEIRA, F. (1991). *Trichodina* sp.: effects on the growth of farmed turbot (*Scophthalmus maximus*). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 11, 89-91.

- SCHÄPERCLAUS, W. (1990): Fischkrankheiten (Teil 1 & 2). 5. bearbeitete Auflage, Akademie Verlag, ISBN: 3055001907, 1123 S.
- SCHÄPERCLAUS, W., VON LUKOWICZ, M. (1998). Lehrbuch der Teichwirtschaft. 4., neubearbeitete Auflage. Parey Buchverlag, ISBN: 382638248X, 336-347 S.
- SCHARF, J., BRÄMICK, U., FREDRICH, F., ROTHE, U., SCHUHR, H., TAUTENHAHN, M., WOLTER, C., ZAHN, S. (2011). Fische in Brandenburg - Aktuelle Kartierung und Beschreibung der märkischen Fischfauna. Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow, 166-167.
- SCHLUMBERGER, O., PROTEAU, J. P. (1996). Reproduction of pike-perch (*Stizostedion lucioperca*) in captivity. *Journal of Applied Ichthyology*, 12 (3-4), 149-152.
- SCHMIDT, G., STÜEKEN, M., KÜHN, C. (2017): Wirtschaftliche Kennzahlen der Zanderaquakultur. *Fischerei & Fischmarkt in Mecklenburg-Vorpommern*, 1/2017, 22-25.
- SCHRAM, E., ROQUES, J. A., VAN KUIJK, T., ABBINK, W., VAN DE HEUL, J., DE VRIES, P., BIERMANN, S., VAN DE VIS, H., FLIK, G. (2014). The impact of elevated water ammonia and nitrate concentrations on physiology, growth and feed intake of pikeperch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*, 420-421, 95-104.
- SCHRECKENBACH, K., KNÖSCHE, R., EBERT, K. (2001). Nutrient and energy content of freshwater fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, 17, 142-144.
- SCHULZ, C., GÜNTHER, S., WIRTH, M., RENNERT, B. (2006). Growth performance and body composition of pike perch (*Sander lucioperca*) fed varying formulated and natural diets. *Aquaculture International*, 14 (6), 577-586.
- SCHUSTER, C., STELZ, H. (1998). Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* (17), 167-174.
- SCOTT, D. M., RABINEAU, J., WILSON, R. W., HODGSON, D. J., BROWN, J. A. (2008). Can pikeperch colonise new freshwater systems via estuaries? Evidence from behavioural salinity tests. *Marine and Freshwater Research*, 59 (8), 694-702.
- SHEPHARD, K. L. (1994). Functions for fish mucus. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4 (4), 401-429.
- SHIKLOMANOV, I. A. (1993). Chapter 2: World fresh water resources. In: Gleick, P. H. (Hrsg.). *Water in crisis*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. Stockholm Environment Institute, Oxford University Press, ISBN: 0195076273, 13-24.
- SHOJI, T., FUJITA, K. I., FURIHATA, E., KURIHARA, K. (1996). Olfactory responses of a euryhaline fish, the rainbow trout: adaptation of olfactory receptors to sea water and salt-dependence of their responses to amino acids. *Journal of Experimental Biology*, 199 (2), 303-310.
- SIEGWARTH, G. L., SUMMERFELT, R. C. (1993). Performance comparison and growth models for wall-eyes and walleye × sauger hybrids reared for two years in intensive culture. *The Progressive Fish-Culturist*, 55(4), 229-235.
- SINGH, T. (1980). The isoosmotic concept in relation to the aquaculture of the giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* (20), 251-256.
- SIWICKI, A. K., ZAKES, Z., TRAPKOWSKA, S., KOWALSKA, A., KAZUŃ, K., GLABSKI, E. (2003). Selected hematological and biochemical parameters of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) from intensive culture. *Archiwum Rybactwa Polskiego*, 11 (1), 17-22.
- SMITH, S. A., SCHWARZ, M. H. (2019). Dealing with *Trichodina* and *Trichodina*-like species. *Commercial Fish & Shellfish Technology Fact Sheet* (600-205). Virginia State University, 3 S.
- SOENGAS, J. L., SANGIAO-ALVARELLOS, S., LAIZ-CARRIÓN, R., MANCERA, J. M. (2007). Chapter 10: Energy Metabolism and Osmotic Acclimation in Teleost Fish. In: Baldisserotto, B., Mancera, J. M., Kapoor, B. G. (Hrsg.). *Fish Osmoregulation*, Science Publisher, ISBN: 9781439843116, 277-307.

- SOLENG, A., BAKKE, T. A. (1997). Salinity tolerance of *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea): laboratory studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54 (8), 1837-1864.
- SOUSA, R. J., MEADE, T. L., WOLKE, R. E. (1974). Reduction of ammonia toxicity by salinity and pH manipulation. *Proceedings of the Annual Meeting - World Mariculture Society*, 5 (1-4), 343-354.
- STEFFENS, W. (1989). *Principles of fish nutrition*. Ellis Horwood Ltd, ISBN: 0745805558, 384 S.
- STEINBERG, K., ZIMMERMANN, J., STILLER, K. T., MEYER, S., SCHULZ, C. (2017). The effect of carbon dioxide on growth and energy metabolism in pike-perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*, 481, 162-168.
- STEINBERG, K., ZIMMERMANN, J., STILLER, K. T., NWANNA, L., MEYER, S., SCHULZ, C. (2018). Elevated nitrate levels affect the energy metabolism of pike-perch (*Sander lucioperca*) in RAS. *Aquaculture*, 497, 405-413.
- SVOBODOVÁ, Z., LLOYD, R., MACHOVA, J., VYKUSOVA, B. (1993). *Water quality and fish health*. EIFAC Technical Paper. Nr. 54, FAO, ISBN 9251034370, 59 S.
- SZKUDLAREK, M., ZAKĘŚ, Z. (2007). Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions. *Aquaculture International*, 15 (1), 67-81.
- TACCHI, L., LOWREY, L., MUSHARRAFIEH, R., CROSSEY, K., LARRAGOITE, E. T., SALINAS, I. (2015). Effects of transportation stress and addition of salt to transport water on the skin mucosal homeostasis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 435, 120-127.
- TACKEN, G. (2018). *Market, consumer perception, new products and business model. What are the market chances for cultured pikeperch?* DIVERSITY Pikeperch Know-How Transfer Workshop, Nancy, 27.06.2018.
- TAKEI, Y., MCCORMICK, S.D. (2013). Chapter 3: Hormonal Control of Fish Euryhalinity. In: McCormick, S.D., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (Hrsg.). *Euryhaline Fishes*, Elsevier, Academic Press, ISBN: 9780123969514, 69-123.
- TIELMANN, M., SCHULZ, C., MEYER, S. (2016). Self-grading of larval pike-perch (*Sander lucioperca*), triggered by positive phototaxis. *Aquacultural Engineering*, 72, 13-19.
- TIMMONS, M.B., EBELING, J.M. (2013). *Recirculating Aquaculture*. 3. Auflage. Ithaca Publishing Company LLC, ISBN: 9780971264656, 788 S.
- TORNO, J., NAAS, C., SCHROEDER, J. P., SCHULZ, C. (2018). Impact of hydraulic retention time, backflushing intervals, and C/N ratio on the SID-reactor denitrification performance in marine RAS. *Aquaculture*, 496, 112-122.
- TSENG, Y. C., HWANG, P. P. (2008). Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148 (4), 419-429.
- TUCKER, C. S. (2000). Off-flavor problems in aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 8 (1), 45-88.
- TYUTYUNOV, Y., SENINA, I., JOST, C., ARDITI, R. (2002). Risk assessment of the harvested pike-perch population of the Azov Sea. *Ecological Modelling*, 149 (3), 297-311.
- VAN RIJN, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49-56.
- VARSAMOS, S., CONNES, R., DIAZ, J. P., BARNABÉ, G., CHARMANTIER, G. (2001). Ontogeny of osmoregulation in the European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. *Marine Biology*, 138 (5), 909-915.
- VARSAMOS, S., NEBEL, C., CHARMANTIER, G. (2005). Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: a review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 141 (4), 401-429.
- VICTORIA, C. J., WILKERSON, B. S., KLAUDA, R. J., PERRY, E. S. (1992). Salinity tolerance of yellow

- perch eggs and larvae from coastal plain stream populations in Maryland, with comparison to a Pennsylvania lake population. *Copeia*, 859-865.
- VON AHNEN, M., AALTO, S. L., SUURNÄKKI, S., TIIROLA, M., PEDERSEN, P. B. (2019). Salinity affects nitrate removal and microbial composition of denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system effluents. *Aquaculture*, 504, 182-189.
- VON BERTALANFFY, L. (1934). Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. *Development Genes and Evolution*, 131 (4), 613-652.
- WANG, J. Q., LUI, H., PO, H., FAN, L. (1997). Influence of salinity on food consumption, growth and energy conversion efficiency of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Aquaculture*, 148 (2-3), 115-124.
- WENDELAAR BONGA, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77 (3), 591-625.
- WILKES, P. R. H., MCMAHON, B. R. (1986). Responses of a stenohaline freshwater teleost (*Catostomus commersoni*) to hypersaline exposure: I. The dependence of plasma pH and bicarbonate concentration on electrolyte regulation. *Journal of Experimental Biology*, 121 (1), 77-94.
- WILLIAMS, W. D., SHERWOOD, J. E. (1994). Definition and measurement of salinity in salt lakes. *International Journal of Salt Lake Research*, 3 (1), 53-63.
- WUERTZ, S., SCHULZE, S. G. E., EBERHARDT, U., SCHULZ, C., SCHROEDER, J. P. (2013). Acute and chronic nitrite toxicity in juvenile pike-perch (*Sander lucioperca*) and its compensation by chloride. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 157 (4), 352-360.
- YAMPRAYOON, J., NOOMHORM, A. (2000). Geosmin and off-flavor in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 9 (2), 29-41.
- YIN, F., DAN, X. M., SUN, P., SHI, Z. H., GAO, Q. X., PENG, S. M., LI, A. X. (2014). Growth, feed intake and immune responses of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) exposed to low infectious doses of ectoparasite (*Cryptocaryon irritans*). *Fish & Shellfish Immunology*, 36 (1), 291-298.
- YOUNG, C. A., JORDAN, T. S. (1995). Cyanide remediation: current and past technologies. *Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research*, 104-129.
- ZAKĘŚ, Z., HOPKO, M. (2013). Tagging juvenile pike-perch (*Sander lucioperca* (L.)) in the cheek with Passive Integrated Transponders (PIT)–impact on rearing indexes and tag retention. *Archives of Polish Fisheries*, 21 (4), 243-248.
- ZAKĘŚ, Z., ROŻYŃSKI, M., DEMSKA-ZAKĘŚ, K. (2019). Effect of PIT tagging on hematology and plasma composition of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)). *Aquaculture International*, 27 (4), 971-981.
- ZARNOCH, C. B., SCHREIBMAN, M. P., COLESANTE, R. T., TIMMONS, M. B. (2010). Growth performance of Walleye, *Sander vitreus*, in recirculating aquaculture systems. *Journal of Applied Aquaculture*, 22 (4), 285-296.
- ZIENERT, S., HEIDRICH, S. (2005). Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. *Schriften des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow, Band 18, ISSN 1438-4876, 60 S.*
- ZIMMERMANN, J., STEINBERG, K., MEYER, S., SCHULZ, C. (2019). Maintenance requirement and utilisation efficiency of energy and protein for ongrowing pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)). *Aquaculture International*, 27 (4), 1109-1123.
- ZZULV (2017). Verordnung über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technologischen Zwecken. *Zusatzstoff-Zulassungsverordnung vom 29. Januar 1998 (BGBl. I S. 230, 231), die zuletzt durch Artikel 23 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272) geändert worden ist, 92 S.*

9. Anhang: Statistik und Abkürzungsverzeichnis

Statistische Auswertung:

In der vorliegenden Arbeit wurden Versuchsanordnungen gewählt, die die Effekte von im Wasser gelösten Kochsalz (NaCl) auf Zander untersuchen. Die einzelnen ermittelten Parameter der Fische, wie z. B. Wachstum und Futterverwertung, aber auch physiologische Reaktionen, wurden demnach durch einen einzelnen Faktor, der NaCl-Konzentration, beeinflusst.

Die einzelnen Haltungseinrichtungen einer KLA bzw. die Becken der Aquarienanlage wurden für die statistische Auswertung jeweils als Wiederholungen betrachtet.

In einem ersten Schritt wurden zunächst die gewonnenen Datensätze innerhalb einer Versuchsgruppe untereinander verglichen und auf signifikante Unterschiede untersucht. In einem zweiten Schritt wurden dann die gepoolten Datensätze jeder NaCl-Konzentration mit den gepoolten Datensätzen der anderen Konzentrationen verglichen.

Bei einer Normalverteilung der Daten ($P > 0,05$) und homogenen Varianzen ($P > 0,05$) wurden einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) verwendet. Bei dem Vorliegen von signifikanten Unterschieden wurden im Anschluss mit Hilfe von Post-hoc-Tests nach Tukey Mehrfachvergleiche zwischen den Gruppen vorgenommen. Bei nicht normalverteilten Daten ($P < 0,05$) oder bei normalverteilten Daten mit heterogenen Varianzen ($P < 0,05$) wurden stattdessen Kruskal-Wallis-Varianzanalysen an Rängen durchgeführt. Bei dem Vorliegen von signifikanten Unterschieden erfolgten im Anschluss Post-hoc-Tests nach Dunn. Sowohl bei der einfaktoriellen Varianzanalyse als auch bei der Kruskal-Wallis Varianzanalyse an Rängen wurde ein P-Wert von 0,05 festgelegt.

Für den Vergleich von zwei Gruppen wurde ebenfalls zuerst auf signifikante Unterschiede innerhalb der drei Wiederholungen getestet und im Anschluss entweder ein t-Test (unabhängige, normalverteilte Daten) oder ein Mann-Whitney-U-Test (unabhängige, nicht-normalverteilte Daten) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen zwei Gruppen zu finden. Es wurde jeweils ein P-Wert von 0,05 verwendet.

Um auf Korrelationen zwischen zwei Datensätzen zu testen, wurden Pearson-Produkt-Moment-Korrelationen oder Spearman-Rank-Korrelationen verwendet. Die Pearson-Produkt-Moment-Korrelation testet die Verbindungstärke zwischen normalverteilten Variablen, ohne zu berücksichtigen, welche Variable abhängig und welche unabhängig ist. Bei einer fehlenden Normalverteilung der Daten wurden Spearman-Rank-Korrelationen herangezogen. Der Korrelationskoeffizient (r) quantifiziert die Stärke der Verbindung zwischen den zwei Variablen. Für beide Tests wurde ein P-Wert von 0,05 verwendet. Je kleiner der P-Wert ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Korrelation.

Hinsichtlich des Auftretens von signifikanten Unterschieden bei der sensorischen Analyse der Zanderfilets wurden bei der Auswertung der Daten die Vorgaben der DIN EN ISO 5495 (2007) eingehalten. Bei dem gewählten Stichprobenumfang von 24 ($4 * 6$ paarweise Prüfungen) gilt bei einem gewählten P-Wert von 0,05 die Mindestanzahl von ≥ 18 übereinstimmenden Antworten, sodass ein wahrnehmbarer Unterschied vorliegt.

Mit Ausnahme der Sensorik wurden alle statistischen Tests sowie die grafischen Darstellungen von Ergebnissen mit Hilfe von Sigmaplot 12.0 durchgeführt.

Tabellarisches Abkürzungsverzeichnis:

Abkürzung	Bedeutung	Abkürzung	Bedeutung
%	Prozent	MW	Mittelwert
‰	Promille	n	Anzahl
°C	Grad Celsius	NaCl	Natriumchlorid (Kochsalz)
a	Jahr	ng	Nanogramm
cm	Zentimeter	NH ₃	Ammoniak
cm ³	Kubikzentimeter	NH ₄ ⁺	Ammonium
D	Durchmesser	NH ₄ ⁺ -N	Ammonium-Stickstoff
d	Tag	nm	Nanometer
d°	Tagesgrad	NO ₂ ⁻	Nitrit
dl	Deziliter	NO ₂ ⁻ -N	Nitrit-Stickstoff
dph	Tage nach Schlupf	NO ₃ ⁻	Nitrat
€	Euro	NO ₃ ⁻ -N	Nitrat-Stickstoff
FM	Frischmasse	O ₂	Sauerstoff
FNU	Formazine Nephelometric Units	o. H.	ohne Haut
FQ	Futterquotient	rpm	Umdrehungen pro Minute
g	Gramm	s	Sekunde
g l ⁻¹	Gramm pro Liter	SBV	Säurebindungsvermögen
H	Höhe	SD	Standardabweichung
h	Stunde	SE	Standardfehler
hpf	Stunden nach Befruchtung	SGR	Spezifische Wachstumsrate
HSI	Hepatosomatischer Index	sp.	Spezies
I.U.	International unit	SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Kf	Konditionsfaktor	SSI	Splenosomatischer Index
kg	Kilogramm	t	Tonne
KLA	geschlossene Kreislaufanlage	TDSF	Trichodinidae-Dichte pro Sichtfenster und Fisch
kW	Kilowatt	TL	Totallänge
kWh	Kilowattstunde	TM	Trockenmasse
l	Liter	UV-C	Ultraviolette Strahlung
LF	Leitfähigkeit	VF	Visceralfett
ln	Natürlicher Logarithmus	VFI	Visceralfettindex
m	Meter	W	Watt
M	Mortalität	µg	Mikrogramm
m ²	Quadratmeter	µl	Mikroliter
m ³	Kubikmeter	µm	Mikrometer
mg	Milligramm	µS	Mikrosiemens
m. H.	mit Haut	\bar{x}	Mittelwert
min	Minute		
MJ	Megajoule		
ml	Milliliter		
mm	Millimeter		
mmol	Millimol		
mOsmol	Milliosmol		

Institut für Binnenfischerei e.V.
Potsdam-Sacrow
Im Königswald 2 | 14469 Potsdam

Tel. 033201 - 4060
Mail info@ifb-potsdam.de
Web ifb-potsdam.de

